

**Elaboração do Projecto de um Protótipo para Avaliação do Coeficiente
de Atrito entre Superfícies**

Ricardo Jorge Pereira Relhas

Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Mário Vaz



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2012

Aos meus pais,

Maria Augusta Relhas e Constantino Alberto Relhas pelo esforço e apoio durante a minha vida estudantil.

Resumo

Proceder a uma correcta avaliação das propriedades funcionais dos pavimentos é fundamental para a reduzir o risco de acidentes, uma vez que, com o aumento da utilização dos meios aeronáuticos e rodoviários, qualquer acidente pode originar elevados danos, quer humanos quer materiais.

A aderência entre os pneus e o pavimento, medida através do coeficiente de atrito, é um factor determinante para a avaliação do nível da segurança de circulação, por isso, não é de admirar que, ao longo das últimas décadas, se tenham levado a cabo inúmeros estudos de diversos equipamentos e índices de medição de atrito de certos pavimentos na presença de água.

Neste sentido esta dissertação abordará tópicos importantes para uma melhor compreensão dos fenómenos que envolvem este tema.

O presente trabalho surge com o objectivo de por um lado, fazer um levantamento dos equipamentos utilizados para a medição do atrito entre superfícies planas e por outro, de elaborar o projecto de um protótipo capaz de efectuar essas medições.

O protótipo desenvolvido está inserido nos equipamentos de roda parcialmente bloqueada e de escorregamento fixo, que irá fazer a medição e registo em contínuo e terá a configuração de um atrelado de três rodas rebocado a um veículo.

Palavras Chave:

Segurança de circulação;

Avaliação de pavimentos;

Coeficiente de atrito;

Prototype design of friction coefficient measuring device

Abstract

Make an accurate and proper evaluation of the functional properties of pavements is essential to reduce the risk of accidents, since, the increased use of aircraft and road means that any accident can cause huge damage, material and human. The adherence between tire and pavement, measured by the coefficient of friction, is a main factor for evaluating the security level of movement, so it's not a surprise that, over the last decades, have been carried out numerous studies of many equipment and measuring indexes of friction coefficient of certain pavements, in the presence of water. This dissertation will explore important topics to a better understanding of the phenomena that surround this issue.

This paper appears, firstly, in order to, make an inventory of equipment used for measuring the friction coefficient and secondly, to develop de design of a prototype able to perform these measurements.

The prototype is a fixed slip device type that will do the measure of the adherence between road surface and tire, recording the data continuously and it will have the configuration of a three-wheeled trailer towed by a vehicle, in a constant speed.

Keywords:

Road safety

Pavements evaluation;

Friction coefficient;

Agradecimentos

A todos aqueles que, das formas mais diversificadas, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo aqui expresso o meu agradecimento.

De forma muito especial, o meu agradecimento ao professor Mário Vaz, pela preciosa colaboração e incentivo e coordenação, durante a realização desta dissertação.

De uma forma particular, não posso deixar de expressar o meu agradecimento:

Ao meu amigo e companheiro de estudo João Filipe Capelo;

Ao meus colegas de trabalho pelo apoio e ânimo que sempre demonstraram;

Aos meus pais, irmã e namorada, pelo incentivo sempre presente.

Muitos amigos ficaram aqui por nomear, por razões que certamente compreenderão e cujo apoio e incentivo foi inestimável. Para eles também o meu mais sincero agradecimento.

Índice de Conteúdos

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJECTIVOS	3
1.2	METODOLOGIA	3
1.3	ORGANIZAÇÃO E TEMAS ABORDADOS	4
2	PAVIMENTOS	6
2.1	CARACTERÍSTICAS E MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS	7
2.2	TEXTURA DOS PAVIMENTOS	10
2.2.1	Microtextura	11
2.2.2	Macrotextura.....	12
2.2.3	Megatextura.....	12
2.2.4	Avaliação da Textura	14
2.2.4.1	Mancha de areia	14
2.3	INTERACÇÃO PNEU-PAVIMENTO	16
2.3.1	Atrito resultante do Escorregamento.....	18
2.3.2	Fenómeno de Aquaplaning.....	21
2.3.2.1	Aquaplaning Combinado (Modelo das três zonas)	22
2.3.2.2	Aquaplaning Viscoso	24
2.3.2.3	Aquaplaning dinâmico.....	25
2.3.2.4	Aquaplaning por desvulcanização.....	26
3	ATRITO.....	29
3.1	MEDIÇÃO DO ATRITO	34
3.1.1	Medição de atrito em plano inclinado	35
3.1.2	Equipamentos para medição do Coeficiente de Atrito.....	38
3.1.2.1	Pêndulo Britânico.....	39
3.1.2.2	DFT – Dynamic Friction Tester	41
3.1.2.3	SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)	43
3.1.2.4	M μ -Meter	46
3.1.2.5	IMAG	49
3.1.2.6	Adhera 2	51
3.1.2.7	Grip Tester	52

3.1.2.8	SFT – Surface Friction Tester	56
3.1.2.9	OSCAR – Optimum Surface Contamination Analyser and Recorder	57
3.1.2.10	RoadSTAR – Road Surface Tester of Arsenal Research.....	58
3.2	PNEUS DE TESTE NORMALIZADOS	62
4	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO PARA MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO	65
4.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	66
4.2	EFEITO DE ESCORREGAMENTO	66
4.3	FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO PROJECTADO.....	68
4.4	MODELAÇÃO 3D DO EQUIPAMENTO	71
4.4.1	Modelação da estrutura do atrelado	71
4.4.2	Sistema mecânico de controlo de escorregamento.....	72
4.4.3	Pneu de teste	73
4.4.4	Sistema de aspersão de água.....	74
4.4.5	Modelação do sistema de acoplamento atrelado/tractor	78
5	FFT – FEUP FRICTION TESTER	80
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO	85
7	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	87
8	ANEXOS	91

Índice de Figuras

Figura 1 – Camadas que constituem um Pavimento	7
Figura 2 – Organigrama do sistema de gestão de pavimentos da EP.....	9
Figura 3 – Diferentes domínios da textura em função do seu comprimento de onda.	11
Figura 4 – Tipologia de superfícies	13
Figura 5 – Representação da macrotextura e da microtextura.....	14
Figura 6 – À esquerda equipamento utilizado no teste da mancha da areia, à direita representação do teste da mancha de areia	16
Figura 7 – Evolução de atrito após precipitação.....	17
Figura 8 – evolução do atrito devido ao desgaste dos pavimentos	18
Figura 9 – Efeito do deslizamento no coeficiente de atrito	19
Figura 10 – Exemplo de um veículo em aquaplaning.....	21
Figura 11 – Modelo de aquaplaning combinado	22
Figura 12 – Representação esquemática da Zona 1	22
Figura 13 – Representação esquemática da zona 2.....	23
Figura 14 – Representação esquemática da Zona 3.....	23
Figura 15 – Aquaplaning Viscoso	25
Figura 16 – Aquaplaning dinâmico.....	25
Figura 17 – Zona de contacto de um pneu de um avião que sofreu aquaplaning por desvulcanização.	27
Figura 18 – Coeficiente de Atrito Transversal em função do ângulo de deslizamento.....	33
Figura 19 – Coeficiente de Atrito Longitudinal em função da Taxa de Escorregamento	33
Figura 20 – Corpo colocado sobre um plano inclinado com atrito	35
Figura 21 – Pêndulo Britânico.....	39
Figura 22 – Exemplo da medição de atrito através do pêndulo britânico.	40
Figura 23 – DFT – Dynamic Friction Tester	41
Figura 24 – Representação esquemática do DFT	41
Figura 25 – Ensaio de medição de atrito com DFT	42
Figura 26 – Coeficiente de atrito registado a diferentes velocidades.....	42
Figura 27 – SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)	43
Figura 28 – Representação esquemática do SCRIM.....	44
Figura 29 – Roda de teste com sistema de aspersão de água.....	44
Figura 30 – Representação esquemática das forças que actuam no SCRIM durante um ensaio .	45
Figura 31 – M μ -Meter	47
Figura 32 – Medição de atrito com M μ -Meter – detalhe do sistema de aspersão de água.....	47
Figura 33 – Equipamento de aquisição de dados do M μ -Meter	48
Figura 34 – Desenho esquemático do M μ -Meter	48

Figura 35 – Pneu de teste do IMAG	49
Figura 36 – IMAG	50
Figura 37 – Representação esquemática das forças medidas pelo IMAG durante um ensaio	51
Figura 38 – Adhera - equipamento para medição do CAL.....	52
Figura 39 – Princípio de Funcionamento do Adhera	52
Figura 40 – Grip Tester	53
Figura 41 – Grip Tester Manual	53
Figura 42 – Pormenor do Grip Tester	56
Figura 43 – SFT - Surface Friction Tester.....	57
Figura 44 – Elementos constituintes do SFT	57
Figura 45 – OSCAR.....	58
Figura 46 – Pormenor da roda de teste do RoadSTAR	59
Figura 47 – Elementos constituintes do RoadSTAR.....	60
Figura 48 – Estrutura do pneu diagonal	63
Figura 49 – Contacto pneu/pavimento	63
Figura 50 – Estrutura do pneu radial.....	63
Figura 51 – Contacto pneu/pavimento	63
Figura 52 – Impressão de um pneu radial e de um pneu diagonal, respectivamente	63
Figura 53 – Exemplo de pneus de teste normalizados.	64
Figura 54 – Sistema mecânico do equipamento de medição de atrito com rodas parcialmente bloqueadas.....	67
Figura 55 – Sistema hidráulico do equipamento de medição de atrito com rodas parcialmente bloqueadas.....	67
Figura 56 – Esquema representativo da velocidade de escorregamento	69
Figura 57 – Pré carga registada pela célula de carga devido à tensão da correia transmissora ...	70
Figura 58 – Aumento da solicitação da célula de carga devido ao escorregamento da roda de teste.	70
Figura 59 – Célula de carga que irá ser utilizada para instrumentar a correia.....	71
Figura 60 – Desenho SolidWorks® da estrutura do atrelado	72
Figura 61 – Vista inferior da estrutura do atrelado	72
Figura 62 – Esquema representativo do acoplamento entre a roda de teste e as rodas do atrelado	73
Figura 63 – Pneu de teste ASTM E1551-93 E a utilizar no protótipo	73
Figura 64 – Efeito da altura da lâmina lubrificante nos valores do coeficiente de atrito obtidos	74
Figura 65 – Esquema hidráulico do sistema de aspersão de água	75
Figura 66 – Comportamento da válvula	76
Figura 67 – Tanque de água a utilizar - IBC Capacidade 1000 litros.	77
Figura 68 – Detalhe do bocal do sistema aspersão de água.....	77

Figura 69 – Sistema de acoplamento entre atrelado e veículo tractor	78
Figura 70 – Pormenor do acoplamento entre atrelado e veículo tractor do equipamento IMAG	79
Figura 71 – Sistema de acoplamento Gancho/Bola de reboque	79
Figura 72 – IBC 1000 litros.....	80
Figura 73 – Excerto do caderno de encargos do projecto de execução da estrada municipal 523 – ligação Reguengos/Perolivas.....	81
Figura 74 – Configuração do FFT – veículo tractor/IBC/atrelado FFT	82
Figura 75 – Tubagem do sistema de espargimento	82
Figura 76 – Sistema de sinalização do FFT.....	83
Figura 77 – Cobertura do atrelado FFT.....	83

