



**FATEC-SP**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

*Departamento de Transportes e Obras de Terra*

**CASSIANO ORY GASPAR MARQUES**

**DESEMBORRACHAMENTO DE REVESTIMENTO EM  
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

**SÃO PAULO  
2014**

**CASSIANO ORY GASPAR MARQUES**

**DESEMBORRACHAMENTO DE REVESTIMENTO EM  
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Construção Civil - Modalidade Movimento de Terra e Pavimentação.

Orientador: Prof. Odair de Oliveira Rosa

**SÃO PAULO  
2014**



**FATEC-SP**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

**Departamento de Transporte e Obras de Terra**

**Desemborrachamento de revestimento em pavimentos aeroportuários**

Cassiano Ory G. Marques

Monografia aprovada pela Banca Avaliadora constituída por

Prof. Odair de Oliveira Rosa  
Presidente e Orientador

Prof. Me. Kendi Sanbonsuge

Prof.<sup>a</sup> Me. Rosana Maria Siqueira

São Paulo, 07 de dezembro de 2013.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos aqueles que acreditaram que eu seria capaz, tanto de ingressar na faculdade, depois de tanto tempo sem estudos, como em concluir o curso. Apenas poucos sabem como essa conquista, para mim, foi mais que uma vitória.

“A persistência é o menor caminho ao êxito”.  
(Charles Chaplin)

## **AGRADECIMENTOS**

Minha admiração e respeito à pessoa que renunciou a alguns de seus sonhos, para que eu pudesse realizar os meus, me proporcionando um estudo e uma educação de qualidade, mesmo sem ter condições pra isso e fazendo por mim o que ela nunca fez por si própria, torcendo, vibrando e me ajudando em cada desafio que me surgia, na maioria das vezes calada, pra que eu não tivesse autoconfiança em excesso e assim deixasse de lutar, me tornando assim um homem com muito mais hombridade e amor à vida: minha mãe e amiga, Aparecida da Graça Gaspar.

A Deus, por ter me dado de presente os filhos maravilhosos que tenho, principal motivo para minha busca por uma graduação e conseqüentemente um futuro melhor para eles.

Um agradecimento mais do que especial a Marina de Pádua Molinari, por ser minha companheira em todos os momentos, me ajudando, me criticando e me ouvindo, sempre que precisei, pois graças a ela, minha vida acadêmica e pessoal, foi muito melhor. Um grande “valeu mano” ao meu colega de classe no início e hoje meu grande amigo Paulo Rogério Zacarias da Silva que compartilhou comigo esses árduos anos de estudo, mas também sempre esteve presente nos momentos alegres, me convencendo a continuar e nunca desistir.

Agradeço aos professores, mestres e doutores que participaram e me auxiliaram nesta jornada acadêmica, compartilhando seus conhecimentos comigo e a todos os funcionários e colaboradores da Fatec-SP, que fosse com um “bom dia”, um sorriso, ou palavras de incentivo, deram sua contribuição para que esse sonho se tornasse realidade.

Finalmente agradeço àquele que me conduziu pelos caminhos da pesquisa com paciência e maestria: Professor Odair de Oliveira Rosa.

Foi uma excelente e gratificante experiência de vida.

## **RESUMO**

Este trabalho consiste na análise do emborrachamento da pista e consequentemente a retirada dos detritos de borracha acumulada na superfície do pavimento de aeroportos, notando-se a importância do assunto. Para tal, são abordados tópicos importantes e necessários para uma melhor compreensão do tema. São apresentados conceitos relativos ao tipo de pavimento, atrito em pavimentos aeroportuários, medição de atrito e de que forma eles ocorrem, a influência que o tipo de textura da superfície do pavimento pode exercer sobre o valor de aderência. Por fim, é feita a análise do desemborrachamento, desde os procedimentos adotados para execução do serviço e os detalhes dos equipamentos utilizados.

Palavras Chave: Desemborrachamento. Atrito em pavimentos aeroportuários. Grooving. Aquaplanagem.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Grooving (as ranhuras) aplicadas na pista do Aeroporto de Congonhas	Pág. 3
Figura 2.2	Grooving em pavimento aeroportuário	Pág. 4
Figura 2.3	Microtextura e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico	Pág. 5
Figura 2.4	Tipo de superfície em função da textura	Pág. 7
Figura 2.5	Modelo de superfície com macrotextura fechada e microtextura lisa	Pág. 8
Figura 2.6	Modelo de superfície com macrotextura fechada e microtextura áspera	Pág. 8
Figura 2.7	Modelo de superfície com macrotextura aberta e microtextura lisa	Pág. 9
Figura 2.8	Modelo de superfície com macrotextura aberta e microtextura áspera	Pág. 10
Figura 3.1	Equipamentos ensaio mancha de areia	Pág. 12
Figura 3.2	Pêndulo britânico	Pág. 13
Figura 3.3	Equipamento Mu-Meter	Pág. 14
Figura 3.4	Desenho esquemático do MERLIN	Pág. 16
Figura 4.1	Defeitos encontrados na pista antiga do AIB	Pág. 17
Figura 4.2	Mecanismos do atrito ao deslizamento de um pneu sobre um pavimento	Pág. 23
Figura 4.3	Fenômenos da aquaplanagem	Pág. 24
Figura 4.4	Pista aeroportuária com caimento satisfatório	Pág. 25
Figura 4.5	Banda de rodagem de um pneu aeronáutico após hidroplanagem por desvulcanização	Pág. 26
Figura 5.1	(a) Aeronave pousando; (b) Grooving emborrachado	Pág. 27
Figura 5.2	Caminhão WOMA com bomba para hidrojateamento	Pág. 29
Figura 5.3	Equipamento utilizado no processo com caminhão dotado de bomba WOMA para hidrojateamento, modelo 1502	Pág. 29
Figura 5.4	Utilização das pistolas de hidrojateamento	Pág. 30
Figura 5.5	Lavagem da pista após o desemborrachamento	Pág. 30
Figura 5.6	Caminhão utilizado no processo de desemborrachamento de pista	Pág. 31
Figura 5.7	Caminhão utilizado no processo de desemborrachamento de pista	Pág. 33
Figura 5.8	Processo de desemborrachamento no Aeroporto Internacional Afonso Pena	Pág. 34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1	Classificação da textura de pavimento (PIARC).	Pág. 5
Tabela 3.1	Classes para avaliação de macrotextura	Pág. 12
Tabela 3.2	Classes para avaliação de microtextura	Pág. 13
Tabela 4.1	Classificação do índice de atrito	Pág. 20
Tabela 5.1	Frequência de remoção de contaminantes	Pág. 28

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 4.1	Coeficiente de atrito	Pág. 18
Fórmula 4.2	Coeficiente de atrito devido ao deslizamento	Pág. 18
Fórmula 4.3	Constante de Velocidade	Pág. 21
Fórmula 4.4	Fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h	Pág. 21
Fórmula 4.5	Número de Atrito	Pág. 22
Fórmula 4.6	Cálculo do IFI	Pág. 22

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APS	American Physical Society
ASTM	American Society for Testing and Materials
DAC	Design Automation Conference
DIRENG	Diretoria de Engenharia
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
F60	Número de Atrito
FAA	Federal Aviation Administration
FOD	Foreign Object Damage
FR60	Fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h
FRS	Valores de medidos com o Pêndulo Britânico
HS	Altura da areia
IFI	Internacional Friction Index
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Km/h	Quilômetro por hora
m	Metro
MERLIN	Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation
mm	Milímetro
PIARC	The World Road Association
Sp	Constante de Velocidade
Tx	Valores da altura média da rugosidade (HS), em mm
Tx	Valores da altura média da Rugosidade, em mm
VRD	Valor de resistência à derrapagem
$\mu_a$	Coeficiente de atrito devido à adesão;
$\mu_d$	Coeficiente de atrito devido ao deslizamento;
$\mu_h$	Coeficiente de atrito devido à histerese
$\mu$	Coeficiente de atrito
$F$	Força tangencial
$N$	Força Normal

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO.....	1
1.2	METODOLOGIA.....	1
1.3	JUSTIFICATIVA.....	2
<b>2</b>	<b>SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO .....</b>	<b>3</b>
2.1	GROOVING.....	3
2.2	MACROTEXTURA E MICROTEXTURA .....	4
2.2.1	<i>Superfícies com Macrotextura Fechada e Microtextura Lisa</i> .....	7
2.2.2	<i>Superfícies com Macrotextura Fechada e Microtextura Áspera</i> .....	8
2.2.3	<i>Superfícies com Macrotextura Aberta e Microtextura Lisa</i> .....	8
2.2.4	<i>Superfícies com Macrotextura Aberta e Microtextura Áspera</i> .....	9
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DE MEDIDA E AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO .....</b>	<b>11</b>
3.1	MÉTODO DA MANCHA DE AREIA (MACROTEXTURA).....	11
3.2	MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO (ATRITO ESTÁTICO LONGITUDINAL - MICROTEXTURA) ....	12
3.3	MU METER (ATRITO DINÂMICO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL) .....	13
3.4	MEDIÇÃO COM RÉGUA METÁLICA (PLANICIDADE) .....	14
3.5	MERLIN (IRREGULARIDADE LONGITUDINAL).....	15
3.6	MÉTODO TOPOGRÁFICO (INCLINAÇÃO TRANSVERSAL) .....	16
<b>4</b>	<b>IMPORTÂNCIA DAS AVALIAÇÕES FUNCIONAIS.....</b>	<b>17</b>
4.1	ATRITO .....	17
4.1.1	<i>Coefficiente de atrito</i> .....	18
4.1.2	<i>Índice internacional de atrito (IFI - Internacional Friction Index)</i> .....	19
4.1.2.1	<i>Cálculo do IFI</i> .....	21
4.1.3	<i>O Deslizamento</i> .....	22
4.2	AQUAPLANAGEM.....	23
4.2.1	<i>Aquaplanagem viscosa</i> .....	24
4.2.2	<i>Aquaplanagem dinâmica</i> .....	25
4.2.3	<i>Borracha revertida</i> .....	25
<b>5</b>	<b>DESEMBORRACHAMENTO DA PISTA .....</b>	<b>27</b>
5.1	CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DO EMBORRACHAMENTO.....	27
5.2	PROCEDIMENTO PARA O DESEMBORRACHAMENTO .....	28

5.2.1	<i>Remoção de borracha com bomba para hidrojateamento</i>	28
5.2.2	<i>Procedimento com coletor de resíduos de borracha</i>	31
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>
	<b>ANEXO A – ANAC, RESOLUÇÃO N° 236</b>	<b>39</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

---

O transporte aeroviário tem sido cada vez mais, de grande importância para o desenvolvimento das nações, devido, entre outras características, a sua rapidez. Trata-se de uma modalidade de transporte, de demanda e capacidade elevada, exigindo qualidade e desempenho característicos nas instalações do aeroporto e áreas adjacentes.

Por ser um dos setores mais dinâmicos da economia mundial, cumpre importante papel estimulando as relações econômicas e o intercâmbio de pessoas e mercadorias (tanto dentro do país quanto com outros países), intra e entre as nações. A importância do transporte aéreo para a vida moderna é muito maior do que o que pode fazer supor, seu desempenho financeiro.

A grande quantidade diária de pousos nas pistas causa desgaste no pneu das aeronaves, acumulando esses resíduos na superfície do pavimento e conseqüentemente alterando os valores de aderência, por este motivo se faz necessário à retirada da borracha acumulada nesta nela, preservando a funcionalidade em um nível seguro dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem.

Devido a tudo isso, percebe-se que esta é uma área importante dos empreendimentos civis, exigindo profissional habilitado e com conhecimento de tecnologias recentes e avançadas. Esse tema será abordado pela preocupação e interesse em descobrir e gerar material para pesquisas futuras, fazendo assim que fique conhecido por mais pessoas.

## **1.1 OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo analisar a necessidade e os processos de desemborrachamento de revestimento em pavimentos das pistas aeroportuárias para garantir, assim, a segurança dos pousos e decolagens desses aeroportos, pois a falta desta manutenção acarretará possíveis acidentes, colocando em risco usuários e funcionários do sistema aéreo.

## **1.2 METODOLOGIA**

Para realização deste trabalho foram utilizados materiais didáticos e técnicos diversos como livros técnicos, catálogos, manuais, dissertações, teses, sites especializados e apostilas técnicas.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

O crescimento do movimento aéreo em nosso país e no mundo determina que medidas sejam adotadas na estrutura e na administração do espaço aéreo, com o intuito de preservar a integridade desse pavimento e manter os níveis de segurança já alcançados na fabricação, que ficam comprometidos pelo elevado número de aviões que circulam em nossos aeroportos, devido o desgaste dos pneus e o emborrachamento nas áreas de contato intenso de pouso e decolagem.

A escolha do tema é uma contribuição para ressaltar a importância do assunto, pois segundo Silva (2008) um dos fatores que mais causam acidentes no sistema aeronáutico é a borracha depositada na pista, devido à falta de atrito entre o pneu da aeronave e o pavimento.

## 2 SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO

---

Problemas funcionais da pista afetam diretamente o usuário da via, seja ela rodoviária ou aeroportuária, na forma de conforto ao rolamento. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos. Essas consequências acarretam em maiores custos operacionais relacionados a gastos com consumo de combustíveis e pneus, peças para manutenção dos veículos e o tempo de viagem. Portanto, atender o conforto ao rolamento também significa economia nos custos de transporte (Bernucci *et al.*, 2007). As características de aderência produzidas na interação pneu-pavimento, fornecidas pela textura e pelo atrito, representam um papel importante na segurança de pistas das vias urbanas, rodovias e aeroportos.