Índice de Tabelas

Tabela I – Avaliação da qualidade dos pavimentos	10
Tabela II – Métodos de avaliação da macrotextura	14
Tabela III – Descrição do contacto a diferentes gamas de velocidade: película de água 5 mm ..	24
Tabela IV – Aquaplaning total e parcial, modelo das 3 zonas	27
Tabela V – Cronologia do desenvolvimento do conhecimento de atrito	30
Tabela VI – Valores de atrito estático e cinético seco entre diferentes pares de materiais.	32
Tabela VII – Factores que influenciam o atrito da superfície da estrada	35
Tabela VIII – Equipamentos para medição de atrito	39
Tabela IX – Verificação prévia do Grip Tester	54
Tabela X – Resumo dos equipamentos de medição de Atrito	61
Tabela XI – Características funcionais dos equipamentos de medição de atrito abordados	62

Abreviaturas/Unidades

µm – Mícron

ASTM – American Society for Testing and Material

BPN – British Pendulum Number

CAL – Coeficiente de atrito Longitudinal

CAT – Coeficiente de Atrito Transversal

C.I.E.N – Construcciones Ingeniera Especializada del Norte SA de C.V

cm – Centímetro

DFT – Dynamic friction tester

EN – Norma Europeia (European Norm)

EP – Estradas de Portugal

ETD – Estimated Texture Depth

FW – Friction Wheel

GN – Grip Number

IBC – Intermediate Bulk Container

ICAO – international Civil Aviation Organization

IFI – International Friction Index

IMAG - Instrument de Mesure Automatique de la Glissance

IRFI – International airport Runway Friction Index

kg – quilograma

kgf – Quilograma força

kHz – Quilo Hertz

km – Quilómetros

km/h – Quilómetros por hora

kPa – quilo Pascal

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

m – metro

mm – milímetro

mm³ – milímetro cúbico

MPD – mean profile depth

N – Newton

NASA – National Aeronautics and Space Administration

OSCAR – Optimum Surface Contamination Analyser and Recorder

PE-HD – Polietileno de alta densidade (Polyethylene – High Density)

PIARC – Permanent International Association of Road Congress

RMS – Root Mean Square (of texture profile)

RoadSTAR – Road Surface Tester of Arsenal Research

SCRIM – Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine

SFC – Side force coefficient

SFT – Surface Friction Tester a.k.a. Saab Friction Tester

SRV – Skid Resistance Value

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado no âmbito da conclusão do 5º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, leccionado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O aumento da deslocação de pessoas e bens tem, em grande parte, resultado dos inúmeros progressos da tecnologia rodoviária e aeronáutica.

Com o aumento exponencial da utilização dos meios aeronáuticos e rodoviários, surge a necessidade de quantificar e avaliar as características envolventes a estes tipos de transportes, visto que qualquer acidente pode resultar em elevados prejuízos, quer humanos quer materiais.

Um dos factores de extrema importância e que exige uma elevada atenção é a qualidade dos pavimentos das pistas dos aeroportos e das estradas.

No que respeita à aeronáutica, tem-se, então, na aderência entre os pneus do avião e a superfície da pista, um factor de extrema importância quando se trata da segurança do voo. É ainda de salientar que, em pistas limpas e secas praticamente não se observam problemas de travagem, mas nas pistas ditas “contaminadas” (por gelo, neve ou água), o coeficiente de atrito tende a diminuir, o que, consequentemente, dificulta a travagem.

A par dos riscos na indústria aeronáutica, também conduzir acarreta cada vez mais riscos, devido ao aumento de tráfego rodoviário. De forma a minimizar alguns desses riscos, as condições dos pavimentos em geral, e a resistência à derrapagem em particular, assumem a maior importância.

De acordo com diversos estudos realizados, um dos factores responsáveis pela sinistralidade rodoviária é a falta de aderência. Por isso, uma avaliação precisa do atrito na monitorização e manutenção de pavimentos torna-se importante de modo a proporcionar aos utilizadores um apropriado nível de segurança. (MENEZES, M., 2008)

O número total de acidentes vai ser inflacionado por um baixo nível de atrito, principalmente em condições meteorológicas desfavoráveis (humidade e precipitação). Consequentemente, o número de feridos graves e vítimas mortais aumenta. (MENEZES, M., 2008)

Dados estatísticos apontam que existam, em todo o mundo, 1,2 milhões de mortes e 50 milhões de feridos graves, por ano, decorrentes de acidentes de viação nas estradas. Por este motivo, existe a preocupação, a nível mundial, de reduzir o número de acidentes nas estradas, principalmente para reduzir o número de vítimas mortais. (MENEZES, M., 2008)

Em Portugal, de acordo com o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR, 2003 *cit in* MENEZES, M., 2008), 40% dos acidentes ocorridos são provocados por anomalias das estradas. Actualmente, a sinistralidade é, ainda, elevada, embora haja o esforço de melhorar a qualidade das nossas estradas, concluindo-se que há, ainda, um longo caminho a percorrer.

Segundo dados da Direcção Geral de Viação (DGV, 1999-2004 *cit in* MENEZES, M., 2008), as estatísticas apontam para que 18% do número total de acidentes com vítimas ocorra sob condições desfavoráveis (nomeadamente precipitação e pavimento molhado).

Também no que respeita a acidentes domésticos, também o atrito desempenha um papel importante no acontecimento dos mesmos.

Segundo GRONVIST, R (1989 *cit in* UENO, O., 1999), na Finlândia, durante um ano, cerca de 100.000 pessoas precisam de recorrer ao hospital e receber tratamento médico, devido a quedas por escorregamento. 12% dos ferimentos causadores de incapacidade neste país, são devidas a este tipo de quedas.

O Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), em França estima que, também, cerca de 100.000 pessoas, sofrem, anualmente, de quedas por escorregamento, sendo que algumas delas ficam com incapacidade permanente. (DE RICK, J.C., 1991 *cit in* UENO, O., 1999)

No nosso planeta, todos os movimentos baseiam-se no atrito. O atrito é uma característica intrínseca dos materiais em contacto. O simples acto de estar de pé, algo

que para nós parece tão simples, depende de forças de atrito, de modo a que os nossos pés não escorreguem, um para cada lado.

O atrito nas pistas, por exemplo, varia, essencialmente, em função da sua utilização (tráfego aéreo), das condições climatéricas e da manutenção praticada. A presença de contaminantes como os resíduos da borracha, óleos ou, mesmo, a água provoca uma diminuição do coeficiente de atrito das superfícies das pistas em grandes dimensões, especialmente nas zonas de aterragem/descolagem. (RODRIGUES FILHO, 2006).

O mesmo acontece com os pavimentos rodoviários, em que a utilização, as condições climatéricas, a manutenção praticada, bem como a acumulação óleos podem despoletar variações significativas de aderência.

Já muitos tipos de revestimento de pavimentos foram experimentados de forma a manter níveis de atrito aceitáveis, mesmo sob condições adversas, como no caso da presença de água nos pavimentos, no entanto não existem soluções perfeitas e é imprescindível a contínua e precisa avaliação dos mesmos.

1.1 OBJECTIVOS

É neste contexto que surgem os objectivos desta dissertação, sendo eles:

- a) Apresentar o estado da arte sobre os equipamentos de avaliação do coeficiente de atrito existentes;
- b) Desenvolver um protótipo de um equipamento para a medição do coeficiente de atrito em superfícies, baseado no estudo dos equipamentos já existentes e nas necessidades de utilização.

1.2 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca do tema principal inerente, o atrito, bem como da caracterização da superfície dos pavimentos, de forma a poder perceber o fenómeno da variação do atrito em diferentes tipos de pavimento.

De igual modo, procedeu-se a uma pesquisa dos equipamentos e procedimentos para medição do coeficiente de atrito já existentes, apresentando, de uma forma geral, os dispositivos mais abordados na bibliografia consultada.

Foi feita uma avaliação das necessidades e requisitos exigidos para a avaliação do coeficiente de atrito, tentando incorporar-se no equipamento projectado, essas mesmas necessidades.

1.3 ORGANIZAÇÃO E TEMAS ABORDADOS

Neste primeiro capítulo faz-se uma apresentação do tema da dissertação, abordando o enquadramento geral da mesma, clarificam-se os objectivos propostos para a sua realização e, também, dá-se a conhecer a metodologia utilizada. Finalmente, apresenta-se a estrutura do trabalho, para melhor compreensão do mesmo.

No segundo capítulo abordam-se, de uma forma geral, as principais características da superfície dos pavimentos, explicitando os diferentes tipos de texturas e a interacção entre o pneu e o pavimento, nomeadamente no que diz respeito ao fenómeno de aquaplaning.

O capítulo 3 dá ênfase ao atrito, fazendo uma abordagem histórica do conceito do mesmo e dos diferentes tipos de atrito conhecidos. Para além disso, é, também, abordada a medição do atrito, fazendo referência a alguns dos equipamentos existentes para a mesma, bem como do seu funcionamento.

No capítulo 4 aborda-se o desenvolvimento do protótipo, esclarecendo o seu funcionamento, a selecção do material a utilizar para a estrutura do equipamento, bem como da modelação a 3 dimensões do mesmo.

O quinto capítulo enfatiza as características do equipamento projectado, exaltando as suas vantagens e funcionalidades, bem como a importância da sua utilização no quotidiano.

O último capítulo refere-se a uma síntese geral de todo o trabalho desenvolvido, sendo apresentadas as conclusões sobre a revisão bibliográfica e sobre o equipamento desenvolvido. Também são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros.

Em anexo são apresentados os datasheet dos componentes seleccionados (célula de carga, rolamentos, engrenagem, dimensionamento de componentes e reservatório de água, entre outros), bem como a norma dos pneus de teste a utilizar e alguns dos desenhos de definição do equipamento, realizados no âmbito do desenvolvimento do protótipo.

2 PAVIMENTOS

A principal função de um pavimento rodoviário é garantir uma superfície de rodagem, que permita a circulação dos veículos com segurança e comodidade, durante todo o seu tempo de vida, sob a acção das condições climatéricas e do tráfego, sendo que as condições climatéricas, nomeadamente a temperatura e a água, têm um papel preponderante no comportamento e evolução dos pavimentos.

Os pavimentos rodoviários são considerados como um sistema multiestratificado, formados por várias camadas de espessura finita. Estas camadas dispõem-se com qualidade e resistência decrescentes, de cima para baixo, uma vez que, à medida que a profundidade é maior, há uma progressiva redução dos esforços do pavimento.

As camadas superiores dos pavimentos são, normalmente, constituídas por misturas betuminosas, seguidas por uma ou duas camadas interiores de materiais granulares.

Algumas características dos pavimentos estão directamente relacionadas com a constituição da sua camada superior, nomeadamente a textura, as qualidades antiderrapantes, a cor e outras qualidades ópticas e as propriedades geradoras de ruído de rolamento.

Esta camada superior, também conhecida como camada de desgaste, é constituída por material betuminoso com agregados de alta resistência e tem como função garantir as características funcionais, de modo a contribuir para uma circulação rodoviária com segurança e conforto. Para além disso, suporta, redistribui e transfere as tensões, induzidas pelos rodados dos veículos, para as camadas inferiores.

De acordo com FREIRE (2004) (*cit in* MENEZES, 2008), a camada de desgaste de um pavimento deve assegurar:

- Um bom coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento, em condições de piso seco e molhado;
- Adequadas características ópticas e um nível de ruído entre pneu e pavimento, dentro dos limites exigidos;
- Uma superfície regular, que possibilite a circulação em condições de economia, conforto e segurança;
- Uma microtextura adequada, para permitir o escoamento de águas.

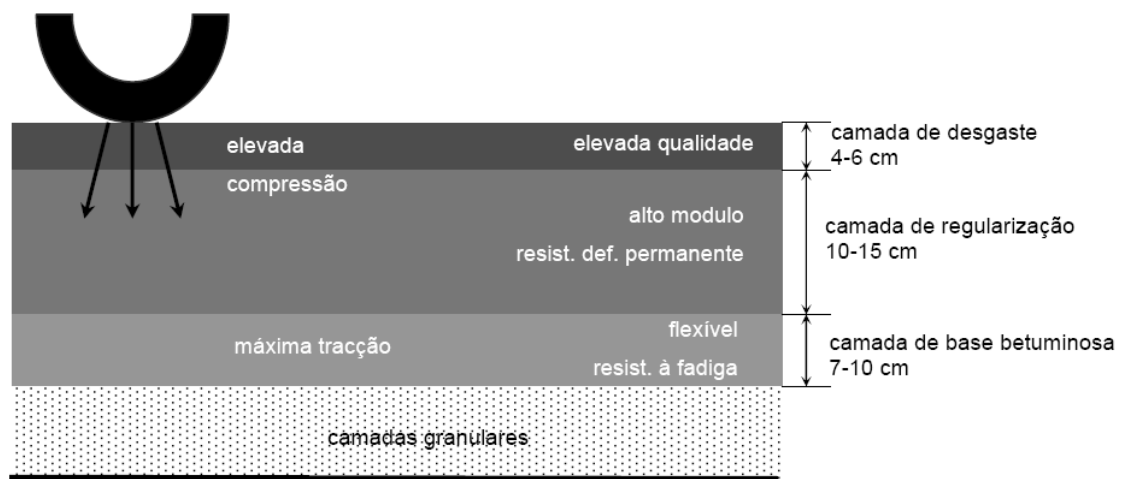


Figura 1 – Camadas que constituem um Pavimento
[SANTOS, A., 2007]

2.1 CARACTERÍSTICAS E MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS

A gestão eficaz das redes rodoviárias só é possível com uma boa informação sobre o estado estrutural e superficial dos pavimentos.

A avaliação do conforto e segurança de circulação, bem como da capacidade de carga, em conjunto com modelos apropriados de desempenho de pavimentos e de análise económica, integram os elementos essenciais ao desenvolvimento de estratégias e conservação dos pavimentos.

A observação da qualidade dos pavimentos é essencial durante todo o ciclo de vida de um pavimento, isto é, desde a sua fase de exploração, construção, até à fase de reabilitação do mesmo, de modo a avaliar a qualidade do trabalho realizado.

O processo de avaliação da qualidade dos pavimentos passa por duas fases fundamentais, a observação dos pavimentos e o tratamento dos dados obtidos.

A fase mais importante deste processo é a observação, uma vez que permite recolher, periodicamente, informação relativa ao estado do pavimento.

A manutenção de pavimentos está geralmente associada a sistemas de monitorização/gestão de pavimentos rodoviários que variam geralmente de país para país, assim como, de entidade para entidade.

No fluxograma que se segue é possível verificar o sistema de gestão de pavimentos que era praticado pela Estradas de Portugal - EP - em 2005.

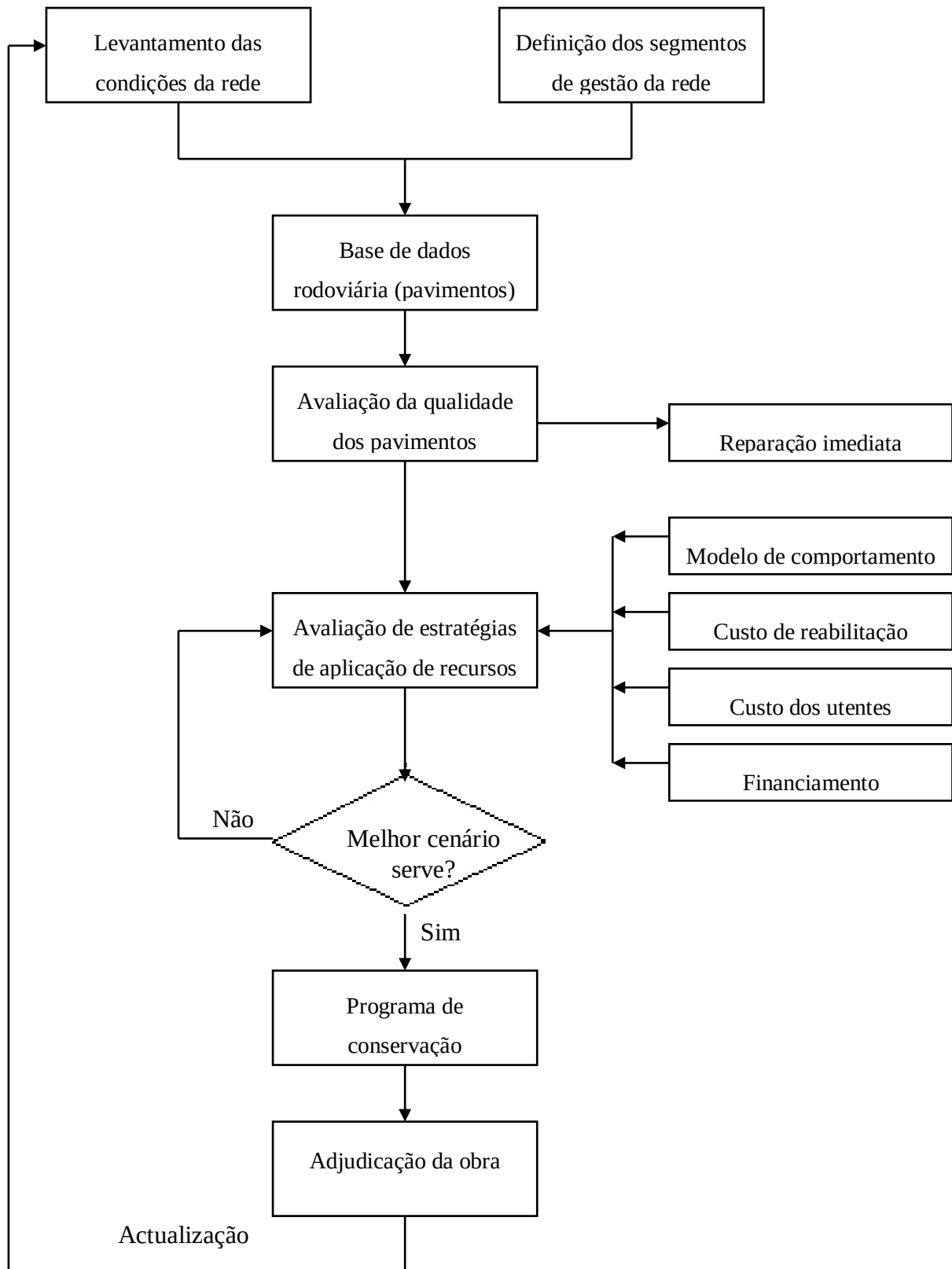


Figura 2 – Organograma do sistema de gestão de pavimentos da EP
[EP-IEP-JAE, 2005 cit in ALVES, T., 2007]

Analisando o organigrama apresentado acima, é possível verificar que o sistema de gestão de pavimentos das EP engloba três módulos principais:

- Base de Dados Rodoviária;
- Avaliação da Qualidade dos Pavimentos;
- Avaliação das Estratégias de Aplicação dos Recursos.

Tabela I – Avaliação da qualidade dos pavimentos
[Adaptado de MENEZES, 2008]

AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS	
Estrutural	Definição do nível de desempenho do comportamento mecânico, tendo em conta o tráfego e as condições climáticas – qualificável através da “vida residual”, expressa em termos do número de passagens de um determinado eixo padrão que ainda pode suportar.
Funcional	Definição de qualidade, tendo por base as exigências dos utilizadores da estrada, em relação ao conforto e segurança da circulação.

2.2 TEXTURA DOS PAVIMENTOS

Segundo MENEZES (2008), a textura superficial de um pavimento constitui umas das mais relevantes propriedades para a qualidade funcional, principalmente no que diz respeito a:

- Desenvolvimento de forças de atrito no contacto entre o pneu e o pavimento, quando este se encontra húmido ou molhado;
- A resistência ao movimento, através do consumo de combustível;
- No desgaste dos pneus por micro deslizamento da borracha no contacto pneu-pavimento;
- No ruído de baixa frequência (no interior e exterior dos veículos);
- Nas vibrações transmitidas pela coluna de direcção.

Segundo DELANNE (1993 *cit in* MENEZES, 2008), a textura de um pavimento tem uma influência directa na segurança. Por esta razão, é fundamental adoptar métodos fiáveis para a avaliação desta característica.

No que diz respeito aos pavimentos, os comprimentos de onda das irregularidades ou ondulações de um perfil da camada de desgaste são conhecidos pelo termo comprimento de onda da textura (dado em milímetros). No gráfico abaixo, podem ver-se as diferentes texturas e os seus comprimentos de onda, de acordo com a norma ASTM E-867, podendo concluir-se que existem 3 tipos de texturas, a micro, macro e megatextura.

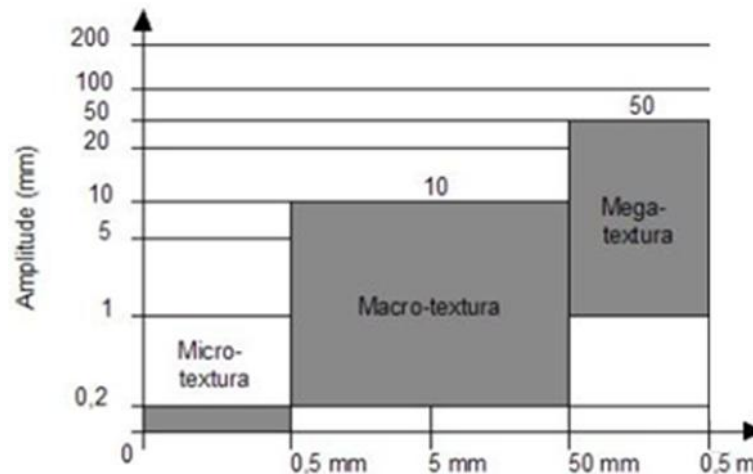


Figura 3 – Diferentes domínios da textura em função do seu comprimento de onda.
[MENEZES, M., 2008]

2.2.1 Microtextura

A microtextura depende, basicamente, da rugosidade dos agregados da superfície, podendo, por isso, ser classificada como rugosa ou polida (ou lisa). Pode ser indirectamente avaliada pela medição do coeficiente de atrito e corresponde ao domínio de comprimento de onda entre 1 μm e 0,5 mm, com uma amplitude que pode variar entre 1 μm e 0,2 mm.

Estes limites permitem avaliar a textura de uma superfície como sendo mais ou menos rugosa, o que possibilita o contacto directo do pneu com o pavimento, no entanto, suficientemente lisa quando observada a olho nu.

Embora alguns investigadores acreditem que a microtextura é importante para todas as velocidades (CHELLIAH *et al*, 2003 *cit in* MENEZES, 2008), esta é função das propriedades das partículas dos agregados, sendo muito significativa a baixas velocidades.

2.2.2 Macrotextura

Ao contrário da microtextura, a macrotextura depende da graduação da mistura utilizada na camada de rolamento, podendo ser classificada como aberta ou grosseira e fechada ou fina.

Em relação ao domínio do comprimento de onda, a macrotextura de uma camada de desgaste está compreendida entre os 0,5 e os 50 mm, com uma amplitude vertical entre 0,1 e 20 mm, resultado das partículas maiores do agregado na mistura.

A avaliação desta textura pode ser feita através da utilização de um método volumétrico (mancha de areia) ou de um método perfilométrico sem contacto, relacionando-se com os comprimentos de onda da mesma ordem de grandeza do relevo da superfície dos pneus e dos agregados.