Shahin (1994) *apud* Lima (2009) comenta que uma avaliação funcional é geralmente um processo de avaliação racional e que o desempenho de um pavimento deve estar baseado na análise da resistência ao deslizamento (atrito) e potencial de danos por objetos estranhos às aeronaves (*Foreign Object Damage* - FOD).

### 2.1 GROOVING

Uma das formas mais conhecidas para auxiliar a redução das derrapagens nos aeródromos é a execução de ranhuras transversais (grooving) na superfície do revestimento com intuito de favorecer a drenagem da água superficial do pavimento, melhorando as condições de atrito pneu-pavimento, diminuindo o potencial de ocorrência da hidroplanagem e consequentemente os acidentes aeronáuticos ocorridos em solo. A Figura 2.1 mostra o grooving em um pavimento rígido de asfalto.



Figura 2.1 - Grooving (as ranhuras) aplicadas na pista do Aeroporto de Congonhas  
Fonte: SILVA (2008)

Segundo a *Federal Aviation Administration* (FAA) o grooving deve ser construído de forma contínua em todo o comprimento da pista e transversal ao sentido de pouso e decolagem, conforme ilustrado na Figura 2.2. (FAA, 1997 *apud* SILVA, 2008)

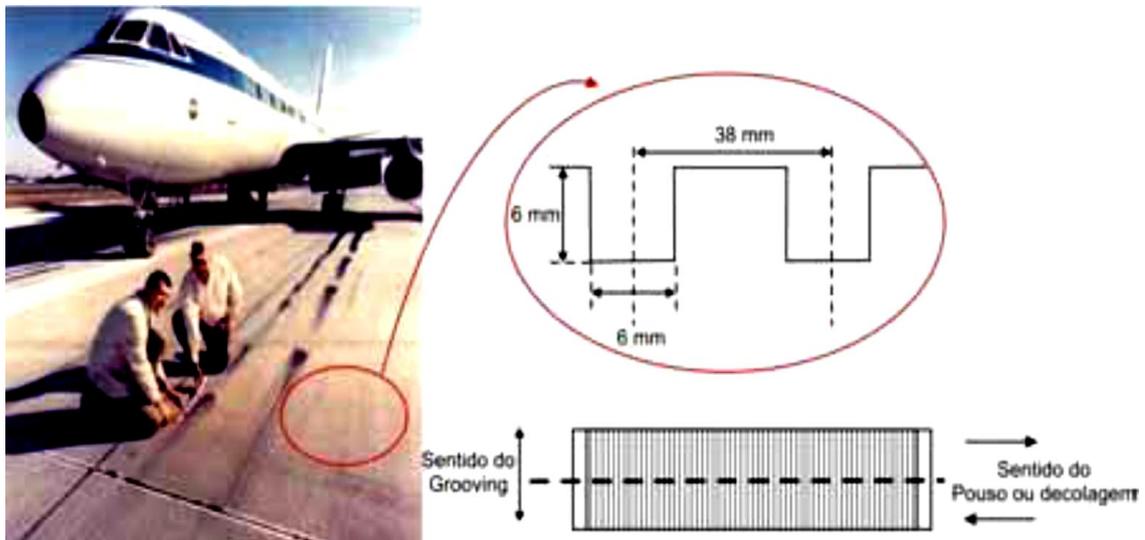


Figura 2.2 - Grooving em pavimento aeroportuário  
Fonte: SILVA (2008)

A necessidade de construção do grooving é baseada em alguns fatores, como qualidade da textura superficial contra derrapagem em condições de pista molhada ou seca, limitação da drenagem, contaminação da superfície em condições que prejudiquem a condição de atrito e redução do potencial de acidentes e incidentes relacionados à hidroplanagem no aeroporto.

Ao contrário do que se imagina, a área de contato entre as superfícies da banda de rodagem e a pista é bastante elevada, pois os canais de escoamento gerados pela implantação do grooving fazem com que a espessura de lâmina d'água necessária para desencadear o fenômeno de hidroplanagem seja elevada sobremaneira, ou seja; a água escoar pelos canais e os pneus aderem à superfície, resultando numa condição mais segura em situações de pista molhada.

## 2.2 MACROTEXTURA E MICROTTEXTURA

Segundo Bernucci *et al.* (2006) como a textura do pavimento é um dos aspectos da aderência que os engenheiros rodoviários podem interferir, este é o principal foco das avaliações e medidas desses especialistas. A classificação da textura segundo a *The World*

*Road Association* (PIARC) depende do comprimento de onda ou distância entre dois picos ou depressões na superfície sem irregularidade, conforme indicado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação da textura de pavimento (PIARC)

CLASSIFICAÇÃO DA TEXTURA	FAIXA DE COMPRIMENTO DE ONDA
Microtextura	0 – 0,5 mm
Macrotextura	0,5 mm – 50 mm

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2006)

No entanto, nesta pesquisa para a avaliação da textura da superfície no que se refere à aderência serão enfocadas a microtextura, dependente da superfície e aspereza (rugosidade) dos agregados utilizados, e a macrotextura, função do tipo de mistura e traço adotados para o revestimento (Figura 2.3).

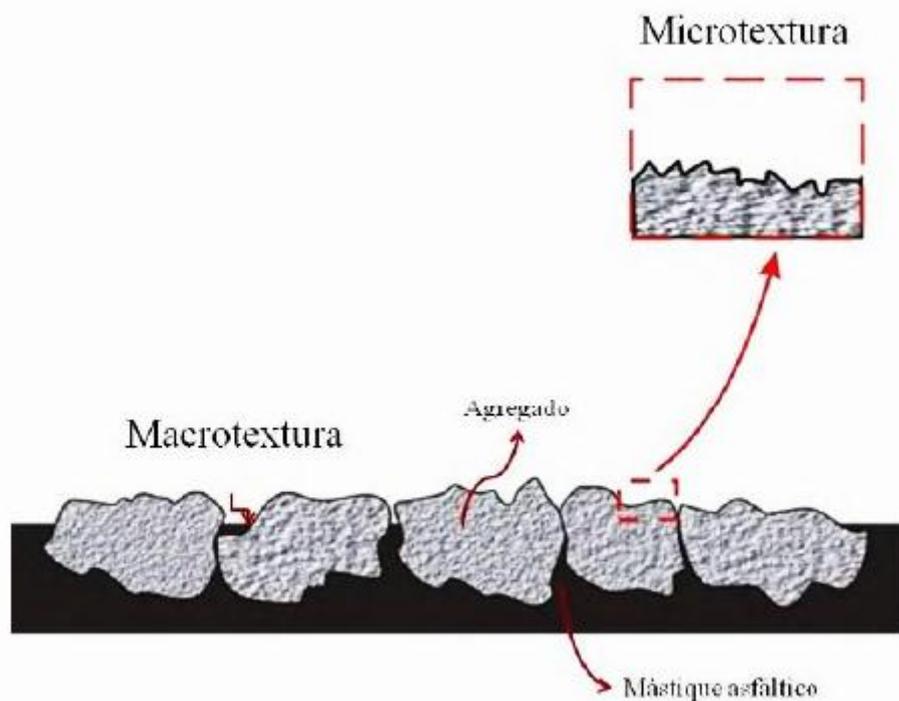


Figura 2.3 – Microtextura e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2006)

Silva (2008) classifica a condição da superfície de uma pista em quatro tipos conforme se segue:

✓ **Pista Seca:** é aquela que não se apresenta molhada nem contaminada e inclui pistas pavimentadas, especialmente preparadas com ranhuras (gooving) ou pavimentos

porosos e mantidas de forma a assegurar uma ação de frenagem **efetivamente seca**, mesmo na presença de umidade.

✓ **Pista Úmida:** Ocorre quando sua superfície não se apresenta seca, de modo que a umidade presente não dê uma aparência brilhante à sua superfície.

✓ **Pista Molhada:** Ocorre quando sua superfície apresenta-se coberta por água, gelo ou neve (ainda em uma condição menos grave do que aquela especificada para pistas contaminadas), ou quando há umidade suficiente para proporcionar um aspecto refletivo em sua superfície, mas ainda sem a presença de água parada (poças d'água).

✓ **Pista Contaminada:** Ocorre quando mais de 25% de sua superfície (considerados em áreas isoladas ou não) dentro do comprimento e largura em uso apresenta-se coberto com contaminante, em uma das seguintes situações:

- Superfície coberta com mais de 3 mm de altura de água, ou gelo, ou ainda por neve equivalente a mais de 3 mm de altura de água;
- Superfície coberta por neve compactada, resistente a compactação complementar, formando torrões quando quebrada; ou
- Superfície coberta por gelo, incluindo gelo molhado.

Portanto, a característica da textura da superfície do pavimento depende da macrotextura e da microtextura. Sendo que são possíveis quatro combinações em função dos tipos de texturas: rugosa e aberta, rugosa e fechada, polida e aberta, e polida e fechada (APS, 2006). A Figura 2.4 apresenta os tipos de texturas possíveis:

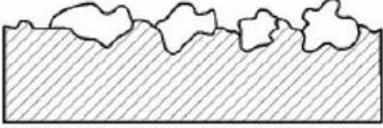
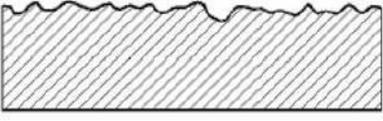
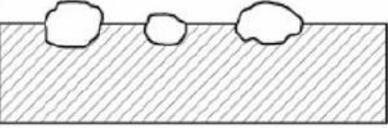
Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Pólida ou Lisa	Aberta		Pólida e Aberta
	Fechada		Pólida e Fechada

Figura 2.4 – Tipo de superfície em função da textura.

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2006)

### 2.2.1 SUPERFÍCIES COM MACROTEXTURA FECHADA E MICROTEXTURA LISA

Conforme demonstrado em Oliveira (2009), e com modelos dos boletins de campo nos anexos I e II, uma pista com macrotextura fechada e microtextura lisa, quando seca, proporciona valores de coeficiente de atrito na faixa de 0,7 a 1,1, de acordo com equipamento específico e dependendo da composição da borracha e da pressão do pneu. Neste tipo de pista, predominam as perdas por adesão.

O atrito disponível sobre uma pista limpa e seca, com esse tipo de superfície, praticamente independe da velocidade de deslocamento da roda. O valor máximo do coeficiente de atrito ocorre a uma velocidade de deslizamento real de, aproximadamente, 0,05 m/s (0,18 Km/h). Somando-se a velocidade de deslocamento real com a velocidade resultante do deslocamento aparente (função da deformação da banda de rodagem), chega-se à uma **taxa de deslizamento**, medida, na faixa de 15% a 20% para o atrito máximo medido. Uma pista com esse tipo de estrutura, quando úmida ou molhada, proporciona coeficientes de atrito reduzidos, mesmo em velocidades baixas, devido ao fenômeno da hidroplanagem viscosa.

O pneu não consegue expulsar totalmente a água da área de contato no intervalo de tempo de passagem da roda. Uma fina película de água interpõe-se entre a banda de rodagem e a pista, praticamente eliminando as perdas de energia por adesão. Como o processo de remoção da água depende do tempo de contato, o coeficiente de atrito disponível decresce com o aumento da velocidade.

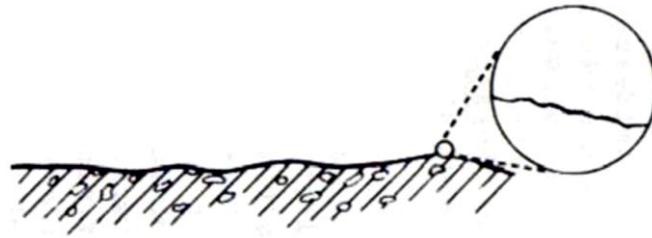


Figura 2.5 – Modelo de superfície com macrotextura fechada e microtextura lisa  
Fonte: SANZONE (2006)

### 2.2.2 SUPERFÍCIES COM MACROTEXTURA FECHADA E MICROTEXTURA ÁSPERA

Uma pista seca, com macrotextura fechada e microtextura áspera, proporciona valores de atrito levemente inferiores àqueles proporcionados por uma pista de microtextura lisa, porque há diminuição da área real de contato e menor adesão.

Na prática, a mencionada redução é pouco importante e é inteiramente compensada pelo incremento que essa microtextura proporciona ao atrito da pista, quando esta está molhada. As asperezas perfuram e atravessam a fina película de água em milhares de pontos, tornando possível a perda por adesão nos pontos de contato teoricamente secos. A microtextura áspera não pode prevenir a ocorrência da hidroplanagem dinâmica quando a pista está inundada, nem o evento da hidroplanagem por desvulcanização, se as rodas deslizam sem girar desde o toque do avião no solo, mas pode evitar a ocorrência da hidroplanagem viscosa. Nesse tipo de pista, as ranhuras da banda de rodagem são importantes para prevenir a hidroplanagem dinâmica.