A macrotextura contribui para a componente de histerese do atrito e auxilia no escoamento rápido da água presente no pavimento, o que vai possibilitar o contacto do pneu com o pavimento, reduzindo a possibilidade de aquaplaning.

2.2.3 Megatextura

Corresponde a um domínio de comprimento de onda, que vai dos 50 aos 500 mm, com uma amplitude vertical entre 0,1 e 50 mm. Normalmente esta característica não é avaliada e relaciona-se com os comprimentos de onda da mesma ordem de grandeza dos que intervêm no contacto pneu-pavimento. (MENEZES, 2008)

A megatextura resulta das deformações e degradações de comprimento reduzido da superfície da camada de desgaste, tratando-se, não de uma característica intrínseca desta, mas sim, do resultado de uma evolução anormal. Tal evolução anormal vai provocar deformações nos pneus, produzindo vibrações. Estas, são transmitidas pela coluna de direcção, sendo, consequentemente sentidas dentro da viatura, causando desconforto na condução. Para além disso, as vibrações também vão provocar ruído, no interior e exterior da viatura.

O aumento da distância de travagem é, também, uma consequência do efeito das vibrações, dado que podem provocar a redução da carga dinâmica, aplicada pelos pneus no pavimento.

As zonas dos pavimentos que apresentam água estagnada, correspondem a zonas de deformação no domínio da megatextura, o que, em caso de precipitação, vão aumentar a altura da água, alterando a aderência do pneu ao pavimento.

A superfície resultante depende, então, das características conjuntas da micro e macrotextura, sendo que estas combinações podem resultar em quatro tipos de textura – polida e aberta; polida e fechada; rugosa e aberta e rugosa e fechada.

Considerando os tipos de texturas, tem-se que nos pavimentos rodoviários, a macrotextura encontrada, é, na maioria dos casos, fechada, enquanto nos pavimentos aeroportuários é aberta. No caso dos pavimentos aeroportuários especificamente, a macrotextura não deve ser muito aberta em virtude de problemas relacionados com a acumulação de borracha, proveniente dos pneus das aeronaves, na superfície do pavimento.

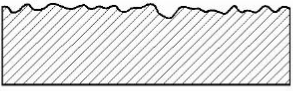
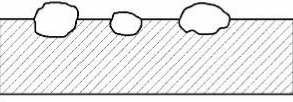
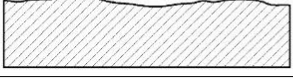
Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido ou Lisa	Aberta		Polido e Aberto
	Fechada		Polido e Fechado

Figura 4 – Tipologia de superfícies
[APS, M., 2006]

Na figura 5 é possível perceber a diferença entre a macro e a micro textura de um pavimento.

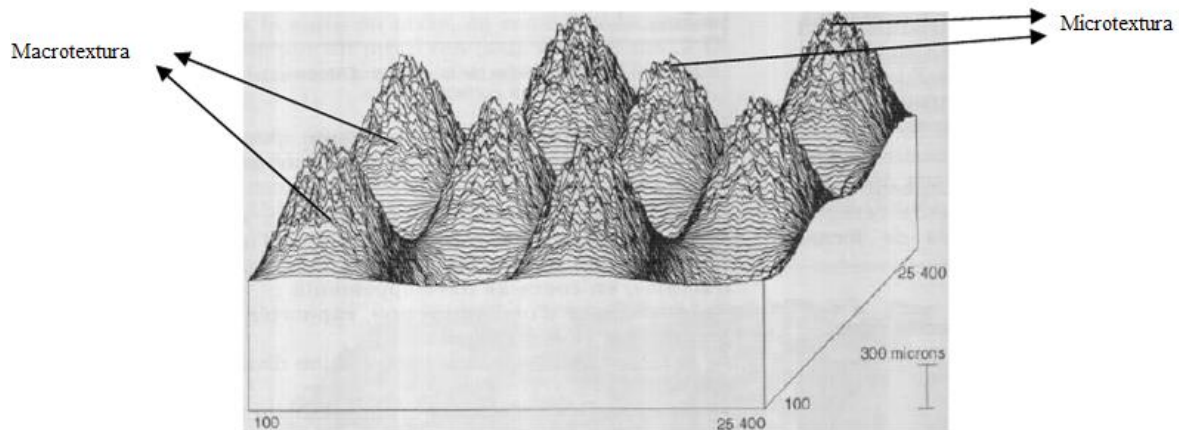


Figura 5 – Representação da macrotextura e da microtextura
[LUCAS & BEGOU, 1993 *cit in* MOMM, L. & THIVES, L., 2010 disponível em <http://dc239.4shared.com/doc/wAgkMGcd/preview.html>]

2.2.4 Avaliação da Textura

A macrotextura pode ser avaliada através de três métodos (WAMBOLD *et al*, 1995 *cit in* APS, 2006). A tabela II esquematiza os métodos existentes e os testes dos mesmos.

Tabela II – Métodos de avaliação da macrotextura

AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA	
Método volumétrico MPD (Mean Profile Depth)	Mancha de areia; Mancha de graxa - variante do teste da mancha de areia
Método perfilométrico RMS (Root Mean Square of Texture Profile)	Laser; Fotoseccionamento (Light Sectioning); Água de Contacto.
Drenómetros	Outflow

O método abordado neste trabalho será o mais utilizado, a saber, teste da mancha de areia

2.2.4.1 Mancha de areia

O teste da mancha de areia é utilizado para estabelecer a profundidade média da textura da camada de desgaste. A macrotextura é dada através dos desvios entre uma superfície plana de referência e a superfície de um pavimento.

É um teste normalizado, podendo ser feito conforme a norma ASTM E 965-96 e a norma europeia EN 13036-1, sendo que esta última refere-se a uma versão actualizada do teste primário, utilizando um material diferente, as esferas de vidro em vez de grãos de areia fina.

Este teste consiste em espalhar um volume conhecido material granuloso, sobre a superfície do pavimento, em forma circular. Conhecendo o diâmetro do círculo obtido, sabemos a profundidade média das depressões da superfície da camada de desgaste.

O material necessário para a realização deste teste é o seguinte:

- Um recipiente com volume conhecido de areia (ou esferas de vidro) – $25000 \text{ mm}^3 \pm 150 \text{ mm}^3$;
- Um disco circular, com superfície em borracha dura, para espalhar a areia ou esferas de vidro;
- Uma régua, com graduação em milímetros, para medir, no mínimo, um comprimento de 250 mm.

Em cada zona a caracterizar, o teste deve realizar-se em 5 pontos alinhados ao longo do eixo da estrada, estando afastados, entre si, 1 metro, seguindo os passos apresentados (MENEZES, 2008):

1. A superfície do pavimento a estudar deve encontrar-se seca. Se estiver húmida deve ser seca, com um aquecedor a gás, por exemplo;
2. A superfície a estudar não deve ter juntas ou fissuras e deve ser limpa com uma escova, num raio de 250 mm;
3. O recipiente tem que ser preenchido com um ligeiro excesso, sendo a seguir compactado com três pancadas laterais; depois, tira-se o material que ainda estiver em excesso;
4. Derrama-se todo o material do recipiente para o ponto do pavimento a estudar, originando um volume, em forma cónica;
5. Com o disco de borracha, espalha-se o material, tentando obter-se uma superfície circular e que o material utilizado esteja a preencher as deformações da superfície em estudo, até que não seja possível aumentar mais a superfície de espalhamento;

6. Mede-se o diâmetro do círculo obtido, em 2 a 4 locais, igualmente espaçados entre si, com a aproximação de 1 mm.

A altura é expressa conforme a seguinte equação:

$$H = \frac{v \cdot 4}{D^2}$$

Equação 1

em que:

- **V** – Volume conhecido $25000 \text{ mm}^3 \pm 150 \text{ mm}^3$
- **D** – diâmetro médio da mancha de areia (mm)
- **H** – Altura média da mancha de areia (mm)

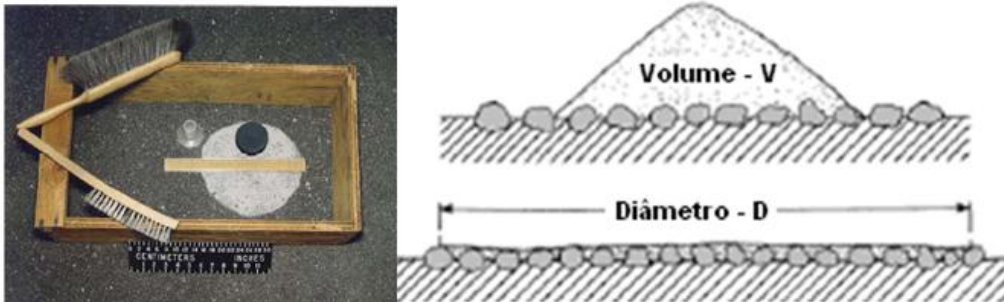


Figura 6 – À esquerda equipamento utilizado no teste da mancha da areia, à direita representação do teste da mancha de areia

[Adaptado de LUGÃO W. G. 2008]

Segundo MENEZES (2008), o teste da mancha de areia, apesar de não nos dar uma indicação directa do coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento, é um bom indicador do seu valor potencial, principalmente no que concerne à circulação nas estradas, em altas velocidades, uma vez que estabelece uma medida directa da macrotextura da superfície de desgaste de um pavimento.

2.3 INTERACÇÃO PNEU-PAVIMENTO

Como já foi possível constatar, a avaliação da segurança nas estradas abrange vários aspectos, entre eles os relacionados com o pavimento.

Segundo COUCHINHO (2011), para além de se avaliar a geometria e irregularidade da superfície, é também fundamental avaliar o coeficiente de **atrito** entre o pneu e o pavimento, sobretudo em dias de chuva, o que envolve a quantificação da resistência à derrapagem, sendo esta função da **aderência**.

Em pavimentos molhados, uma vez que a película de água que existe entre o pneu e o pavimento não pode ser totalmente afastada da área de contacto, o atrito desenvolvido vai ser menor do que seria se se tratasse de um pavimento seco. (ARAÚJO, 1994 *cit in* LUGÃO, W., 2008)

Na figura 7 é possível verificar a evolução dos valores do coeficiente de atrito durante um curto espaço de tempo.

Na figura pode observar-se que após a queda de chuva o atrito diminui drasticamente – Fase A. Isto acontece, uma vez que, com a chuva, as partículas existentes à superfície, resultantes do desgaste dos pneus e do pavimento, poeiras e outros contaminantes, vão misturar-se formando uma “pasta fina”.

Após esta fase inicial, a “pasta fina” é arrastada pela chuva e pela passagem dos carros, fazendo assim com que haja um aumento do atrito – Fase B.

Terminada a chuva dá-se o aumento do coeficiente de atrito, atingindo este o seu valor inicial, quando o processo de escoamento e evaporação se encontra concluído – Fase C.

De salientar que o processo de escoamento depende, essencialmente, do perfil transversal da via, da macrotextura e da camada de desgaste do pavimento.