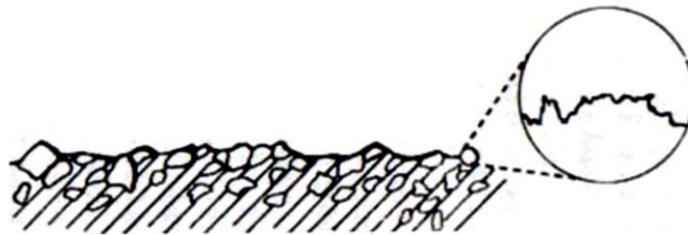


Figura 2.6 – Modelo de superfície com macrotextura fechada e microtextura áspera  
Fonte: SANZONE (2006)

### 2.2.3 SUPERFÍCIES COM MACROTEXTURA ABERTA E MICROTEXTURA LISA

Uma pista seca com macrotextura aberta e microtextura lisa proporciona coeficientes de atrito similares aos oferecidos pela pista de textura fechada e lisa. Se a

macrotextura for muito aberta os valores serão levemente inferiores, pois as perdas por adesão predominam. As perdas por histerese devidas à macrotextura podem alcançar uma participação da ordem de 25% do atrito.

A hidroplanagem viscosa pode ocorrer uma vez que sua microtextura é lisa, entretanto as velocidades em que tal fenômeno pode acontecer não são tão baixas como no caso da pista de macrotextura fechada e microtextura lisa.

Quando a pista está inundada, as características do fluxo da água na área de contato diferem consideravelmente das características do fluxo quando a macrotextura é fechada. Grande parte da água escoa pelos canais que se formam entre a banda de rodagem e a pista. Como consequência, a profundidade da lâmina d'água necessária para a ocorrência da hidroplanagem dinâmica completa é maior. Essa profundidade aumenta com a macrotextura. Para uma certa intensidade de chuva é possível determinar, uma macrotextura que elimine a possibilidade de hidroplanagem dinâmica.

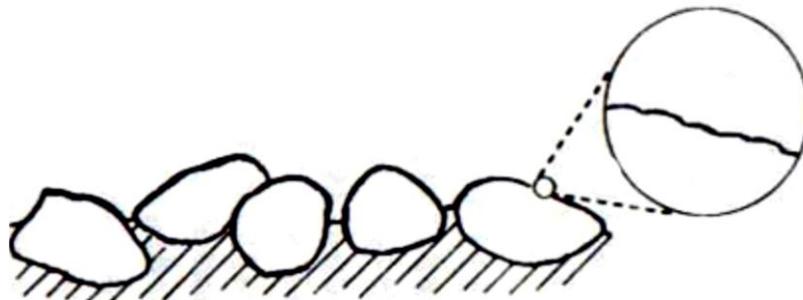


Figura 2.7 – Modelo de superfície com macrotextura aberta e microtextura lisa  
Fonte: SANZONE (2006)

#### 2.2.4 SUPERFÍCIES COM MACROTEXTURA ABERTA E MICROTEXTURA ÁSPERA

Uma pista seca com macrotextura aberta e microtextura áspera proporciona coeficientes de atrito levemente inferiores àqueles possíveis de se obter com uma microtextura lisa. As perdas por adesão predominam, mas a contribuição das perdas por histerese em razão da macrotextura são superiores a 25% do valor do coeficiente de atrito.

A microtextura áspera diminui o potencial da ocorrência da hidroplanagem viscosa quando a pista está molhada e a macrotextura aberta dificulta a ocorrência da

hidroplanagem dinâmica, na medida em que a profundidade crítica da lâmina d'água cresce consideravelmente.

Uma pista com essas características é a que melhor atende aos aspectos de aderência entre pneu e pavimento.



Figura 2.8 – Modelo de superfície com macrotextura aberta e microtextura áspera  
Fonte: SANZONE (2006)

### **3 MÉTODOS DE MEDIDA E AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO**

---

Para avaliação da qualidade da superfície do revestimento de uma pista de pousos e decolagens deve-se analisar seus índices de segurança e conforto através de medidas de macrotextura, microtextura, atrito, irregularidade longitudinal, planicidade e inclinação transversal.

A seguir serão apresentados alguns métodos de medida desses índices.

#### **3.1 MÉTODO DA MANCHA DE AREIA (MACROTEXTURA)**

Conforme preconizado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) E 965-96 e também explicado no Anexo III, o ensaio da mancha de areia avalia a macrotextura e caracteriza a superfície do pavimento quanto a sua capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento, e quantifica a densidade, ou seja, a distância média entre grânulos individuais de agregados aflorados na superfície do pavimento (DNIT, 2006; ASTM, 2001 *apud* NASIMENTO, 2009).

O ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de uma areia padrão, espalhando-a com movimentos circulares de modo que o diâmetro final da mancha seja função da altura média e, conseqüentemente, do volume consumido.

O equipamento consiste de um recipiente de volume conhecido preenchido com uma areia de granulometria padrão, um dispositivo próprio para o espalhamento da areia e uma régua graduada para relacionar o diâmetro da mancha com o volume de areia e a macrotextura do pavimento. O resultado é expresso em altura da areia (HS), em mm (DNIT, 2006). A Figura 3.1 mostra os equipamentos necessários para realização do ensaio.

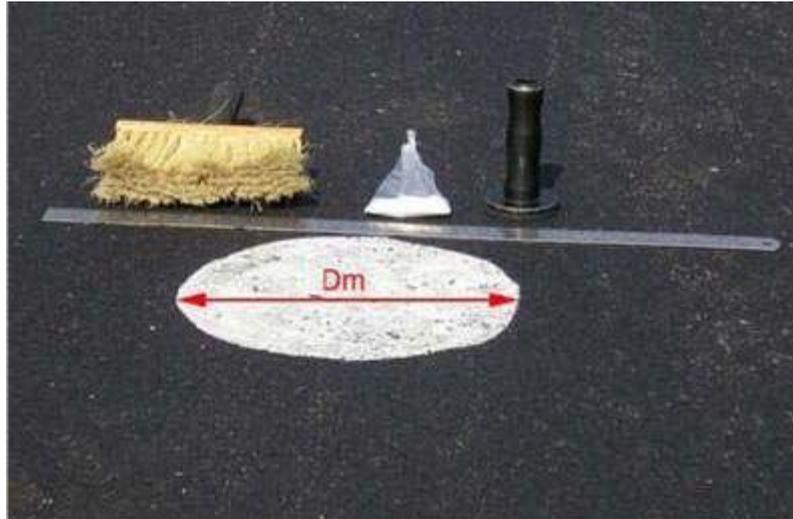


Figura 3.1 – Equipamentos ensaio mancha de areia  
Fonte: APS (2006)

A Tabela 3.1 apresenta as classes para avaliação de macrotextura.

Tabela 3.1 – Classes para avaliação de macrotextura

<b>AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA / MÉTODO DA ALTURA DE AREIA</b>	
<b>PROFUNDIDADE MÉDIA EM (mm)</b>	<b>TEXTURA SUPERFICIAL</b>
HS < 0,20 mm	Muito fina ou muito fechada
0,20 mm < 0,40 mm	Fina ou fechada
0,40 mm < HS < 0,8m mm	Média
0,50 mm < HS < 1,20 mm	Grosseira ou aberta
HS > 1,20 mm	Muito grosseira ou aberta

Fonte: DNIT (2006)

### **3.2 MÉTODO DO PÊNULO BRITÂNICO (ATRITO ESTÁTICO LONGITUDINAL – MICROTTEXTURA)**

O pêndulo britânico é um equipamento portátil que tem sua utilização especificada pelo método da ASTM E-303-93, podendo ser usado em laboratório e em ensaios de campo. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um pêndulo padronizado com uma base de borracha, que é lançado por queda livre em direção ao pavimento com a superfície limpa e previamente molhada, com o objetivo de medir-se a perda de energia por atrito da sapata de borracha do pêndulo quando esta desliza sobre a superfície do pavimento

DNIT (2006). A Figura 3.2 ilustra o pêndulo britânico e a Tabela 3.2 apresenta as classes para avaliação da microtextura.



Figura 3.2 – Pêndulo britânico  
Fonte: DNIT (2006)

Tabela 3.2 – Classes para avaliação de microtextura

CLASSES	VRD – VALOR DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM
Perigosa	< 25
Muito lisa	25 – 31
Lisa	32 – 39
Insuficientemente rugosa	40 – 46
Medianamente rugosa	47 – 54
Rugosa	55 - 75
Muito rugosa	>75

Fonte: DNIT (2006)

### 3.3 MU METER (ATRITO DINÂMICO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL)

Este equipamento é muito usado no Brasil em aeroportos pelo Ministério da Aeronáutica por meio de sua Diretoria de Engenharia (DIRENG) e pela Infraero.

Trata-se de um equipamento rebocado, constituído de três rodas, sendo duas destinadas a medir o coeficiente de atrito e a terceira para indicar as distâncias percorridas (APS, 2006). A Figura 3.3 ilustra o equipamento.



Figura 3.3 - Equipamento Mu-Meter  
Fonte: INFRAERO (2007)

Quando o equipamento é rebocado, as forças laterais, resultantes do deslizamento lateral das rodas medidoras, são transmitidas aos braços móveis e medidas por uma célula de carga que transmite eletronicamente as informações a um sistema de coleta de dados (SANSONE, 2006).

O sistema espargidor tem o objetivo de manter uma lâmina de água constante em frente a cada uma das rodas medidoras, para simular as condições de pista molhada. O sistema é calibrado de modo a liberar água em uma vazão que, na velocidade de medição, produza uma lâmina d'água com espessura de 1 mm (SANSONE, 2006).

As medidas podem ser feitas tanto para pavimento seco como para condição de pista molhada. A velocidade do equipamento pode ser ajustável, sendo a mais comum de 65 Km/h e seu procedimento está descrito na ASTM E-670, 2000 (APS, 2006).

### 3.4 MEDIÇÃO COM RÉGUA METÁLICA (PLANICIDADE)

Em pistas de pouso e decolagem é fundamental o controle da planicidade da superfície do pavimento para que não apareçam poças d'água.

Durante a execução deverá ser feito em cada estaca da locação o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas metálicas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 5mm, quando verificada com qualquer das réguas (INFRAERO, 2003).

### **3.5 MERLIN (IRREGULARIDADE LONGITUDINAL)**

Dentre os vários métodos de medição das irregularidades longitudinais de um pavimento nesse trabalho será abordado o *Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation* (MERLIN).

Este aparelho foi desenvolvido na Inglaterra, como sugestão para utilização em países em desenvolvimento. Por meio dele, podem ser realizadas medições diretas da irregularidade longitudinal. O sistema permite medir a distorção vertical do pavimento sob uma ponta de prova e o ponto central da linha imaginária que une os dois pontos onde a superfície está em contato com os dois pés DNIT (2006).

A Figura 3.4 apresenta um desenho esquemático do equipamento formado por uma estrutura metálica de 1,80 m de comprimento, tendo duas pernas, uma dianteira e outra traseira. Também existe uma barra auxiliar junto à perna traseira (para estabilizar o conjunto em repouso), além de uma ponta de prova situada exatamente no ponto médio entre as duas pernas DNIT (2006).

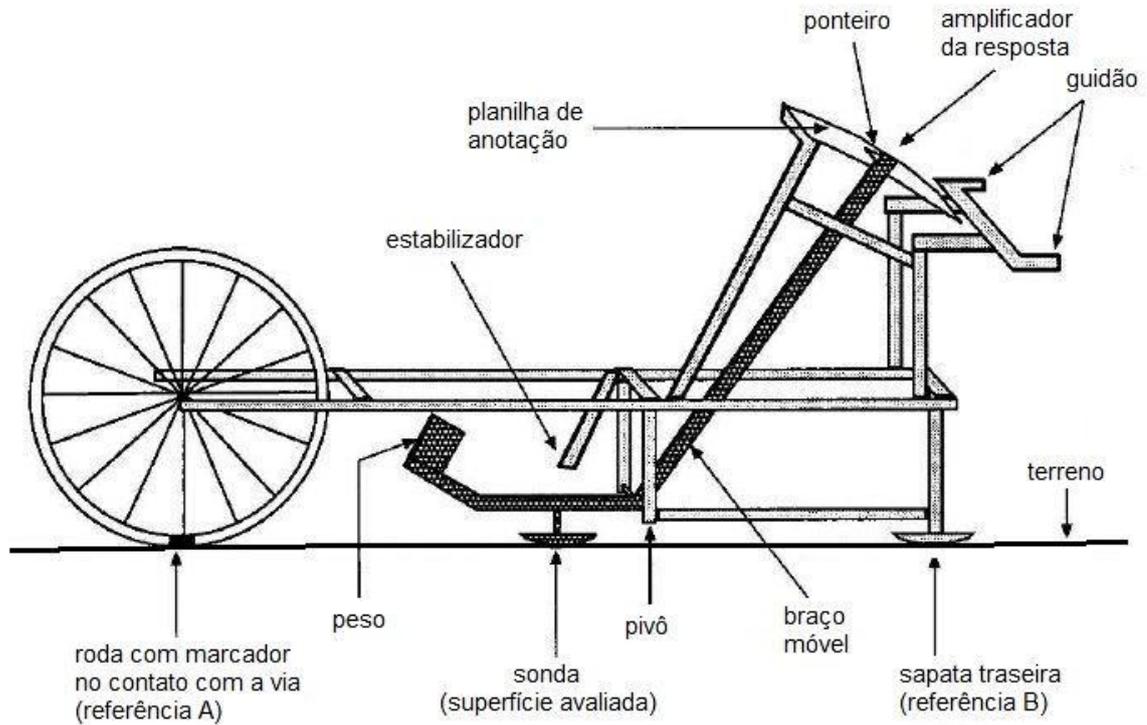


Figura 3.4– Desenho esquemático do MERLIN  
Fonte: DNIT (2006)

### 3.6 MÉTODO TOPOGRÁFICO (INCLINAÇÃO TRANSVERSAL)

Um dos métodos para medição da inclinação transversal de um pavimento é através do nivelamento topográfico com um nível ótico e uma mira escalonada em milímetros em diversas seções do trecho em análise DNIT (2006).

## 4 IMPORTÂNCIA DAS AVALIAÇÕES FUNCIONAIS

Os pavimentos são estruturas que podem apresentar deterioração funcional e estrutural a partir do tráfego imposto. A avaliação funcional tem como palavras-chave: conforto ao rolamento, condição da superfície, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades.

Segundo Silva (2008) os parâmetros funcionais mais relevantes desta avaliação na pavimentação aeroportuária estão relacionados à segurança contra a derrapagem das aeronaves, a qual é função de uma boa interação pneu-pavimento.

A Figura 4.1, mostra defeitos comuns ocorridos nas pistas dos aeroportos brasileiros. Esses defeitos, embora não sejam sentidos pelos passageiros das aeronaves podem ser causadores de muitos acidentes e incidentes, visto que pequenos buracos, trincas (executivas), desgaste da superfície de rolamento, provocam acúmulo de água na pista, e conseqüentemente a aquaplanagem.



Figura 4.1 – Defeitos encontrados na pista antiga do AIB  
Fonte: SILVA (2008)

### 4.1 ATRITO

O conceito de atrito, em física, é denominado como sendo uma força natural que atua quando um objeto está em contato com outro e sofre a ação de outra força que tende a

colocá-lo em movimento. Depende da Força Normal que age num corpo em contato com a superfície; quanto maior for a Força Normal maior será o atrito. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2006)

Sem o atrito, todas as formas de transporte que se deslocam sobre rodas não poderiam mover-se, pois é o atrito entre as rodas e o solo que permite o deslocamento, produzindo movimento pela troca de forças.

#### 4.1.1 COEFICIENTE DE ATRITO

Para os físicos, o atrito é dado como sendo uma força natural (tangencial) que atua quando um objeto está em contato com outro e sofre a ação de outra força (externa).

O atrito é representado por um índice, denominado coeficiente de atrito ( $\mu$ ), razão entre a força tangencial, resistente ao movimento entre dois corpos, e a força normal aplicada a estes corpos. Este índice demonstra o grau de rugosidade entre dois corpos. Matematicamente o coeficiente de atrito é descrito pela Equação 4.1.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (4.1)$$

Onde:

$\mu$  = Coeficiente de atrito

F = Força tangencial

N = Força Normal

Normalmente, no meio rodoviário e aeroportuário, assume-se que o coeficiente de atrito pneu-pavimento é composto de duas parcelas: o atrito devido à adesão, proveniente da atração molecular das superfícies, e o atrito devido à perda por histerese, resultante da deformação cíclica da superfície dos pneus e pelas asperezas do pavimento, conforme expresso na Equação 4.2.

$$\mu_d = \mu_a + \mu_h \quad (4.2)$$

Onde:

$\mu_d$  = coeficiente de atrito devido ao deslizamento;

$\mu_a$  = coeficiente de atrito devido à adesão;

$\mu_h$  = coeficiente de atrito devido à histerese.

Este comportamento combinado é consequência direta da viscoelasticidade da borracha, e traduz-se na perda de energia por meio da geração de calor devido aos movimentos intermoleculares. É devido ao atrito que uma aeronave consegue realizar o procedimento de decolagem partindo do repouso e atingindo a velocidade ideal para levantar voo, bem como o procedimento de pouso, em que a aeronave se aproxima a uma determinada velocidade e tem de parar com conforto e segurança. (SANTOS, 2004)

O atrito é fortemente influenciado pela qualidade da área de contato pneu-pavimento, ou seja, pelo material utilizado nas camadas de rolamento dos pavimentos, sendo que a presença de água ou não é um fator importante a ser considerado.

#### **4.1.2 ÍNDICE INTERNACIONAL DE ATRITO (IFI - INTERNACIONAL FRICTION INDEX)**

Em decorrência da série de fatores que podem comprometer a segurança das operações de pousos e decolagens nos aeroportos, relacionadas às condições de atrito nas pistas aeroportuárias, várias pesquisas foram conduzidas por agências especializadas de diferentes países do mundo, entre os quais os Estados Unidos da América, por meio da *National Aeronautics and Space Agency* (NASA), da *Federal Aviation Administration* (FAA) e da *United States Air Force* (USAF). (Santos, 2004)

Um dos objetivos desses estudos é definir requisitos de atrito e de textura superficial necessários para pavimentos aeroportuários, e estabelecer alguns procedimentos para o monitoramento contínuo da evolução de tais requisitos, com intuito de implementar medidas preventivas e corretivas que possam assegurar pousos e decolagens com níveis de atrito adequados às operações aeroportuárias, sob condições meteorológicas normais e adversas.

Os métodos e sistemas usados para medir textura e resistência à derrapagem das superfícies de pavimentos variam significativamente, conforme o país. Isso dificulta

sobremaneira o intercâmbio de informações entre os países, no que diz respeito à comparação destes parâmetros. Em 1992, o Comitê Técnico da *World Road Association* (PIARC) apresentou uma escala de referência internacional, visando a avaliação global da superfície de um pavimento. Esta escala é representada pelo *Internacional Friction Index* (IFI), que avalia o atrito e a textura da superfície FAA (2004) *apud* SILVA (2008).

Para obtenção do IFI é necessário realização de ensaio com qualquer equipamento ou técnica, a partir de critérios estabelecidos no experimento internacional, determinando dois tipos de medidas relativas ao pavimento analisado, uma de atrito (FR) e outra de textura (Tx), utilizando por exemplo, resultados obtidos por meio de ensaios como Pêndulo Britânico e Mancha de areia. (APS, 2006)

O IFI é representado por dois números situados entre parênteses e separados por uma vírgula, com o primeiro referindo-se ao atrito e o segundo a textura. O primeiro número é adimensional ( $F_{60}$ ) e o segundo é expresso em km/h (Sp). Ambos fornecem os parâmetros relativos para uma velocidade padrão de 60 km/h e por meio deles pode-se calcular o valor de atrito  $F(S)$ , a qualquer velocidade de deslocamento (S).

APS (2006) propõe uma classificação do IFI por meio de faixas, conforme mostrado na Tabela 4.1, onde o índice de atrito é composto por meio de medições com aparelhagem portátil.

Tabela 4.1 - Classificação do índice de atrito

LIMITES (IFI)	CLASSIFICAÇÃO
IFI < 0,05	Péssimo
0,06 < IFI < 0,08	Muito Ruim
0,09 < IFI < 0,11	Ruim
0,12 < IFI < 0,14	Regular
0,15 < IFI < 0,21	Bom
0,22 < IFI < 0,35	Muito Bom
IFI > 0,35	Ótimo

Fonte: APS (2006)

É importante ressaltar que há diferença entre as medições com aparelhagem portátil, onde as determinações são pontuais e medição realizada com equipamento de

medição contínua, como o MuMeter, onde a amostragem é realizada de forma contínua. Assim, devem ser realizadas considerações distintas conforme a metodologia utilizada para determinação dos parâmetros, observando as especificações pertinentes para pistas aeroportuárias.

APS (2006) chama a atenção para o fato de que os valores de atrito, determinados por meio de medições pontual ou contínua podem ser utilizados em estudos de acidentes, avaliações para sistemas de gerência de pavimentos além de manutenção das pistas aeroportuárias.

#### 4.1.2.1 CÁLCULO DO IFI

O IFI deve ser calculado para cada faixa do pavimento analisado. A constante de velocidade  $S_p$  é determinada por meio de uma medida de macrotextura, onde se determina-se a altura média da rugosidade (HS) utilizado na equação a seguir:

$$S_p = a + b \times T_x \quad (4.3)$$

Onde:

$S_p$  = Constante de Velocidade;

$T_x$  = valores da altura média da rugosidade (HS), em mm;

a, b = constantes dependentes do método utilizado (No caso da Mancha de Areia, tem-se  $a = -11,6$  e  $b = 113,6$ ).

A partir daí é então obtido o  $FR_{60}$  (Fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h) pela equação:

$$FR_{60} = FRS \times e^{\left(\frac{S-60}{S_p}\right)} \quad (4.4)$$

Onde:

$FR_{60}$  = fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h;

$FRS$  = valores de medidos com o Pêndulo Britânico;

$S_p$  = Constante de Velocidade obtida pela Equação (4.3);

$S$  = velocidade em que é medido o atrito de acordo com o equipamento utilizado, que no caso do Pêndulo Britânico é igual a 10 km/h.

O próximo passo é a obtenção o Número de Atrito,  $F_{60}$  (*Friction Number*) pela equação:

$$F_{60} = A + B \times FR_{60} + C \times T_x \quad (4.5)$$

Onde:

$F_{60}$  = Número de Atrito;

$FR_{60}$  = Fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h obtido pela Equação 6.4;

$T_x$  = Valores da altura média da Rugosidade, em mm;

$A$ ,  $B$  e  $C$  = constantes dependentes do Método utilizado (No caso do Pêndulo Britânico, tem-se  $A=0,056$ ;  $B=0,008$ ;  $C=0,0$ ).

Definidos  $S_p$  e  $F_{60}$ , pode-se finalmente calcular o IFI de um pavimento a qualquer velocidade de passeio  $S$ , por meio da seguinte equação:

$$IFI(S) = F_{60} \times e^{\left(\frac{S-60}{S_p}\right)} \quad (4.6)$$

### 4.1.3 O DESLIZAMENTO

Andresen e Wambold (1999) *apud* Silva (2008) descrevem que o atrito resultante do deslizamento real refere-se àquele que se produz em razão do movimento relativo entre a banda de rodagem do pneu e a superfície da pista, sendo consequência de três fenômenos:

- Adesão: na interface das duas superfícies surgem forças adesivas entre as moléculas dos dois materiais, cuja magnitude depende do tempo de contato, e, portanto, da velocidade de deslizamento, além da composição da borracha do pneu e microtextura da superfície. Esta sofre influência se for levemente separada por algum contaminante.

- Histerese: está relacionada com a macrotextura da superfície, pois, é consequência da deformação que ocorre na borracha do pneu, quando a banda de rodagem desliza sobre as irregularidades da pista. Sua magnitude aumenta com velocidade de deslizamento, e seu valor máximo ocorre para maiores velocidades quando a temperatura aumenta, entretanto não são influenciadas quando as superfícies de contato são levemente separadas por algum contaminante.
- Desgaste: consequência do **arrancamento** de partículas do pneu na superfície de contato com o pavimento, também conhecido como **emborrachamento** da pista.

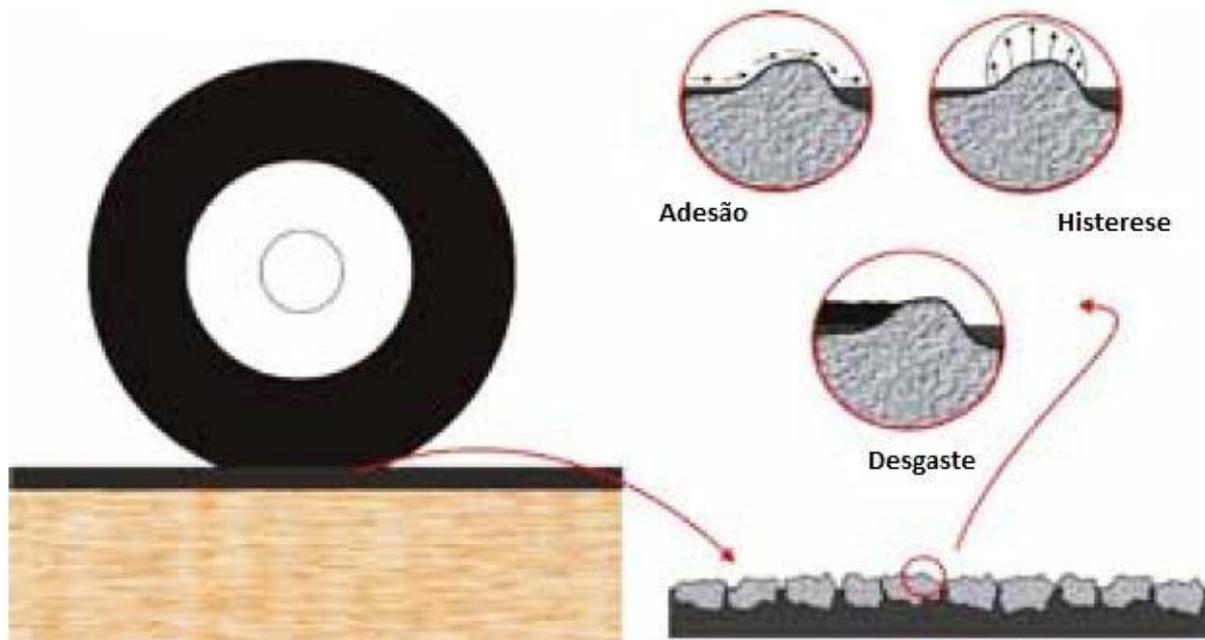


Figura 4.2 - Mecanismos do atrito ao deslizamento de um pneu sobre um pavimento.  
Fonte: SILVA (2008)

## 4.2 AQUAPLANAGEM

É importante avaliar a interação pneu-pavimento, principalmente em dias de chuva, que envolve a quantificação da resistência à derrapagem que é função da aderência. Estas condições de aderência de pavimentos constituem-se fatores de grande relevância nas avaliações de superfície e na decisão de manutenções, principalmente das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos.