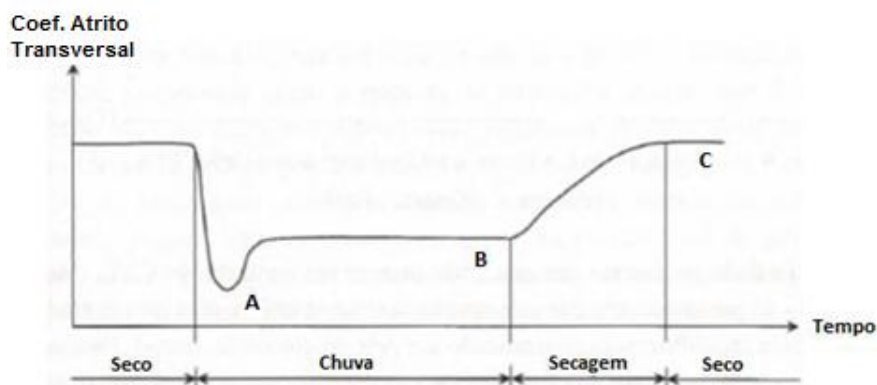


Figura 7 – Evolução de atrito após precipitação
[BRANCO, PEREIRA e SANTOS, 2008 *cit in* COUCHINHO, R., 2011]

A camada de desgaste do pavimento vai sofrer o desgaste devido às passagens dos veículos e às repetitivas interacções e solicitações. Na figura 8 é possível observar que existem essencialmente duas fases de desgaste.

Numa primeira fase, que decorre durante alguns meses (período dependente da taxa de utilização), o coeficiente de atrito aumenta. Este aumento parece um paradoxo mas é facilmente explicável, dado que acontece devido ao desgaste da película betuminosa superficial, provocando um incremento no valor da macrotextura.

Após este desgaste observa-se a diminuição gradual do coeficiente de atrito – Fase D.

Com o aumento excessivo do desgaste do pavimento, pode verificar-se um aumento do coeficiente de atrito – fase E. Esta fase acontece quando os pavimentos se encontram com um desgaste exacerbado, ocorrendo o fendilhamento generalizado ou, por exemplo, a pele de crocodilo no asfalto, o que contribui para o aumento da macrotextura.

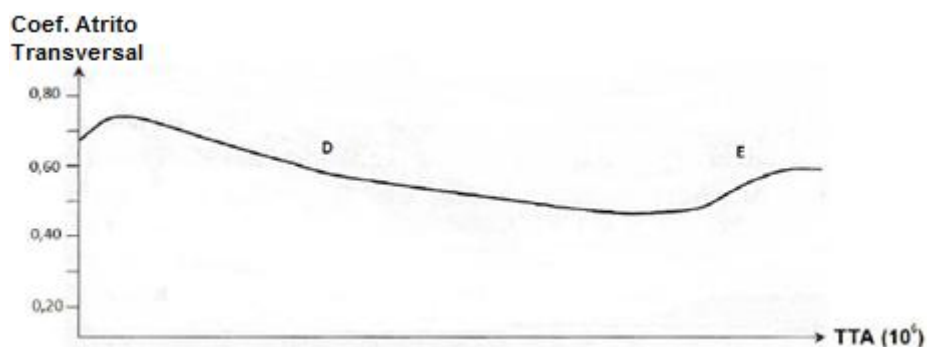


Figura 8 – evolução do atrito devido ao desgaste dos pavimentos
[BRANCO, PEREIRA e SANTOS, 2008 cit in COUCHINHO, R., 2011]

2.3.1 Atrito resultante do Escorregamento

A força de tracção que se desenvolve na área de contacto do pneu, a partir da força de travagem que é aplicada no eixo da roda, vai provocar o escorregamento da mesma sobre o pavimento.

No início do fenómeno, conforme se pode verificar na figura 9, o coeficiente de atrito aumenta, de forma linear, com o escorregamento. Tal acontece, pois todo o deslizamento que é medido deve-se à deformação elástica da área de contacto do pneu. Este fenómeno diz respeito ao intervalo [OA], na figura. (FILHO, O., 2006)

O escorregamento efectivo da área de contacto do pneu com o pavimento acontece quando se dá um aumento adicional da força de travagem, acima do valor que corresponde ao ponto A. (FILHO, O., 2006)

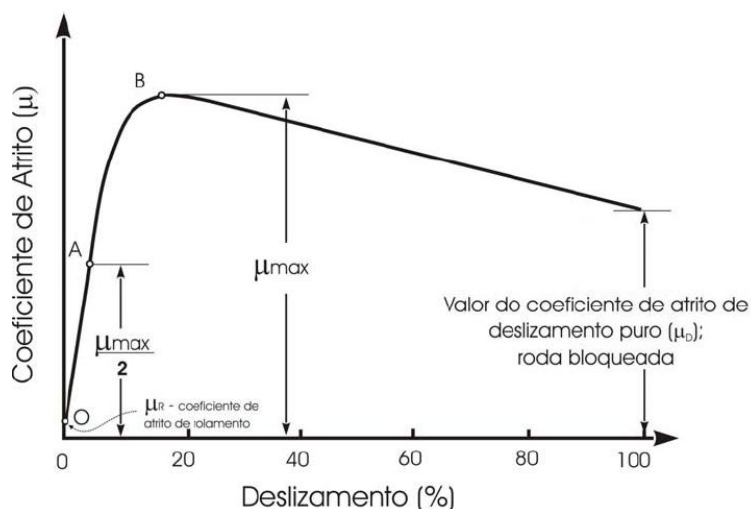


Figura 9 – Efeito do deslizamento no coeficiente de atrito
[ICAO, 1994 cit in FILHO, 2006]

O intervalo [AB] representado na figura diz respeito ao momento em que se inicia o movimento relativo entre as superfícies, em que a relação entre o deslizamento e o coeficiente de atrito passa a ser não linear. (FILHO, O., 2006)

Segundo este autor, existem alguns estudos que mostram que o coeficiente de atrito máximo ocorre para uma taxa de deslizamento de 15 a 20%. Qualquer valor acima desta taxa de escorregamento, vai resultar numa condição de condução instável, sendo que o coeficiente de atrito vai diminuir até ao valor chamado de Coeficiente de atrito de deslizamento puro – μ_D . Com um deslizamento de 100%, o fenómeno também pode ser designado por roda bloqueada, que vai corresponder a uma situação de derrapagem pura.

ANDRESEN e WAMBOLD (1999 cit in SILVA, J., 2008) descrevem que o atrito resultante do deslizamento diz respeito àquele que se produz em razão do movimento relativo, entre a superfície do pneu e a superfície do pavimento, apresentando-se como um resultado de 3 fenómenos, os quais abaixo se apresentam:

- **Desgaste**: Ocorre como consequência do “arrancamento” de partículas do pneu, na superfície de contacto com o pavimento;
- **Histerese**: Este fenómeno está directamente relacionado com a macrotextura da superfície do pavimento, pois é resultado da deformação que se dá na

borracha que constitui o pneu, quando a sua superfície desliza sobre um pavimento irregular. O valor máximo da magnitude é atingido a grandes velocidades, quando a temperatura aumenta, mas não é influenciada se as superfícies de contacto estão separadas por algum contaminante (água, gelo e neve);

- **Adesão:** Na interface das duas superfícies existem forças adesivas, entre as moléculas dos materiais, em que a magnitude vai depender do tempo de contacto entre as mesmas, logo, da velocidade de deslizamento, microtextura da superfície do pavimento e da composição da borracha do pneu. Ao contrário do que acontece na histerese, a magnitude sofre influência quando está na presença de algum contaminante.

Atendendo à definição de adesão acima apresentada, pode, então, concluir-se que, a película de água que se mantém na área de contacto do pavimento com o pneu diminui substancialmente o atrito.

A aderência entre os pneus e a superfície do pavimento, no que diz respeito às características dessa superfície, é a mais importante, em termos de segurança, sendo que esta propriedade tem repercussões nos custos da circulação, uma vez que influencia directamente a velocidade da circulação e os acidentes.

Esta propriedade torna-se muito importante na segurança dos utilizadores das estradas, pois vai fazer com que o automóvel se mantenha na sua trajectória, mantendo a velocidade, especialmente em curvas, e diminuindo a distância de travagem. (COUCHINHO, 2011)

De um modo geral pode dizer-se que a aderência depende de vários factores, a saber:

- Características do pavimento;
- Grau de desgaste e da pressão de enchimento dos pneus;
- Velocidade da circulação;
- Presença de água ou outros depósitos/contaminantes no pavimento (borrachas, óleos, folhas)
- Época do ano – temperatura e ocorrência de precipitação.

2.3.2 Fenómeno de Aquaplaning

Quando um veículo circula sobre uma estrada molhada, desenvolvem-se pressões hidrodinâmicas na zona de contacto com o pneu e o pavimento, devido à presença de uma película de água entre os mesmos. À medida que o veículo aumenta a sua velocidade, também aumentam essas pressões.

Se a carga aplicada nos pneus, pelo peso da viatura, for menor que a carga resultante das pressões hidrodinâmicas, os pneus vão deslizar, interrompendo o contacto com o pavimento. Este fenómeno é designado por *aquaplaning*.

Com estas condições, o coeficiente de atrito reduz para valores tão baixos, insuficientes para manter a condução do veículo, o que faz com que o condutor perca o controlo direccional e a capacidade de travagem.



Figura 10 – Exemplo de um veículo em aquaplaning

[Disponível em: <http://revistaautoesporte.globo.com/Revista/Autoesporte/0,,ERT119376-10142,00.html>]

Segundo FILHO (2006 *cit in* SOARES, A., 2011) são quatro os tipos de aquaplaning (ou aquaplanagem) existentes: Combinada (Modelo das três zonas); Viscoso; Dinâmico; Por desvulcanização, que serão abordados a seguir.

2.3.2.1 Aquaplaning Combinado (Modelo das três zonas)

Segundo um estudo desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration *cit in* APS, M., 2006), a região de contacto pneu com o pavimento molhado pode ser dividida em três zonas distintas, como se pode observar na figura 11.

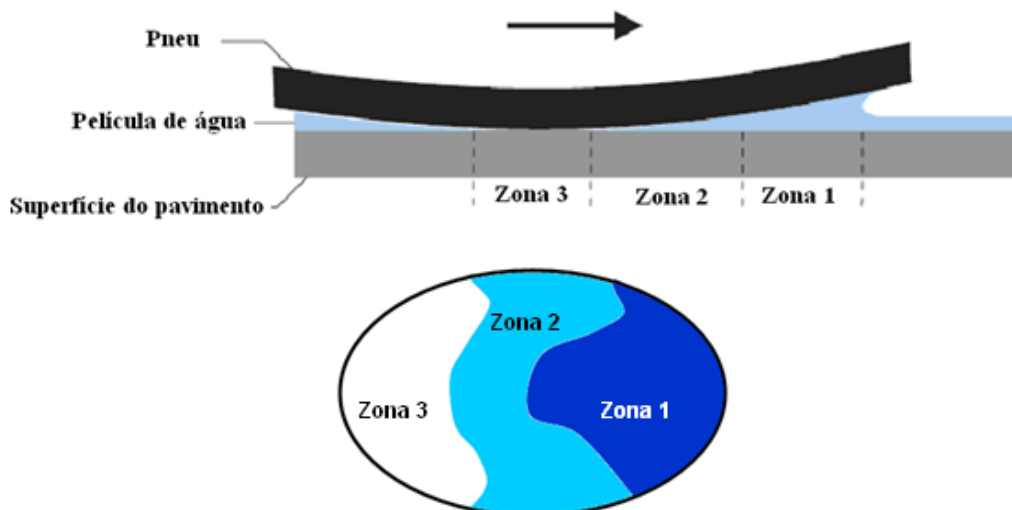


Figura 11 – Modelo de aquaplaning combinado

[Adaptado de D.O., 2005 *cit in* 40ª RAPv - REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, RIO DE JANEIRO, 2010]

Zona 1: Área de contacto coberta por uma **espessa lâmina de água**, também designada por “zona molhada”. Nesta zona, o pneu em movimento empurra a água para a frente, formando uma “onda”. (SILVA & RODRIGUES FILHO, 1981 *cit in* APS, M., 2006)



Figura 12 – Representação esquemática da Zona 1

[Adaptado de Technical F1 Dictionary. Disponível em: <http://f1-dictionary.110mb.com/aquaplaning.html>]

Zona 2: Área de contacto coberta por uma **finha lâmina de água**, também designada por zona de transição ou intermédia. Como a espessura da lâmina de água é menor, o pneu começa a ter contacto parcial com o pavimento. (SILVA & RODRIGUES FILHO, 1981 *cit in* APS, M., 2006)



Figura 13 – Representação esquemática da zona 2

[Adaptado de Technical F1 Dictionary. Disponível em: <http://f1-dictionary.110mb.com/aquaplaning.html>]

Zona 3: Teoricamente é a área de contacto sem presença de água, havendo contacto directo entre o pneu e pavimento. O atrito que existe nesta zona contribui para o deslocamento e controlo do veículo. É também conhecida por zona seca. (SILVA & RODRIGUES FILHO, 1981 *cit in* APS, M., 2006)



Figura 14 – Representação esquemática da Zona 3

[Adaptado de Technical F1 Dictionary. Disponível em: <http://f1-dictionary.110mb.com/aquaplaning.html>]

É necessário algum tempo para que a água da área de contacto entre o pneu e pavimento seja drenada. Esta drenagem é feita graças acção conjunta da macro e microtextura, da superfície do pavimento.