Vários fatores colaboram para a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas, mas dois são essenciais, a macrotextura e microtextura, e as características dos pneus (ranhuras, pressão de inflação, dimensões e tipo).

O acúmulo de água na superfície do revestimento asfáltico associado à velocidade de deslocamento dos veículos e das aeronaves, normalmente alta, provocam o fenômeno da aquaplanagem. Esta falta de aderência entre o pneu e o pavimento faz com que as aeronaves entrem num estado de flutuação sobre o lençol de água conforme apresentado na Figura 4.3.



Figura 4.3 – Fenômenos da aquaplanagem.  
Fonte: ARAUJO (2009)

A manutenção do contato entre as superfícies é essencial, para evitar este fenômeno. É por este contato que se pode garantir o atrito, que é mobilizado quando uma das superfícies está em movimento em relação à outra. Quando o atrito fica reduzido, pode-se perder o controle da direção e a frenagem também fica prejudicada.

Nessas condições a força de atrito é praticamente nula e insuficiente para manter a roda girando. Uma vez iniciada a aquaplanagem, a velocidade em que a aeronave encontra-se em relação ao solo deve imediatamente ser reduzida sensivelmente para que a roda volte a girar. (ICAO, 1994)

Atualmente, são conhecidos basicamente três tipos de hidroplanagem: viscosa, dinâmica e por desvulcanização, apresentadas a seguir:

#### 4.2.1 AQUAPLANAGEM VISCOSA

Ocorre quando uma fina película de contaminante (água) age como lubrificante em uma superfície asfáltica, assim reduzindo o atrito entre pneu-pavimento, mesmo em baixas

velocidades. É muito comum a ocorrência deste tipo de hidroplanagem, principalmente em cabeceiras e zonas de toque emborrachadas durante períodos longos de precipitação, podendo ser desencadeada em velocidades menores que as dos outros tipos de hidroplanagem.

#### 4.2.2 AQUAPLANAGEM DINÂMICA

Ocorre, ao contrário da viscosa, sob condições de velocidade maior, quando a água não consegue escapar dos sulcos dos pneus, fazendo com que as rodas do trem de pouso girem sem a menor tração, literalmente sobre a camada de água. Segundo Silva (2008), a espessura crítica da lâmina de água necessária para desencadear este processo, em superfície onde a macrotextura é enquadrada como fechada ou fina, é de aproximadamente 2 a 3,0 mm, chegando até a 10 mm em pistas cuja macrotextura é considerada aberta. Neste sentido, para diminuição da probabilidade de ocorrência deste fenômeno é necessário manter satisfatório o caimento transversal das pistas para que a água proveniente de chuvas de curta ou longa duração, seja completamente escoada para os dispositivos de captação devidamente projetados e instalados nas laterais da pista, ao longo de toda sua extensão, conforme ilustrado na Figura 4.4.

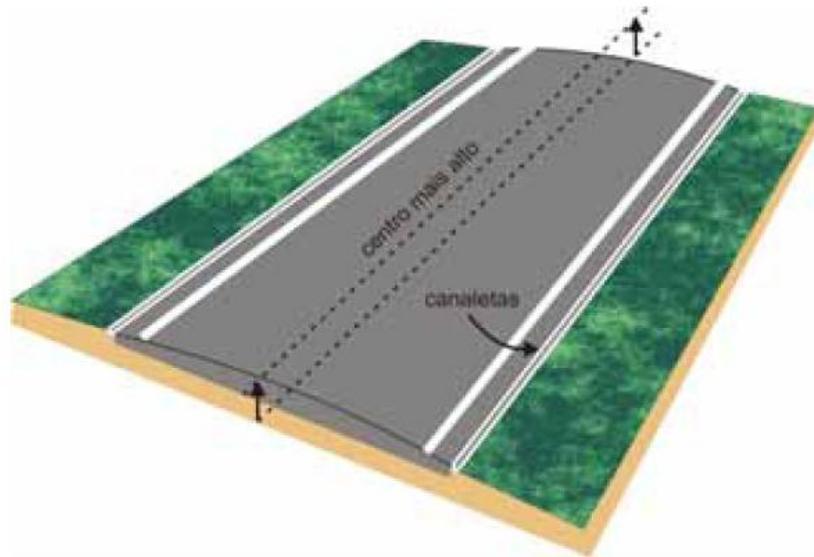


Figura 4.4 - Pista aeroportuária com caimento satisfatório (2 %).  
Fonte: SILVA (2008)

#### 4.2.3 BORRACHA REVERTIDA

Também conhecida como hidroplanagem por desvulcanização, ocorre quando os freios são travados em uma pista molhada ou úmida, o que superaquece a banda de rodagem, gerando vapor na área de contato, fazendo com que a borracha do pneu entre no processo de

fundição (Figura 4.5) enquanto o pneu roda sobre o vapor, deixando marcas de derrapagem na pista. É uma ocorrência rara resultante de um mau funcionamento dos freios ou do sistema antiderrapante (*anti skid system*).



Figura 4.5 - Banda de rodagem de um pneu aeronáutico após hidroplanagem por desvulcanização

Fonte: SILVA (2008)

## 5 DESEMBORRACHAMENTO DA PISTA

---

### 5.1 CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DO EMBORRACHAMENTO

Agora que conhecemos os principais fatores que influenciam na segurança da pista de pouso e decolagem em um aeroporto podemos estudar o tema proposto pelo trabalho: O desemborrachamento das pistas.

O emborrachamento ocorre devido ao atrito pneu-pavimento. O acúmulo da borracha nas aberturas das ranhuras da pista acontece quando a borracha dos pneus, devido ao atrito que causa aumento de temperatura, se altera do estado sólido para viscoso, fazendo com que esta borracha se espalhe na superfície e adentre as ranhuras, sendo necessário o processo de desemborrachamento para removê-la. (SANTOS, 2004)

Devido ao número acentuado de pousos e decolagens nas pistas aeroportuárias, ocorre constantemente esse processo de emborrachamento causado pelo atrito pneu-pavimento, reduzindo significativamente os valores da macrotextura, fazendo com que a superfície perca suas qualidades drenantes. Esse sistema eficiente de drenagem é a característica mais importante do grooving.

O estrangulamento das aberturas das ranhuras ou total fechamento delas se dá principalmente no pouso (Figura 5.1-a), quando a borracha dos pneus atinge temperaturas elevadas devido ao atrito, causando a polimerização da borracha ou desencadeando uma reação química, levando à alteração de estado sólido para viscoso, tornando a borracha acumulada um material fino, muito duro distribuído na superfície e adentre as ranhuras (Figura 5.1-b) (SANZONE *et al.*, 2006).



Figura 5.1 - (a) Aeronave pousando; (b) Grooving emborrachado  
Fonte: SANZONE *et al.* (2006)

Segundo Speidel (2002), uma aeronave do porte do Boeing 747 deposita cerca de 700 gramas de borracha por pneu/pouso, fazendo com que as medidas da condição de atrito aproximem-se ou fiquem abaixo do nível de planejamento e manutenção após várias vezes que se repete esse processo.

O Aeroporto de Brasília, por exemplo, por receber tráfego intenso de aeronaves em suas duas pistas, tem plano de remoção de borracha com frequência mínima de 6 meses e máxima de 1 ano, dependendo do número de aterrissagens e nível de contaminação da pista. (SILVA, 2008)

## 5.2 PROCEDIMENTO PARA O DESEMBORRACHAMENTO

O processo de remoção de borracha deve atentar para uma execução adequada, sob pena de danificar a superfície do pavimento e o grooving, que podem deixar a pista em condições inadequadas para pousos e decolagens. (INFRAERO, 2005)

O *Manual de Servicios de Aeropuertos* (ICAO, 1994), sugere a Tabela 5.1 como referência para planejar a frequência de remoção de contaminantes.

Tabela 5.1 - Frequência de remoção de contaminantes

<b>NÚMERO DE ATERISSAGENS DIÁRIAS DE AERONAVES A JATO POR CABECEIRA</b>	<b>FREQUÊNCIA SUGERIDA DE REMOÇÃO DE DEPÓSITO DE BORRACHA</b>
Menor que 15	2 anos
De 16 a 30	1 ano
De 31 a 90	6 meses
De 91 a 150	4 meses
De 151 a 210	3 meses
Maior que 210	2 meses

Fonte: ICAO (1994)

### 5.2.1 REMOÇÃO DE BORRACHA COM BOMBA PARA HIDROJATEAMENTO

Com base em informações obtidas do manual da INFRAERO, o equipamento utilizado no processo de desemborramento de pista trata-se de caminhão dotado de bomba WOMA para hidrojateamento.

O caminhão possui pistolas de jateamento, chuveiro rotativo, mangueiras, bocais e comando de pé, conforme Figura 5.2.



Figura 5.2 – Caminhão WOMA com bomba para hidrojateamento.

Fonte: INFRAERO (2002)

O procedimento descrito para a remoção de borracha acumulada na superfície dos pavimentos das pistas é simples, porém requer cuidados especiais e de segurança como:

- Locais demarcados para realização dos trabalhos tem que estar livres de graxa ou óleo, caso contrário deverá ser feita a remoção dos mesmos com produto específico.
- Acesso aos locais de trabalho deve ser permitido, apenas, ao pessoal autorizado.
- Dependendo do método utilizado para a execução do serviço as roupas e equipamentos de proteção individual são obrigatórios evitando assim riscos à saúde (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Equipamento utilizado no processo com caminhão dotado de bomba WOMA para hidrojateamento, modelo 1502

Fonte: INFRAERO (2002)

- A operação do equipamento obedece a um *check-list* de vários itens operacionais, inclusive, na escolha e regulagem da pressão inicial de trabalho da bomba (Figura 5.4).

- Utilização das pistolas de hidrojateamento e a manipulação do chuveiro rotativo que são feitas em áreas previamente demarcadas com cones, com passadas repetidas, tanto na transversal como longitudinalmente, nos trechos de pavimento das pistas até que ocorra o desprendimento da borracha (Figura 5.4).



(a) pistola de hidrojateamento



(b) chuveiro rotativo



(c) passadas na transversal da pista

Figura 5.4 – Utilização das pistolas de hidrojateamento

Fonte: INFRAERO (2002)

- Na sequência, os locais de pavimento onde houve a retirada da borracha, são lavados com água e às vezes com solução detergente diluída (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Lavagem da pista após o desemborrachamento

Fonte: INFRAERO (2002)

- O processo é repetido nas áreas demarcadas do pavimento, até a remoção total da borracha.
- A borracha removida e a que ficou acumulada nos locais de trabalho, é recolhida e destinada a processos de reciclagem ou descarte apropriado.
- Concluído o trabalho de remoção e retirada da borracha, a superfície do pavimento fica pronta para iniciar a medição de atrito e, posteriormente, a pista é liberada para a operação normal de aeronaves, se obtiverem resultados satisfatórios.

### 5.2.2 PROCEDIMENTO COM COLETOR DE RESÍDUOS DE BORRACHA

Esse procedimento é executado por empresa especializada. O equipamento utilizado é o HIDROVAC 12.330 (Figura 5.6), que tem como função: (a) remover a borracha de pistas; (b) remoção de sinalização horizontal em pavimentos rígidos e flexíveis aeroportuários.



Figura 5.6 – Caminhão utilizado no processo de desemborrachamento de pista  
Fonte: JANINO (2013)

Segundo informações do manual técnico, a estrutura do equipamento é construída por uma base em aço carbono e é composta de: chassi tubular 100 x 80 mm, que forma a base para a fixação dos subconjuntos (bomba de ultra alta pressão, bomba de vácuo, etc.) e do monobloco com os tanques reservatórios de água e reservatório de coletor de resíduos.

Os reservatórios (de água e de coletor de resíduos) são montados sobre uma base, construída em aço carbono. Nas extremidades da base e na parte superior é fixado o sistema que forma a estrutura tubular que absorve os movimentos de torção e flexão provenientes do Chassi.

No interior dessa estrutura são montados o Reservatório de Água e o Reservatório de Coletor de Resíduos formando um conjunto monobloco. O conjunto monobloco é dotado de cilindro hidráulico de levantamento para basculamento e descarga do recipiente de resíduos.

O reservatório de água, construído em chapa de aço inoxidável, possui em sua parte superior tampa de inspeção e de enchimento, com sistema de vedação por borracha e fecho com regulagem progressiva, para uma perfeita vedação. As válvulas de descarga são dotadas de filtros, com elemento interno em tela de aço inoxidável. Tem capacidade de 6.000 litros.

O reservatório de coletor de resíduos, construído em chapa de aço inoxidável, contendo em seu interior tubo de entrada de detritos (água e borracha) com diâmetro de cinco polegadas; a extremidade do tubo de entrada dispõe de sistema de fixação de reservatório, confeccionado em tecido de nylon filtrante para armazenamento de borracha e filtragem da água, com retenção de partículas de até 100 micras e com a capacidade de 6.000 litros.

O rendimento operacional mínimo para remoção de borracha é de 2000 m<sup>2</sup>/h, com um consumo máximo de água de 3 l/m<sup>2</sup>, sendo a autonomia de 3 horas de operação ininterruptas.

A utilização desse equipamento foi feita no Aeroporto Internacional Afonso Pena, onde foram desemborrachados aproximadamente 16.000 m<sup>2</sup> no ano de 2011 e nas últimas remoções no ano de 2012, aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup>. As Figuras 5.7 e 5.8 ilustram o processo de desemborrachamento realizado neste local.



Figura 5.7 – Caminhão utilizado no processo de desemborrachamento de pista  
Fonte: JANINO (2013)

O Equipamento de Remoção de Borracha é acoplado na parte dianteira do veículo e dispõe de dispositivo de fixação através de pinos e travas que permitem sua colocação ou retirada com rapidez e por uma só pessoa.

O sistema de mangueiras é desacoplado através de engates rápidos e composto por 02 conjuntos:

- Conjunto de Braço Robótico

Esta parte permite através do Painel de Comando instalado na cabine, que o motorista posicione a coifa na melhor e mais adequada posição de trabalho. O Mancal de Giro e Cilindro Hidráulico fazem o levantamento do equipamento posicionando-o para deslocamentos rápidos do veículo.

- Conjunto de Coifa (Juntas Rotativas)

Este conjunto mecânico é o que executa o trabalho de hidrojateamento para desagregar a borracha ou tinta e o trabalho de sucção de água e detritos. É composto de uma coifa fabricada em chapa de aço inoxidável. Em seu interior tem 02 (dois) compartimentos, sendo um para alojar os dispositivos de hidrojateamento e o outro formando a câmara de vácuo, para a sucção de água e detritos de borracha.

Para viagens ou trânsito em vias públicas, o equipamento de remoção de borracha deve ser desacoplado do veículo e colocado sobre o caminhão de transporte onde será fixado em suportes específicos para esse fim, com garantia de segurança para viagens.

O caminhão dispõe de sistema de elevação de carga que permite a uma só pessoa elevar, posicionar e fixar o conjunto sobre a estrutura.



Figura 5.8 – Processo de desemborrachamento no Aeroporto Internacional Afonso Pena.  
Fonte: JANINO (2013)

## 6 CONCLUSÃO

---

Através do presente trabalho pode-se constatar a importância do serviço de desemborrachamento de pista aeroportuária, onde sua correta execução está sempre relacionada a preservação do pavimento para maior segurança nos pousos e decolagens.

A grande quantidade de pousos e decolagens das aeronaves nas pistas causa desgaste dos pneus, deixando resíduos de borracha na superfície do pavimento, causando alterações na macrotextura da superfície dos pavimentos, por este motivo se faz necessário a retirada da borracha acumulada, para a preservação da sua funcionalidade às operações de pouso e decolagem com segurança.

Para que os pavimentos aeroportuários ofereçam um bom nível de serviço, devem oferecer boa qualidade de rolamento e segurança operacional, para aeronaves, sob quaisquer condições de tempo.

Devido à existência de grandes aeronaves, com peso e velocidade de aterrissagem elevadas, o desempenho da frenagem nas pistas aeroportuárias (quando molhadas), tornou-se um item, cada vez mais crítico para a segurança operacional das aeronaves. Dependendo das condições dos pavimentos das pistas, pode ocorrer a aquaplanagem ou a perda de contato pneu-pavimento, resultando em frenagem deficiente, com a possibilidade de perda de controle de direção da aeronave.

Vários fatores afetam a funcionalidade operacional dos pavimentos aeroportuários, principalmente, na resistência à derrapagem em superfícies molhadas:

- Profundidade da macrotextura da superfície dos pavimentos, acarretando na maior ou menor perda de energia ao contato com os pneus,
- Natureza (áspera ou lisa) da microtextura dos agregados da superfície dos pavimentos, que permite ou não ruptura da lamina d'água.
- Grau de contaminação da superfície dos pavimentos por borracha (emborrachamento).
- Existência de depressões e trilhas de rodas (acúmulo de água) na superfície dos pavimentos.

As pistas de pouso e decolagem dos aeroportos devem ser mantidas de forma a atender requisitos de atrito e textura superficial de resistência à derrapagem das aeronaves, visando evitar a perda de controle direcional e de frenagem, particularmente em superfícies molhadas.

A microtextura pode ser avaliada ao tato com a superfície dos agregados em áspera (permite a ruptura da lamina de água) e lisa (condição para que ocorra aquaplanagem viscosa). A profundidade média da macrotextura dos pavimentos ideal não deve ser inferior a 0.50 mm. Para os pavimentos novos das pistas é de adotado 1 mm.

Com base nestes elementos de manutenção da integridade, são gerados menores problemas operacionais, visto que estas atividades são realizadas com muito rigor e em tempo de execução reduzido.

## REFERÊNCIAS

---

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

ARAÚJO, Janaina Lima de. **Revestimento de pavimento aeroportuário: características funcionais e mecânicas**. 2009. 66 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia de Brasília, Brasília, 2009.

BERNUCCI, L. B.; MOTA, L. M. G.; CERATI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras – Abeda, 2007. 501 p.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro: 2006. (Publicação IPR, 720).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física – Mecânica**. 7. ed. São Paulo: LTC, 2006. v. 1.

ICAO – INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES. **Aircraft Accident and Incident Investigation. International Civil Aviation Organization**. 8th. ed. Montreal: 1994. Annex 13

INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Estatísticas dos Aeroportos Brasileiros**. Brasília: 2005. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2013.

INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Aeroporto Internacional de Brasília - Presidente Juscelino Kubitschek. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária**. Brasília: 2007. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2013.

INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Aeroporto Internacional de Guarulhos - Obras de restauração de pista de pouso e decolagens 09L/27R**. São Paulo: 2002.

INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Aeroporto Internacional de Guarulhos - Especificações Técnicas GUA/GRL/000.ET-611/R2: Anexo 14**. São Paulo: 2003.

JANINO, Paola Armstrong. **Serviço execução desemborrachamento - TRAFFIC**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <cassick2@gmail.com> em 31 de out. 2013.

OLIVEIRA, F. H. L. **Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza**. 2009. 178 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SANTOS, E. L. dos. **Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ**. 2004. 124p. Monografia de Graduação - Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2004.

SANSONE, Oswaldo Rodrigues Filho. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários - Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas**. 2006, 263p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo.

SILVA, João Paulo Souza. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários**. 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia de Brasília, Brasília, 2008.

SPECHT, Luciano P.; ROZEK, Thiago; HIRSCH, Fábio. **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia**. Rio Grande do Sul: Unijui, 2007. 9 p.

SPEIDEL, D.J. **Airfield Rubber Removal. Federal Aviation Administration. Technology Transfer Conference**. 2002. Disponível em: [www.airporttech.tc.faa.gov](http://www.airporttech.tc.faa.gov) . Acessado em novembro de 2013.

**ANEXO A – ANAC, RESOLUÇÃO Nº 236**

---

## **RESOLUÇÃO Nº 236, DE 5 DE JUNHO DE 2012.**

Estabelece requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem.

**A DIRETORIA DA AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC**, no exercício da competência que lhe foi outorgada pelo art. 11, inciso V, da Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, tendo em vista o disposto nos arts. 8º, incisos X, XXI e XLVI, e 47, inciso I, da citada Lei, e considerando o que consta do processo nº 00058.004819/2012-22, deliberado e aprovado na Reunião Deliberativa da Diretoria realizada em 5 de junho de 2012,

### **RESOLVE:**

Art. 1º Os requisitos estabelecidos nesta Resolução são de cumprimento compulsório pelos operadores de aeródromos civis brasileiros que operam transporte aéreo público regular.

§ 1º Em face da complexidade da operação aeroportuária ou do risco à segurança operacional, a ANAC poderá estender a aplicação do conteúdo desta Resolução a aeródromos civis brasileiros que não operem voo regular.

§ 2º Em face da frequência anual de pousos, de condições operacionais específicas, do risco à segurança operacional ou da necessidade de garantia da segurança operacional, a ANAC pode requisitar medições adicionais de atrito e macrotextura ou estabelecer frequência menor que a definida na Tabela 2 desta Resolução.

Art. 2º Para os fins desta Resolução, considera-se:

I - intervenção na pista: execução de serviços em área contínua com pelo menos 100m (cem metros) de extensão, compreendida, parcial ou totalmente, na faixa de 6m (seis metros) a partir do eixo da pista, para cada lado, para aeródromos com operação de aeronave com letra do código D, E ou F ou na faixa de 3m (três metros) a partir do eixo da pista, para cada lado, para aeródromos com operação de aeronave com letra do código A, B ou C. Não são considerados intervenção na pista os serviços de remoção do acúmulo de borracha, revitalização da sinalização horizontal, selagem de trincas e limpeza da pista;

II - motor a reação ou turbojato: motor que utiliza a expansão dos gases para propulsionar o avião, aí incluídos os denominados turbofan;

III - profundidade da macrotextura de cada medição: resultado da divisão do volume de areia utilizado no ensaio pela área coberta pela areia;

IV - profundidade da macrotextura: média aritmética dos valores calculados para cada área de medição;

V - profundidade média da macrotextura: média aritmética das profundidades da macrotextura para cada terço da pista de pouso e decolagem em operação;

VI - valor do coeficiente de atrito: média aritmética dos valores obtidos para cada extensão de 100m (cem metros), considerando lado e distância de medição em relação ao eixo da pista de pouso e decolagem;

VII - valor do coeficiente de atrito em nível de manutenção: aquele abaixo do qual devem ser iniciadas ações visando restabelecer o coeficiente de atrito em nível maior ou igual ao indicado na coluna [6] da Tabela 1 desta Resolução;

VIII - valor do coeficiente de atrito em nível mínimo: aquele abaixo do qual a pista de pouso e decolagem, quando molhada, pode comprometer o desempenho de frenagem das aeronaves em solo.

Art. 3º As medições de atrito e macrotextura, bem como a remoção de borracha, são de responsabilidade dos operadores de aeródromos, permanecendo a responsabilidade solidária nos casos de delegação dos serviços.

## CAPÍTULO I DO ATRITO EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

Art. 4º O operador de aeródromo deve manter o nível do coeficiente de atrito do pavimento igual ou superior aos parâmetros estabelecidos na Tabela 1, a seguir, em função do tipo de equipamento de medição (coluna [1]) e respectivas condições (colunas [2] a [5]):

**Tabela 1 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição**

Equipamento [1]	Pneu		Velocidade do ensaio (km/h) [4]	Profundidade da lâmina de água simulada (mm) [5]	Coeficiente de atrito	
	Tipo [2]	Pressão (kPa) [3]			Nível de manutenção [6]	Nível mínimo [7]
Mu-meter	A	70	65	1,0	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Surface friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Runway friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,54	0,41
Tatra	B	210	65	1,0	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,52	0,42
Grip tester	C	140	65	1,0	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,36	0,24

Parágrafo único. Admite-se tolerância de 2,5% sobre os valores obtidos para o coeficiente de atrito.

Art. 5º O operador de aeródromo deve monitorar o nível de atrito do pavimento por meio de medições, utilizando um dos equipamentos listados na Tabela 1.

Art. 6º A medição do nível de atrito do pavimento deve ser realizada conforme frequência definida na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2 – Frequência mínima de medições de atrito**

<b>Faixas</b> [1]	<b>Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)</b> [2]	<b>Frequência mínima de medições de atrito</b> [3]
1	Menor ou igual a 15	Cada 360 dias
2	16 a 30	Cada 180 dias
3	31 a 90	Cada 90 dias
4	91 a 150	Cada 30 dias
5	151 a 210	Cada 15 dias
6	Mais de 210	Cada 7 dias

§ 1º Cada cabeceira deve ser avaliada separadamente, considerando-se, para fins de medição de atrito, a situação que resultar em maior frequência de medição.

§ 2º Os aeródromos com frequência de medição enquadrados na faixa 5 ou 6, conforme coluna [1] da Tabela 2, podem realizar as medições de atrito com a frequência estabelecida na faixa 4 ou 5, respectivamente, sempre que as 4 (quatro) últimas medições realizadas nas respectivas faixas apresentar coeficiente de atrito igual ou superior ao nível de manutenção.

§ 3º Se a medição do coeficiente de atrito resultar em valor abaixo do nível de manutenção, o operador de aeródromo que houver optado por realizar medição conforme o § 2º deste artigo deve voltar a efetuar a medição conforme frequência estabelecida na Tabela 2.

Art. 7º A abertura ao tráfego aéreo de pista de pouso e decolagem condiciona-se à medição e à obtenção do nível de atrito do pavimento maior ou igual ao estabelecido na coluna [7] da Tabela 1 quando se verificar uma das situações descritas a seguir:

I - após sua construção;

II - quando houver ampliação na extensão longitudinal da pista;

III - quando houver ampliação do comprimento disponível para pouso ou decolagem, caso a medição anterior não contemple o trecho em desuso;

IV - após intervenção na pista existente.

Art. 8º A medição de atrito deve ser realizada iniciando-se pela cabeceira com maior número de pousos, em toda a extensão operacional da pista de pouso e decolagem, excetuando-se os trechos para aceleração e desaceleração do equipamento de medição, e considerando:

I - a aeronave com maior letra do código em operação, conforme indicado na coluna [2] da Tabela 3, a seguir;

II - alinhamentos paralelos ao eixo da pista, conforme localização especificada na coluna [3] da Tabela 3;

III - quantidades mínimas de medições, segundo especificado na coluna [4] da Tabela 3.

**Tabela 3 – Localização das medições de atrito**

# [1]	Letra do Código (vide RBAC 154) [2]	Localização da medição [3]	Quantidade Mínima [4]
1	Aeródromos com operação de aeronave com letra do código A, B ou C	Distante 3m do eixo da pista	Uma vez de cada lado da pista
2	Aeródromos com operação de aeronave com letra do código D, E ou F	Distante 3m e 6m do eixo da pista	Uma vez de cada lado da pista, para cada distância em relação ao eixo da pista

Art. 9º O equipamento a ser utilizado nas medições de atrito deve ser:

I - aferido e calibrado conforme orientações do fabricante;

II - capaz de adquirir e registrar valores de atrito em intervalo máximo de 10m (dez metros);

III - operado por profissional com conhecimento do funcionamento, manutenção e operação do equipamento.