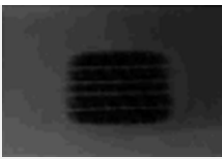
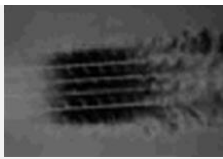
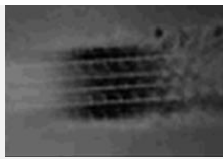
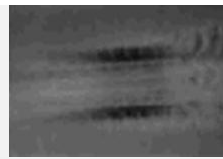
Em conjunto com os sulcos que compõem o desenho do pneu, a macrotextura tem como função permitir que a água da zona 1 seja drenada.

Graças à microtextura da superfície do pavimento, a água presente na zona 2 vai sendo eliminada, permitindo que o pneu e o pavimento retomem o contacto.

Vários são os factores que vão influenciar a percentagem destas zonas, a saber:

- Velocidade a que se desloca o veículo;
- Textura do pavimento;
- Pressão dos pneus;
- Manobras que o condutor esteja a realizar.

Tabela III – Descrição do contacto a diferentes gamas de velocidade: película de água 5 mm
[Adaptado de Technical F1 Dictionary, disponível em: <http://f1-dictionary.110mb.com/aquaplaning.html>]

Velocidade	20 Km/h	60 Km/h	80 Km/h	100 Km/h
Fotografia da zona de contacto				
Descrição de contacto	Pneu totalmente em contacto com o pavimento	Pneu quase na totalidade em contacto com o pavimento	Pneu parcialmente em contacto com o pavimento	Pneu quase sem contacto com o pavimento

2.3.2.2 Aquaplaning Viscoso

Este tipo de aquaplaning ocorre a velocidades relativamente baixas, resultado do efeito da viscosidade da água, que se vai opor à sua expulsão, na zona de contacto entre o pneu e a superfície do pavimento. (ARAÚJO, 1994 *cit in* LUGÃO, W., 2008; SOARES, A., 2011)

É, maioritariamente, em superfícies lisas que este fenómeno se verifica, condição esta que ocorre com maior frequência em superfícies onde se deu o “emborrachamento” do pavimento, devido ao desgaste dos pneus. (MERIGHI *et al.*, 2007 *cit in* LUGÃO, W., 2008)

O risco vai tornar-se maior com o aumento da viscosidade da água, resultado da contaminação por argilas, limos, entre outros, podendo o aquaplaning acontecer, mesmo a velocidades muito baixas e até com pneus cujas alturas de piso se apresentam em boas condições.

Normalmente, o aquaplaning viscoso verifica-se durante o processo de travagem, entre a velocidade a que ocorre o aquaplaning dinâmico e velocidades muito reduzidas, mesmo que a espessura da película de água seja extremamente fina, na ordem dos 0,06 mm. (SOARES, A., 2011)

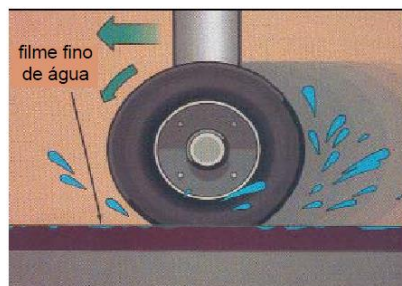


Figura 15 – Aquaplaning Viscoso
[ANDRÉ, 2001 *cit in* LUGÃO, W., 2008]

2.3.2.3 Aquaplaning dinâmico

Quando um pavimento se encontra coberto de água e um veículo se desloca sobre ele, os seus pneus deslocam a água para os lados e para a frente, tentando manter o contacto com o pavimento.

Na zona onde o pneu choca com a água, isto é, na frente de contacto, vai formar-se uma “onda” de pressão, que corresponde ao impulso transmitido pelo pneu à água. Esta pressão, proporcional ao quadrado da velocidade da roda e à densidade da água, vai deformar o pneu de tal forma, que as porções de água subsequentes serão capazes de penetrar na área de contacto e sustentar parcialmente, a carga vertical do pneu. (SILVA, 1981; ARAÚJO, 1994; RODRIGUES FILHO, 2006 *cit in* LUGÃO, W., 2008; SILVA, J., 2011)



Figura 16 – Aquaplaning dinâmico

[FOUCARD (2005 *cit in* Momm, L. & Thives, L., 2010) disponível em
<http://dc239.4shared.com/doc/wAgkMGcd/preview.html>]

Quando se atingem valores acima de uma determinada espessura de água - espessura crítica - e de determinada velocidade característica - velocidade de aquaplaning -, a água vai ocupar toda a área de contacto entre a superfície do pavimento e o pneu, deixando de existir contacto entre ambos.

Segundo SILVA (1981 *cit in* SILVA, J., 2008), a espessura crítica da película de água que é necessária para este processo, numa superfície em que a macrotextura seja

classificada como fechada ou fina, é de aproximadamente 2 a 3 mm, podendo atingir os 10 mm em pavimentos cuja macrotextura é classificada como aberta. (ver figura 4)

Um incremento da espessura da camada de água, acima do seu valor crítico, não tem influência considerável na velocidade de aquaplaning. No entanto, um decréscimo nessa mesma espessura, vai aumentar, substancialmente, a velocidade necessária para a ocorrência de aquaplaning dinâmico. (SILVA, 1981 *cit in* LUGÃO, W., 2008)

De notar também que, o facto de haver grande precipitação, de curta duração, pode ser suficiente para gerar uma espessura de água suficientemente grande, sendo uma condição favorável à ocorrência de aquaplaning.

Se o pavimento apresentar uma adequada macrotextura e com um bom sistema de escoamento de água, o risco de ocorrer este tipo de aquaplaning está posto de lado, isto se a espessura da película de água for inferior à crítica. (ARAÚJO, 1994 *cit in* LUGÃO, W., 2008)

2.3.2.4 Aquaplaning por desvulcanização

Este tipo de aquaplaning (também conhecido por aquaplaning por borracha revertida) ocorre, normalmente em aviões, quando a lâmina de água é suficientemente profunda e a velocidade de deslocamento dos mesmos é superior à velocidade de aquaplaning, dando-se o fenómeno por completo. (LUGÃO, W., 2008; SOARES, A., 2011)

Por causa da macrotextura da superfície do pavimento e devido ao facto de não existir rotação, a borracha que entra em contacto com o pavimento vai ser sujeita a inúmeras deformações (a superfície do pneu derrete), que vão sobreaquecer a área de contacto. Tal acontece devido às propriedades visco-elásticas da borracha que compõe os pneus. (SILVA, 1981; RODRIGUES FILHO, 2006 *cit in* LUGÃO, W., 2008; SOARES, A., 2011)

Se este processo for prolongado por um grande espaço de tempo, a temperatura sobe a um nível tal, que a borracha dos pneus perde as suas propriedades elásticas, passando a plástica. Quando tal acontece, desaparece uma grande parte das perdas de energia cinética por histerese. (SILVA, 1981 *cit in* LUGÃO, W., 2008)

Segundo SILVA (1981 *cit in* LUGÃO, W., 2008), este tipo de aquaplaning só se manifesta com aviões que possuem pneu de pressão elevada, mas pode ser evitada se os

mesmos forem dotados de travões com sistema anti-deslizante, o que vai fazer com que a percentagem de deslizamento ocorra em cerca de 15% a 20%, impedindo que a roda seja bloqueada na totalidade.



Figura 17 – Zona de contacto de um pneu de um avião que sofreu aquaplaning por desvulcanização.
[FILHO, 2006 *cit in* SOARES, A., 2011]

Analisando os quatro tipos de aquaplaning e de acordo com a bibliografia consultada, pode dizer-se que na zona 1 ocorre o aquaplaning dinâmico, uma vez que existe uma camada contínua e espessa de água.

Tabela IV – Aquaplaning total e parcial, modelo das 3 zonas
[Adaptado de APS, M., 2006]

Parâmetros	Zona	Condições do Pavimento	Interacção	Propriedade	Fenómeno
Aquaplaning Total	Z1	Molhado	Escorregamento	Macrotextura	Aquaplaning dinâmico
Aquaplaning Parcial	Z2	Húmido	Contacto Parcial	Microtextura	Aquaplaning viscoso
Contacto	Z3	Seco	Rolamento	Macro e Microtextura	Atrito

Acidentes cuja causa seja o aquaplaning, ocorrem quando as velocidades são elevadas, a espessura da lâmina de água é elevada e a pressão sobre o pneu é superior à pressão de contacto, o que faz com que este deslize sobre a superfície da água.

Hankin e outros investigadores (WAMBOLD, 1986 *cit in* APS, M., 2006) concluíram com base em 500 casos de estudo, todos em pistas molhadas, que:

- 1) Os pavimentos nos locais de acidente apresentam reduzida macrotextura;
- 2) A profundidade dos sulcos dos pneus era pequena;
- 3) Os valores dos coeficientes de atrito nos locais dos acidentes eram baixos;
- 4) As velocidades dos veículos imediatamente antes dos acidentes eram altas.

3 ATRITO

Em física, o conceito de atrito é designado como sendo uma força natural que actua quando um objecto está em contacto com outro e sofre a acção de outra força que tem tendência a colocá-lo em movimento. Vai depender da Força Normal que age num objecto em contacto com uma superfície; maior será a força de atrito, quanto maior for a Força Normal. (HALLIDAY, 2006 cit in SILVA, J., 2008)

O atrito é um das características mais importantes no que respeita à interacção entre os corpos/materiais. Está presente em quase todo o tipo de movimento e é desejável e essencial em alguns casos e noutros, indesejável. O atrito pode ser muito útil, como por exemplo, ao andar, se não houvesse atrito entre a sola dos sapatos e o chão, jamais seria possível locomovermo-nos da maneira como o fazemos, seria como andar numa pista de gelo.

O atrito é estudado há cerca de 500 anos e, tal como se pode verificar na tabela V, já muitas noções foram introduzidas e estudadas ao longo dos séculos.

O progresso do conhecimento relativamente ao fenómeno do atrito foi compilado e descrito por DOWSON (1979) e SILVA (1998 cit in APS, M., 2006), conforme se pode verificar na tabela a seguir apresentada.

Tabela V – Cronologia do desenvolvimento do conhecimento de atrito
[SILVA, 1998 *cit in* APS, M., 2006]

Autor	Ano	Conhecimento
Leonardo Da Vinci	1495	A força de atrito é proporcional à força normal; A força de atrito é independente da área de contacto; A força de atrito é igual a 0,25 da força normal.
Robert Hooke	1685	O atrito por rolamento é menor para materiais com maiores módulos de elasticidade.
Isaac Newton	1687	O atrito em sistema lubrificados depende das propriedades viscosimétricas do fluído.
Guillame Amontons	1699	Confirma a independência entre o atrito e a área de contacto; Materiais diferentes apresentam valores de atrito diferentes; O atrito é causado pela interferência entres rugosidades.
J. T. Desaguulies	1725	Forma a primeira base de dados sobre o atrito para vários materiais; Introduz o conceito de coesão entre superfícies.
Leonard Euler	1750	Introduz o símbolo μ para o coeficiente de atrito; Conceito de atrito estático; Estabelece que o coeficiente de atrito estático é maior que o dinâmico.
Augustin de Coulomb	1785	Sugere que atrito possui uma componente de adesão e outra de deformação; Analisa o tempo de resposta da força de atrito; Sugere que a força de atrito é causada pelo inter-travamento de rugosidades.
G. Rennie	1825	Estima que o coeficiente de atrito entre metais de elevada dureza é igual a 1/6; Propõe que metais de baixa dureza apresentem maior coeficiente de atrito; Estabelece que o coeficiente de atrito de metais lubrificado de pende do lubrificante e não do metal.

O atrito é visto como o componente fundamental de desgaste mecânico. Por definição, é a força de resistência ao movimento de um objecto que desliza sobre outro e vai depender do material dos objectos em contacto.

Pode ser visto como um estado de aspereza ou rugosidade entre os objectos em contacto, permitindo uma troca de forças, numa direcção tangencial à região de contacto

entre os objectos. O sentido da força de atrito é sempre contrário ao deslizamento dos mesmos, em contacto.

Relembrando a 3ª Lei de Newton – Acção Reacção – os objectos A e B trocam, entre si, forças de atrito, sendo que A aplica força em B e B aplica força em A. Estas forças têm sentido e direcção opostos e a mesma intensidade.

De um modo geral pode dizer-se que o atrito não afecta a velocidade de deslizamento do objecto e é independente da área de contacto. Este varia, sempre, de acordo com a natureza das superfícies e é directamente proporcional à carga.

Em relação aos tipos de atrito, estes dividem-se em Atrito Estático e Atrito Cinético.

No atrito estático, como o seu nome indica, a sua actuação incide num objecto em repouso, o que vai dificultar o início do movimento. O módulo vai variar, de acordo com a força que é aplicada. Neste caso, a constante de proporcionalidade entre a força de atrito e a força normal é o “coeficiente de atrito estático”. O valor máximo da força de atrito estático pode ser calculado pela seguinte equação:

$$F_{aemax} = \mu_e \cdot N$$

Equação 2

Ao contrário da primeira, a força de atrito cinético atua sobre os objectos em movimento, tornando difícil o mesmo. O seu módulo é sempre constante. Neste caso, a constante de proporcionalidade é expressa através do “coeficiente de atrito cinético”, que pode ser calculado pela seguinte equação:

$$F_{ac} = \mu_c \cdot N$$

Equação 3

É importante ressaltar que o coeficiente de atrito estático máximo é sempre maior que o coeficiente de atrito cinético ($\mu_{e\text{ máx}} > \mu_c$). (SANTOS, E., 2004)

Convém, também, saber que o coeficiente de atrito não apresenta unidade de medida, dado que é uma grandeza adimensional e que resulta da interacção entre dois corpos. (SILVA, J., 2008).

Na tabela VI são apresentados alguns coeficientes de atrito para alguns pares de materiais. É de salientar que os dados devem ser considerados apenas como valores estimativos. Os valores reais podem ser diferentes porque dependem de uma diversidade de factores.

Tabela VI – Valores de atrito estático e cinético seco entre diferentes pares de materiais.

Par de materiais	μ_e	μ_c
madeira/madeira	0,25~0,5	0,2
gelo/gelo	0,1	0,03
borracha/asfalto	0,7~0,9	0,5~0,8
borracha/aço	0,6~0,9	0,3~0,6
borracha/cimento	1,0	0,6-0,8
aço/aço	0,74	0,57
alumínio/aço	0,61	0,47
cobre/aço	0,53	0,36
vidro/vidro	0,9~1,0	0,4
Articulações no corpo humano	0,01	0,003

No caso da aeronáutica, por exemplo, um dos aspectos essenciais a ter em conta tem a ver com o estado da pista, uma vez que este é um dos factores determinantes na prevenção de acidentes nas manobras de aterragem e descolagem.

Segundo PONCINO (2001 *cit in* SANTOS, E., 2004), o coeficiente de atrito pode ser dividido em duas classes – o **coeficiente de atrito transversal (CAT)** e o **coeficiente de atrito longitudinal (CAL)**.

O coeficiente de atrito transversal (CAT) diz respeito à força perpendicular ao plano de rotação da roda, quando esta circula com um ângulo em relação à sua direcção de avanço. É o coeficiente que melhor descreve a situação de derrapagem.

O coeficiente de atrito transversal (CAT), segundo MELO, J. (2009) varia com o ângulo de deslizamento do pneu, onde o seu valor máximo dá-se com um ângulo de deslizamento entre 4° e 7°.

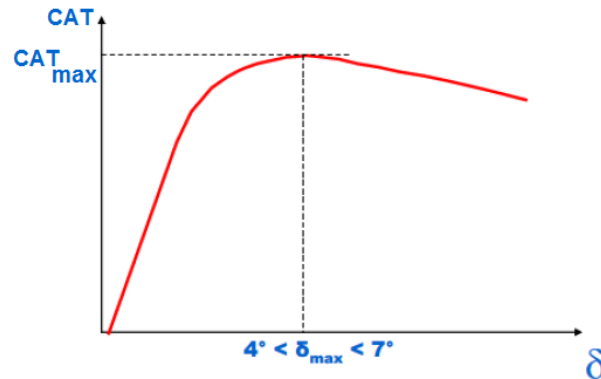


Figura 18 – Coeficiente de Atrito Transversal em função do ângulo de deslizamento
[Adaptado de ROE, 2008 cit in MELO, J., 2009]

O coeficiente de atrito longitudinal (CAL) diz respeito à força que se vai desenvolver na zona de contacto entre o pneu e o pavimento, quando se arrasta uma roda travada, através de um veículo a reboque. A medição deste coeficiente de atrito é recomendada, por norma, para condições que os veículos se desloquem a altas velocidades, como é o caso dos aviões. O coeficiente de atrito longitudinal (CAL) varia em relação à taxa de deslizamento do pneu. (MELO, J., 2009)

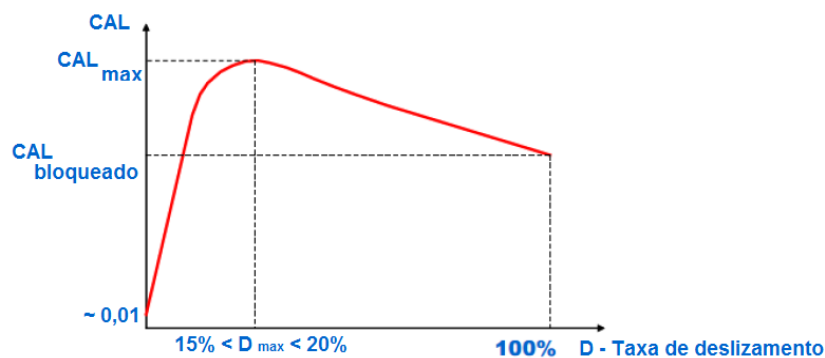


Figura 19 – Coeficiente de Atrito Longitudinal em função da Taxa de Escorregamento
[Adaptado de ROE, 2008 cit in MELO, J., 2009]

De uma forma geral pode dizer que o coeficiente de atrito longitudinal (CAL) vai avaliar sobretudo, a distância de paragem e é utilizado, na sua maioria, em pistas de aeroportos e o coeficiente de atrito transversal (CAT) tem interesse na circulação em

curvas, pelo que tem maior utilidade em pavimentos rodoviários. (FERNANDES, C., 2010)

A observação do atrito interessa, segundo PEREIRA e MIRANDA (1999 *cit in* MENEZES, M., 2008) nos domínios seguintes: identificação de zonas com atrito insuficiente, também conhecidas como “pontos negros”; programação da recuperação das características da superfície e avaliação e estudo dos diferentes tipos de técnicas e materiais de construção no que diz respeito à textura superficial resultante.

A medição do atrito facultado pela superfície de uma camada de desgaste realiza-se, por norma, segundo três métodos: (MENEZES, M., 2008)

- Medição do atrito pontual, recorrendo a equipamentos sem utilização de pneu;
- Medição do atrito longitudinal em contínuo, com equipamentos com pneu bloqueado;
- Medição do atrito transversal em contínuo, com equipamentos com pneu livre;

3.1 MEDIÇÃO DO ATRITO

O atrito é um parâmetro de avaliação dos pisos rodoviários bastante importante mas que, infelizmente, é muito difícil de medir. Os diversos dispositivos utilizados para a medição de atrito não são muito complicados, nem muito elaborados, mas as forças de atrito que tentam medir são muito sensíveis a um diverso número de factores, os quais são bastante difíceis de controlar.

No Reino Unido, o SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine) é um dos equipamentos usados para medição de atrito em superfícies rodoviárias. Os factores que influenciam os valores de atrito, medidos pelo SCRIM, têm sido relatados numa série de investigações.

Aquando da medição do atrito, não é surpreendente ter uma diferença de valores de cerca de 5% entre duas medições consecutivas, usando o mesmo dispositivo de medição. Essa diferença pode, ainda, ser superior, quando se utiliza outro tipo de dispositivo de medição ou com o aumento de tempo, entre as medições.

Numa medição de atrito há, essencialmente, três corpos/parâmetros envolvidos, o pneu de medição, a superfície da estrada e um tipo de contaminante interactivo com ambos

(pneu e estrada), como por exemplo, água (atrito molhado), poeiras ou partículas de desgaste.

Os valores de atrito medidos dependem, em grande parte, das propriedades do material dos três corpos, das pressões de contacto locais, velocidades relativas, etc. Na tabela que se segue é possível ver um pequeno resumo dos factores importantes que influenciam o atrito da superfície da estrada.

Tabela VII – Factores que influenciam o atrito da superfície da estrada

Pneu	Pavimento	Contaminante
▪ Desenho do piso ▪ Composição da borracha ▪ Pressão do pneu ▪ Dureza da borracha ▪ Carga/peso ▪ Velocidade de escorregamento ▪ Condutibilidade térmica ▪ Calor específico	▪ Macrotextura ▪ Microtextura ▪ Megatextura ▪ Irregularidades ▪ Química dos materiais ▪ Temperatura ▪ Condutividade térmica ▪ Calor específico	▪ Viscosidade ▪ Densidade ▪ Temperatura ▪ Condutividade térmica ▪ Calor específico ▪ Espessura do filme ▪ Estrutura química

3.1.1 Medição de atrito em plano inclinado

Quando um corpo está sobre um plano inclinado e sob acção exclusiva da força da gravidade, a intensidade da força normal, F_N , que se utiliza para calcular a força de atrito, F_a , corresponde à componente perpendicular ao plano de contacto.