Art. 10. O operador de aeródromo deve encaminhar à ANAC o relatório de medição de atrito, nos moldes estabelecidos no Anexo I desta Resolução, no prazo máximo de 15 (quinze) dias contados de modo contínuo após a conclusão da referida medição.

Art. 11. O operador de aeródromo deve adotar ações quando o coeficiente de atrito estiver abaixo do valor indicado na coluna [6] da Tabela 1, visando ao restabelecimento do coeficiente de atrito a nível maior ou igual ao nível de manutenção.

Art. 12. Sempre que o coeficiente de atrito obtido apresentar valor inferior ao nível de manutenção indicado na coluna [6] da Tabela 1, o operador de aeródromo deve informar, anexo ao relatório, quais ações foram ou serão adotadas para restabelecer o coeficiente de atrito em valor maior ou igual ao nível de manutenção.

Art. 13. Sempre que o coeficiente de atrito obtido apresentar valor inferior ao nível mínimo indicado na coluna [7] da Tabela 1, o operador de aeródromo deve:

I - adotar ações com vistas a manter a segurança operacional, considerando-se metodologia de gerenciamento do risco à segurança operacional;

II - adotar ações para restabelecer o coeficiente de atrito em valor maior ou igual ao nível de manutenção;

III - solicitar a expedição de NOTAM contendo as seguintes informações:

a) de que a pista de pouso e decolagem contém trecho(s) passível(eis) de estar(em) escorregadio(s) quando molhado(s);

b) a localização do(s) trecho(s) da pista que apresenta(m) coeficiente de atrito inferior ao nível mínimo estabelecido na coluna [7] da Tabela 1; e

c) a extensão total do(s) trecho(s) da pista que apresenta(m) coeficiente de atrito inferior ao nível mínimo estabelecido na coluna [7] da Tabela 1.

## CAPÍTULO II DA MACROTEXTURA EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

Art. 14. O operador de aeródromo deve manter a profundidade média da macrotextura com índice maior ou igual a 0,60mm para pista de pouso e decolagem em operação.

Art. 15. O operador de aeródromo deve monitorar a profundidade da macrotextura do pavimento por meio de medição conforme ensaio volumétrico tipo mancha de areia descrito no Anexo III.

Art. 16. A medição da profundidade da macrotextura deve ocorrer conforme frequência definida na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4 – Frequência mínima de medições de macrotextura**

Faixas [1]	Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano) [2]	Frequência mínima de medições de macrotextura [3]
1	Menor ou igual a 15	Cada 360 dias
2	16 a 30	Cada 180 dias
3	31 a 90	Cada 90 dias
4	91 a 150	Cada 60 dias
5	151 a 210	Cada 45 dias
6	Mais de 210	Cada 30 dias

Parágrafo único. Cada cabeceira deve ser avaliada separadamente, considerando-se, para fins de medição da profundidade da macrotextura, a situação que resultar em maior frequência de medição.

Art. 17. A abertura ao tráfego aéreo de pista de pouso e decolagem condiciona-se à medição e à obtenção da profundidade média da macrotextura do pavimento com índice maior ou igual a 0,60mm quando se verificar uma das situações descritas a seguir:

I - após sua construção;

II - quando houver ampliação na extensão longitudinal da pista;

III - quando houver ampliação do comprimento disponível para pouso ou decolagem, caso a medição anterior não contemple o trecho em desuso;

IV - após intervenção na pista existente.

§ 1º Para os casos enquadrados no inciso II, a profundidade média da macrotextura deve ser calculada em relação à ampliação da extensão longitudinal da pista de pouso e decolagem.

§ 2º Para os casos enquadrados no inciso IV, em que a extensão da intervenção é menor que 1/3 (um terço) da pista de pouso e decolagem em operação, a profundidade média da macrotextura deve ser calculada em relação à referida extensão da intervenção.

Art. 18. A medição da profundidade da macrotextura do pavimento deve ser realizada:

I - em toda a extensão operacional da pista;

II - em áreas do pavimento onde não existam ranhuras transversais (*grooving*);

III - em áreas localizadas a 3m (três metros) do eixo da pista, e de forma alternada a cada 100m (cem metros), à esquerda e à direita do eixo;

IV - com, no mínimo, 3 (três) medições para cada área.

Parágrafo único. Quando o pavimento da pista apresentar ranhuras transversais (*grooving*) que não abrangem toda a largura da pista, a medição da profundidade da macrotextura deve ser realizada logo após o término das ranhuras transversais.

Art. 19. O operador de aeródromo deve calcular a profundidade da macrotextura para cada área de medição e classificá-la conforme a Tabela 5, a seguir.

**Tabela 5 – Classificação da macrotextura**

<b>Profundidade - P(mm)</b>	<b>Classificação</b>
$P \leq 0,2$	Muito fechada
$0,2 < P \leq 0,4$	Fechada
$0,4 < P \leq 0,8$	Média
$0,8 < P \leq 1,2$	Aberta
$P > 1,2$	Muito aberta

Art. 20. O operador de aeródromo deve encaminhar à ANAC o relatório de medição de macrotextura, nos moldes estabelecidos no Anexo II desta Resolução, no prazo máximo de 15 (quinze) dias contados de modo contínuo após a conclusão da referida medição.

Art. 21. Sempre que a profundidade média da macrotextura apresentar valor inferior ao indicado no art. 14, o operador de aeródromo deve informar, anexo ao relatório de medição de macrotextura, quais ações foram ou serão adotadas para restabelecer a profundidade da macrotextura em valor maior ou igual ao estabelecido no referido artigo.

Art. 22. O operador de aeródromo deve adotar as seguintes medidas quando a profundidade média da macrotextura apresentar valor inferior ao indicado no art. 14:

I - adotar ações visando restabelecer a profundidade média da macrotextura em valor maior ou igual ao estabelecido no citado dispositivo;

II - adotar ações com vistas a manter a segurança operacional, considerando-se metodologia de gerenciamento do risco à segurança operacional;

III - avaliar se a profundidade média de água não excede 3mm (três milímetros) em uma região de 150m (cento e cinquenta metros) de comprimento, considerando os 12m (doze metros) centrais da largura da pista.

Parágrafo único. Se a profundidade média de água exceder o limite estabelecido no inciso III, o operador de aeródromo deve providenciar ações corretivas na região, a fim de garantir que a pista tenha drenagem suficiente para não acumular água acima do citado limite.

**CAPÍTULO III**  
**DO ACÚMULO DE BORRACHA EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM**

Art. 23. O operador de aeródromo deve monitorar, periodicamente, o acúmulo de borracha por meio de metodologia de medição própria.

Art. 24. O operador de aeródromo deve adotar ações de remoção de borracha:

I - quando o acúmulo de borracha afetar as condições adequadas de aderência da pista de pouso e decolagem;

II - na frequência mínima estabelecida na Tabela 6, a seguir, quando o valor do coeficiente de atrito for inferior ao nível de manutenção e superior ao nível mínimo estabelecido na Tabela 1.

**Tabela 6 – Frequência mínima de remoção do acúmulo de borracha**

<b>Faixas</b> [1]	<b>Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato</b> <b>(média do último ano)</b> [2]	<b>Frequência mínima de remoção de borracha</b> [3]
1	Menor ou igual a 15	Cada 720 dias
2	16 a 30	Cada 360 dias
3	31 a 90	Cada 180 dias
4	91 a 150	Cada 120 dias
5	151 a 210	Cada 90 dias
6	Mais de 210	Cada 60 dias

§ 1º O marco inicial para determinação da data de realização do serviço de remoção do acúmulo de borracha refere-se à primeira medição na qual foi constatada a situação prevista neste inciso II.

§ 2º Cada cabeceira deve ser avaliada separadamente, considerando-se, para fins de remoção do acúmulo de borracha, a situação que resultar em maior frequência de medição.

**CAPÍTULO IV**  
**DAS SANÇÕES**

Art. 25. O operador de aeródromo incidirá em multa quando:

I - não realizar medições conforme frequências estabelecidas na Tabela 2 e na Tabela 4;

II - não apresentar os relatórios de medição exigidos nesta Resolução;

III - o nível do coeficiente de atrito de uma pista de pouso e decolagem resultar em valor inferior ao nível mínimo estabelecido na Tabela 1;

IV - a profundidade média da macrotextura for inferior ao estabelecido no art. 14;

V - não atender ao estabelecido no art. 7º;

VI - não atender ao estabelecido no art. 17;

VII - não adotar qualquer das medidas determinadas nos arts. 13 e 22.

Parágrafo único. Os valores das multas estabelecidos neste artigo encontram-se definidos em regulamento específico da ANAC.

## CAPÍTULO V DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 26. O operador de aeródromo deve manter sob sua posse, pelo período mínimo de 5 (cinco) anos, todos os documentos que comprovem o cumprimento de exigências estabelecidas nesta Resolução.

Art. 27. A ANAC pode, a qualquer tempo, com vistas a esclarecer requisitos ou otimizar processos, publicar normas complementares, bem como estabelecer formulários, a serem disponibilizados no sítio da ANAC na rede mundial de computadores.

Art. 28. Os Anexos I, II e III de que trata esta Resolução encontram-se publicados no Boletim de Pessoal e Serviço - BPS desta Agência (endereço eletrônico [www.anac.gov.br/transparencia/bps.asp](http://www.anac.gov.br/transparencia/bps.asp)) e igualmente disponíveis em sua página “Legislação” (endereço eletrônico [www.anac.gov.br/legislacao](http://www.anac.gov.br/legislacao)), na rede mundial de computadores.

Art. 29. Esta Resolução entra em vigor 60 (sessenta) dias após a data de sua publicação.

Art. 30. Ficam revogados, com a entrada em vigor desta Resolução:

I - a Instrução de Aviação Civil 4302 (“Requisitos de Resistência à Derrapagem para Pistas de Pouso e Decolagem”), aprovada pela Portaria DAC nº 896/DGAC, de 28 de maio de 2001, publicada no Diário Oficial de 1º de junho de 2001, Seção 1, página 41;

II - os itens 5.5.5.11, 5.5.5.12, 5.5.5.14, 5.5.7(n) e 5.5.7(o) da Instrução de Aviação Civil 139-1001 (“Manual de Operações do Aeroporto”), aprovada pela Portaria DAC nº 531/DGAC, de 2 de junho de 2004, publicada no Diário Oficial da União de 4 de junho de 2004, Seção 1, página 19;

III - os itens 154.201(h)(3), 154.201(h)(4) e G.6 do Apêndice “G” do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 154, publicado no Diário Oficial da União de 12 de maio de 2009, Seção 1, página 148; e

IV - a Resolução ANAC nº 88, de 11 de maio de 2009, publicada no Diário Oficial da União de 12 de maio de 2009, Seção 1, página 146.

**MARCELO PACHECO DOS GUARANYS**  
Diretor-Presidente

---

Publicada no Diário Oficial da União de 11 de junho de 2012, Seção 1, página 6 e  
Republicada no Diário Oficial da União de 12 de junho de 2012, Seção 1, página 4.

ANEXO I

# MEDIÇÃO DE ATRITO

**NOME DO AERÓDROMO**

**CÓDIGO OACI**

**PISTA DE POUSO E DECOLAGEM** \_\_\_/\_\_\_

<cidade>, <dia> de <mês> de 20\_\_

**Relatório Técnico N°: 000/SB**\_\_\_

**Data de medição: xx/xx/xxxx**

*Versão 01*

Data: <b>xx/xx/xxxx</b>	Responsável pela execução do ensaio: <b>Nome do Responsável</b>	Assinatura:
Data: <b>xx/xx/xxxx</b>	Responsável Técnico pelo Relatório: <b>Nome do Responsável</b> <b>CREA/___:</b>	Assinatura:

**1. MOTIVAÇÃO DO ENSAIO**

1.1. <Descrição dos motivos que levaram à execução da medição de atrito.>

**2. INFORMAÇÕES GERAIS**

2.1 Letra do código da maior aeronave em operação.  
 A     B     C     D     E     F

2.2 Classificação do pavimento.  
 Flexível     Rígido     Outro (especificar) \_\_\_\_\_

2.3 Comprimento e largura da pista de pouso e decolagem.  
 Comprimento: [ \_\_\_\_\_ ] metros    Largura: [ \_\_\_\_\_ ] metros

2.4 Tratamento superficial do pavimento do tipo ranhuras transversais (*grooving*).  
 Não  
 Sim, na extensão de [ \_\_\_\_\_ ] metros, iniciando-se a [ \_\_\_\_\_ ] metros da cabeceira [ \_\_\_\_ ].  
 - Largura do tratamento superficial [ \_\_\_\_\_ ] metros.

2.5 Comprimento de pista medido.  
 [ \_\_\_\_\_ ] metros

2.6 Distância do ponto de início da medição em relação ao início da sinalização horizontal de cabeceira (após atingir velocidade de ensaio).  
 [ \_\_\_\_\_ ] metros da cabeceira [ \_\_\_\_ ].

2.7 Equipamento utilizado.  
 *Mu-meter*     *Skiddometer*     *Tatra*     *Grip Tester*  
 *Surface friction tester vehicle*     *Runway friction tester vehicle*

2.8 Velocidade de execução da medição de atrito.  
 65 km/h     95 km/h

2.9 Fabricante do equipamento.  
 [ \_\_\_\_\_ ]

2.10 Temperatura durante a medição de atrito.  
 [ \_\_\_\_ ] °C

2.11 Umidade relativa do ar.  
 [ \_\_\_\_ ] %

2.12 Condição do tempo durante a medição.  
 Nublado     Ensolarado     Outros (Especificar) \_\_\_\_\_

2.13 Data da última remoção de borracha da pista.  
 [ \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ ]

2.14 Horário de início da medição.  
 [ \_\_\_\_:\_\_\_\_ ]

2.15 Horário de término da medição.  
 [ \_\_\_\_:\_\_\_\_ ]

2.16 Espessura da banda de rodagem do pneu utilizado no equipamento (*TWI-Tread Wear Indicator*).  
 [ \_\_\_\_\_ ] mm

2.17 Data da última calibração do equipamento.  
 [ \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ ]

2.18 Próxima medição de atrito (data provável).  
[ \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ ]

2.19 Pousos diários de aeronaves com motor a reação por cabeceira (média do último ano):  
[ \_\_\_\_\_ ] pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira [ \_\_\_ ].  
[ \_\_\_\_\_ ] pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira [ \_\_\_ ].

2.20 Observações:

3. RESULTADOS – VALORES DE ATRITO

(\*) início da medição pela cabeceira predominante

↑ (*)	Esquerda do eixo da pista				00	Direita do eixo da pista				↑ (*)
	6m		3m			3m		6m		
	μ	v (km/h)	μ	v (km/h)		μ	v (km/h)	μ	v (km/h)	
4000										4000
3900										3900
3800										3800
3700										3700
3600										3600
3500										3500
3400										3400
3300										3300
3200										3200
3100										3100
3000										3000
2900										2900
2800										2800
2700										2700
2600										2600
2500										2500
2400										2400
2300										2300
2200										2200
2100										2100
2000										2000
1900										1900
1800										1800
1700										1700
1600										1600
1500										1500
1400										1400
1300										1300
1200										1200
1100										1100
1000										1000
900										900
800										800
700										700
600										600
500										500
400										400
300										300
200										200
100										100

Distâncias de medição (m)

Distâncias de medição (m)

**4. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS**

<Deverá ser feita análise crítica dos resultados das medições realizadas, a qual pode conter gráficos, estatísticas e outras informações relevantes para a conclusão.>

**5. CONCLUSÃO**

<O relatório técnico deve apresentar conclusão baseada na legislação em vigor.>

**6. REFERÊNCIAS**

<O relatório técnico deve conter as principais referências utilizadas em sua elaboração.>

**7. RESPONSÁVEIS**

<O relatório técnico deve conter todas as suas folhas rubricadas pelos responsáveis pela execução do ensaio de medição de atrito, bem como, pela sua elaboração.>

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura  
Responsável pela execução do ensaio

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura  
Responsável pelo Relatório Técnico  
CREA/\_\_\_\_\_:

ANEXO II

# MEDIÇÃO DE MACROTEXTURA

**NOME DO AERÓDROMO**

**CÓDIGO OACI**

**PISTA DE POUSO E DECOLAGEM** \_\_\_/\_\_\_

<cidade>, <dia> de <mês>de 20\_\_

**Relatório Técnico N°: 000/SB**\_\_

**Data de medição: xx/xx/xxxx**

*Versão 01*

Data: <b>xx/xx/xxxx</b>	Responsável pela execução do ensaio: <b>Nome do Responsável</b>	Assinatura:
Data: <b>xx/xx/xxxx</b>	Responsável Técnico pelo Relatório: <b>Nome do Responsável CREA/___:</b>	Assinatura:

**1. MOTIVAÇÃO DO ENSAIO**

1.1. <Descrição dos motivos que levaram à execução da medição de macrotextura.>

**2. INFORMAÇÕES GERAIS**

2.1 Letra do código da maior aeronave em operação.

A       B       C       D       E       F

2.2 Classificação do pavimento.

Flexível       Rígido       Outro (especificar) \_\_\_\_\_

2.3 Comprimento e largura da pista de pouso e decolagem.

Comprimento: [ \_\_\_\_\_ ] metros      Largura: [ \_\_\_\_\_ ] metros

2.4 Tratamento superficial do pavimento do tipo ranhuras transversais (*grooving*).

Não

Sim, na extensão de [ \_\_\_\_\_ ] metros, iniciando-se a [ \_\_\_\_\_ ] metros da cabeceira [ \_\_\_\_ ].

- Largura do tratamento superficial [ \_\_\_\_\_ ] metros.

2.5 Comprimento de pista medido.

[ \_\_\_\_\_ ] metros

2.6 Distância do ponto de início da medição em relação ao início da sinalização horizontal de cabeceira.

[ \_\_\_\_ ] metros da cabeceira [ \_\_\_\_ ].

2.7 Data da última remoção de borracha da pista.

[ \_\_/\_\_/\_\_\_\_ ]

2.8 Próxima medição de macrotextura (data provável).

[ \_\_/\_\_/\_\_\_\_ ]

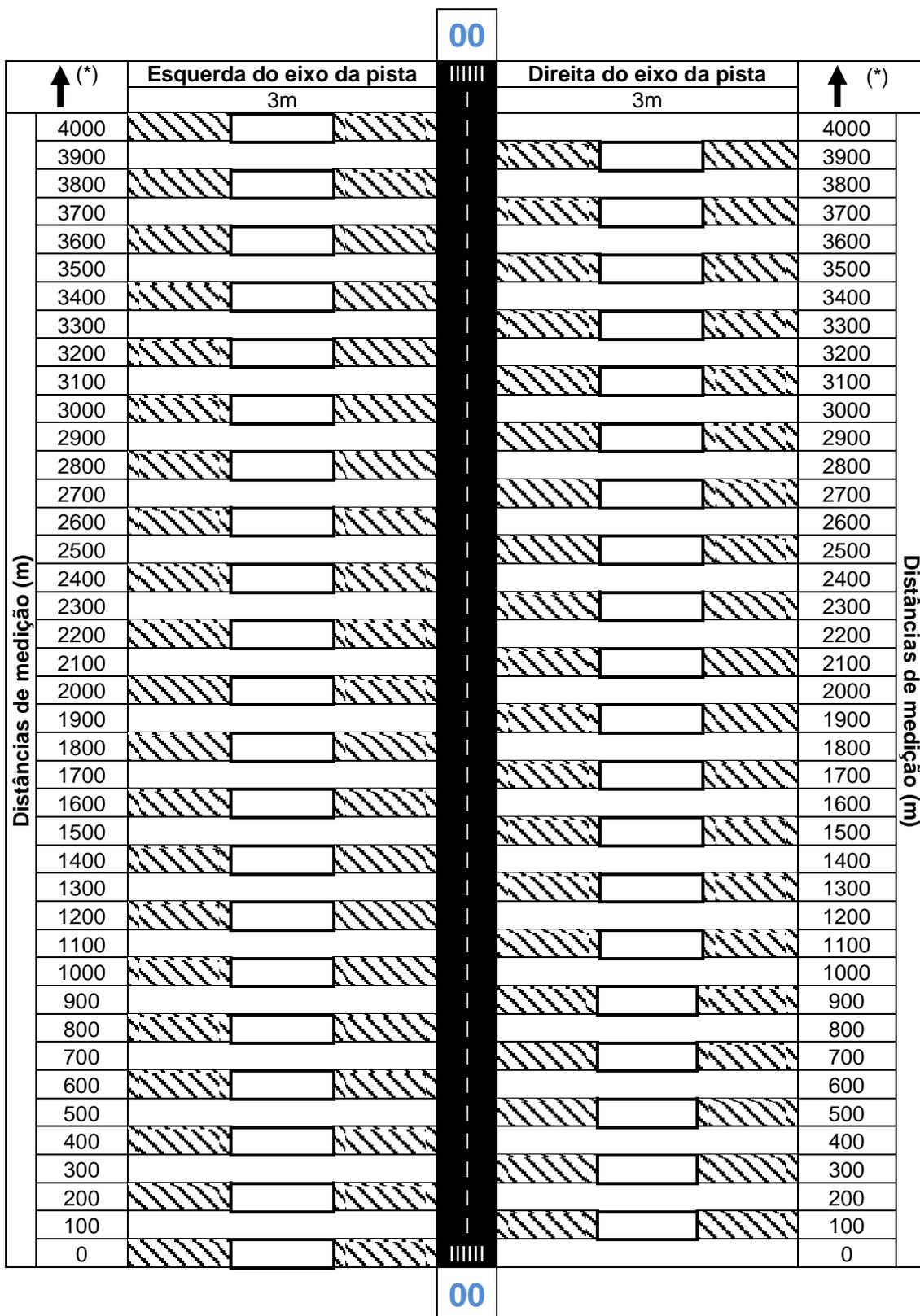
2.9 Pousos diários de aeronaves com motor a reação por cabeceira (média do último ano).

[ \_\_\_\_\_ ] pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira [ \_\_\_\_ ].

[ \_\_\_\_\_ ] pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira [ \_\_\_\_ ].

2.10 Observações:

3. RESULTADOS – VALORES DE MACROTEXTURA



Porção de pista	Profundidade Média (mm)
1/3 da pista <sup>(*)</sup>	
2/3 da pista <sup>(*)</sup>	
3/3 da pista <sup>(*)</sup>	

(\*) Em relação à cabeceira na qual teve início a medição.

**4. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS**

<Deverá ser feita análise crítica dos resultados das medições realizadas, a qual pode conter gráficos, estatísticas e outras informações relevantes para a conclusão.>

**5. CONCLUSÃO**

<O relatório técnico deve apresentar conclusão baseada na legislação em vigor.>

**6. REFERÊNCIAS**

<O relatório técnico deve conter as principais referências utilizadas em sua elaboração.>

**7. RESPONSÁVEIS**

<O relatório técnico deve conter todas as suas folhas rubricadas pelos responsáveis pela execução do ensaio de medição da profundidade da macrotextura, bem como, pela sua elaboração.>

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura  
Responsável pela execução do ensaio

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura  
Responsável pelo Relatório Técnico  
CREA/\_\_\_\_\_:

ANEXO III

**MÉTODO DE MEDIÇÃO DA**  
**TEXTURA SUPERFICIAL DE**  
**PAVIMENTOS**

**MANCHA DE AREIA**

## MÉTODO DA MANCHA DE AREIA

### 1. GENERALIDADES

1.1 No mínimo três medições de profundidade da macrotextura do pavimento por ensaio devem ser realizadas nas áreas consideradas deterioradas. Deve ser calculada a profundidade da macrotextura de cada área de medição considerando a equação (1) do parágrafo 2.4. Um maior número de medições deve ser feito, sempre que deficiências da macrotextura superficial do pavimento forem observadas.

1.2 Descrições dos métodos e equipamentos a serem utilizados, bem como dos cálculos envolvidos na determinação das profundidades da macrotextura, são apresentadas a seguir.

### 2. MÉTODO DA MANCHA-DE-AREIA

2.1 Consiste do espalhamento uniforme de um volume conhecido de areia sobre uma área da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem, e da determinação da distância média entre os picos e vales na macrotextura do pavimento (profundidade da macrotextura) mediante a divisão do volume de areia pela área de espalhamento.

2.2 O equipamento utilizado consiste de um cilindro metálico com volume interno de 24cm<sup>3</sup> e de um espalhador tipo carimbo manual (vide Figura 01). A areia a ser utilizada deve possuir granulometria contida entre as peneiras #50 e #100, isto é, passando na #50 e sendo retida pela #100.

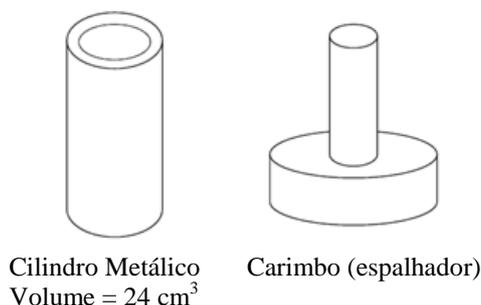


Figura 01 – Equipamentos utilizados no ensaio tipo mancha de areia

2.3 Para efetuar a medição, o cilindro metálico deve ser enchido completamente com a areia especificada. Derrama-se a areia do cilindro sobre o local escolhido do pavimento e espalha-se a areia o mais uniformemente possível sobre a superfície do pavimento, procurando formar uma figura geométrica conhecida, por exemplo, um círculo. Feito isso, o próximo passo é o cálculo da área dessa figura geométrica, sendo que o instrumento utilizado para medir as dimensões da referida figura geométrica deve ter precisão milimétrica.

2.4 Para o cálculo da profundidade média da macrotextura da superfície do pavimento as seguintes equações devem ser utilizadas:

$$(P1) \text{ Profundidade da macrotextura de cada medição}_{(i)} = \frac{\text{Volume de Areia}_{(i)}}{\text{Área coberta pela Areia}_{(i)}} \quad (1)$$

$$(P2) \text{ Profundidade da macrotextura} = \frac{\text{Soma das profundidades da macrotextura de cada medição}_{(i)}}{\text{Número total de medições realizadas de cada área}} \quad (2)$$

$$(P3) \text{ Profundidade média da macrotextura} = \frac{\text{Soma das profundidades da macrotextura em cada terço}}{\text{Número total de áreas de medição em cada terço}} \quad (3)$$

**OBS.:** Cada área de medição deve ter no mínimo 3 (três) medições da profundidade da macrotextura (P1).