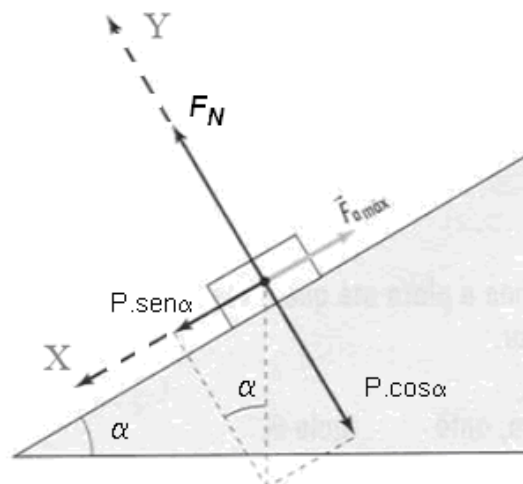


Figura 20 – Corpo colocado sobre um plano inclinado com atrito
[Adaptado de SANTOS, C. *et al*, 2004]

Verifica-se experimentalmente que, enquanto o ângulo α de inclinação do plano for reduzido, o corpo mantém-se em equilíbrio. Apenas quando o ângulo α atinge um valor crítico, α_C , é que o corpo tende a iniciar o movimento. Nesta situação, estamos no limite em que todas as forças que actuam sobre o corpo ainda se compensam, mas começa a desenvolver-se uma força resultante segundo o eixo XX assinalado na figura 20. (SANTOS, C. *et al*, 2004)

Usando o referencial representado na mesma figura pode-se escrever:

$$\begin{cases} N - P \cos(\alpha_C) = 0 & \text{(Segundo o eixo dos YY)} \\ P \sin(\alpha_C) - F_a = 0 & \text{(Segundo o eixo dos XX)} \end{cases}$$

Equação 4

Note-se que, apesar das forças que actuam segundo o eixo YY se compensarem em qualquer situação, segundo o eixo XX apenas se compensam para ângulos de abertura iguais ou inferiores ao ângulo crítico, α_C .

Sendo:

$$P = mg \text{ e } F_a = \mu N$$

Equação 5

Onde m representa a massa do corpo. O sistema de equações pode ser escrito na forma:

$$\begin{cases} N = mg \cos(\alpha_C) & \text{(Segundo o eixo dos YY)} \\ \sin(\alpha_C) - \mu \cos(\alpha_C) = 0 & \text{(Segundo o eixo dos XX)} \end{cases}$$

Equação 6

Através da equação acima calcula-se então o coeficiente de atrito, μ .

O valor obtido corresponde à situação em que o corpo está na eminência de iniciar o seu movimento. Designa-se por **coeficiente de atrito estático** e pode ser calculado por:

$$\mu_e = \tan(\alpha_C)$$

Equação 7

Quando o ângulo de inclinação do plano inclinado é superior ao ângulo crítico, α_C , o corpo já não se mantém em equilíbrio estático, havendo uma força resultante segundo a direcção XX, da qual resulta um movimento acelerado. Observa-se, ainda, que a força

de atrito tende a ser menor quando o corpo se desloca em relação ao plano inclinado, por comparação com a situação estática. Isto traduz-se num valor diferente para o coeficiente de atrito, o qual assume, no caso em que há movimento, a designação de **coeficiente de atrito cinético**. (SANTOS, C. *et al*, 2004)

Na situação em que a abertura do plano inclinado é superior ao ângulo crítico pode-se então escrever:

$$\begin{cases} N - P\cos(\alpha_C) = 0 & \text{(Segundo o eixo dos YY)} \\ P\sin(\alpha_C) - F_a = ma & \text{(Segundo o eixo dos XX)} \end{cases}$$

Equação 8

As expressões acima descrevem a dinâmica do movimento do corpo ao longo do plano inclinado, sendo equivalentes a:

$$\begin{cases} N = mg\cos(\alpha_C) & \text{(Segundo o eixo dos YY)} \\ g(\sin(\alpha) - \mu_C\cos(\alpha)) = a & \text{(Segundo o eixo dos XX)} \end{cases}$$

Equação 9

Da equação referente ao plano dos XX, determina-se experimentalmente o coeficiente de atrito cinético a partir de medidas da aceleração adquirida pelo corpo no seu movimento, ao longo do plano inclinado. (SANTOS, C. *et al*, 2004)

Assumindo que o corpo inicia o seu movimento sobre o plano inclinado sem velocidade inicial, pode-se escrever:

$$v = at = g(\sin(\alpha) - \mu_C\cos(\alpha))t$$

Equação 10

Onde v representa a velocidade do corpo e t a variável tempo. Da expressão anterior resulta, então, para a equação de movimento:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}at^2 = x_0 + \frac{g(\sin(\alpha) - \mu_C\cos(\alpha))}{2}t^2$$

Equação 11

Sendo que x e x_0 são respectivamente, a posição do corpo num dado instante t e a posição inicial do corpo, medida segundo o eixo dos XX.

A distância percorrida pelo corpo será dada então pela expressão:

$$S = |X - X_0| = \left| X_0 + \frac{g(\sin(\alpha) - \mu_c \cos(\alpha))}{2} t^2 - X_0 \right| \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{g(\sin(\alpha) - \mu_c \cos(\alpha))}{2} t^2$$

Equação 12

Através da expressão acima, e conhecendo S e t será então possível determinar a aceleração do corpo e, conseqüentemente, o **coeficiente de atrito cinético, μ_c** .

3.1.2 Equipamentos para medição do Coeficiente de Atrito

Segundo o LNEC (2005), o coeficiente de atrito é o resultado da aderência entre o pneu e o pavimento, em combinação com a textura e profundidade do mesmo. Sendo assim, existem factores que vão influenciar o coeficiente de atrito, nomeadamente as características do pneu, película de água, velocidade e as características do agregado: coeficiente de polimento e microtextura.

As conseqüências apresentam-se a três níveis, sendo eles os seguintes:

- Segurança – aderência em todas as condições de piso e a qualquer velocidade;
- Economia – desgaste de pneus;
- Ambiente e Conforto – Ruído de Rolamento.

(Adaptado de LNEC, 2005)

Existe uma gama variada de equipamentos que estão disponíveis para medição do atrito, sendo que a medição pode ser feita num ponto específico, recorrendo a equipamentos estáticos ou continuamente, através de equipamentos dinâmicos.

A selecção destes equipamentos deve ser feita de acordo com o objectivo do teste, isto é, quando se pretende analisar uma zona em que ocorrem muitos acidentes, recorrem-se aos métodos de avaliação estáticos e quando o objectivo é analisar pavimentos para se proceder à sua manutenção, utilizam-se métodos dinâmicos. (MENEZES, M., 2008)

Tabela VIII – Equipamentos para medição de atrito

EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DO ATRITO				
<i>Portáteis (Estáticos)</i>	<i>Rodas oblíquas</i>	<i>Rodas bloqueadas</i>	<i>Rodas parcialmente bloqueadas</i>	
			<i>Deslizamento fixo</i>	<i>Deslizamento variável</i>
Pêndulo Britânico DFT	SCRIM Mμ-meter Stradograph Odoliograph	Adhera MAder	Skiddometer Grip tester SFT	IMAG OSCAR SRM RoadSTAR TRT

3.1.2.1 Pêndulo Britânico

Neste método, a medição é localizada. Na utilização do pêndulo britânico, o coeficiente de atrito longitudinal é medido, recorrendo à avaliação da energia absorvida por atrito, quando a borracha do pêndulo desliza sobre o pavimento. Quanto maior for o atrito, menos o pêndulo oscila e maior será o valor da resistência à derrapagem (SRV – Skid Resistance Value) na superfície do pavimento. (ALVES, T., 2007)



Figura 21 – Pêndulo Britânico

[Tecnilab Portugal SA, 2012. Disponível em:

http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=Betuminosos_prod&idCatM=PRODUTOS&idContent=8D533D17-208A-4560-A8A3-924BCADC685C]

Por ser um equipamento manobrado de forma manual, a sua utilização torna-se menos vantajosa para longas distâncias, servindo apenas para avaliar o atrito em locais com área restrita. No entanto, a sua utilização é vantajosa no sentido da avaliação das características do pavimento, dado que o seu manuseamento obriga a que o utilizador esteja em contacto directo com o pavimento, podendo verificar “in loco” se os dados recolhidos são plausíveis.



Figura 22 – Exemplo da medição de atrito através do pêndulo britânico.

[EASA, 2010]

Os valores medidos nos ensaios são obtidos em BPN (British Pendulum Number), uma grandeza que representa indirectamente o atrito obtido entre o pneu e o pavimento. Quanto maior for o valor de BPN, maior será a resistência oferecida pela superfície do pavimento à passagem da borracha do pêndulo, já que maior será a energia perdida pelo mesmo. (LEE *et al*, 2005 *cit in* ALVES, T., 2007)

Equação para determinação do IFI (CENEK *et al*, 2007 *cit in* ALVES, T., 2007):

$$F_{60} = 0,0436 + \left(0,0095 \times BPN \times e^{\left(\frac{-50}{Sp} \right)} \right)$$

Equação 13

3.1.2.2 DFT – Dynamic Friction Tester

O Dynamic Friction Tester é um equipamento de medição directa de várias superfícies pavimentadas. É, também, um dispositivo portátil, cujo método de teste se realiza de acordo com a norma ASTM E-1911-98.

O DFT é constituído por três barras de borracha, anexadas na parte inferior de um disco rotativo, que gira a uma velocidade tangencial que pode atingir os 80 km/h. Na imagem abaixo apresentada é possível verificar a configuração do equipamento.

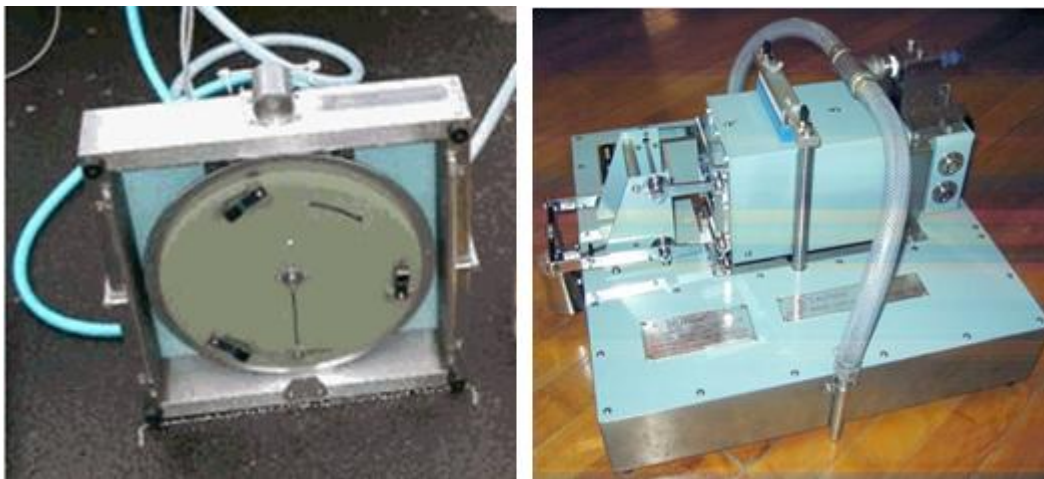


Figura 23 – DFT – Dynamic Friction Tester
[Nippo Sangyo CO., 2004]

Este disco rotativo é pressionado contra a superfície do pavimento com uma força, w , perpendicular à superfície, e a sua velocidade de rotação diminui, devido ao atrito gerado entre as barras e a superfície pavimentada. O DFT usa um motor eléctrico para fazer girar o disco à velocidade linear, v , desejada e um dispositivo electromagnético que força o disco contra o pavimento, a velocidades mais elevadas, uma vez que a essas velocidades, o disco tem tendência a afastar-se do pavimento, devido à força rotacional.

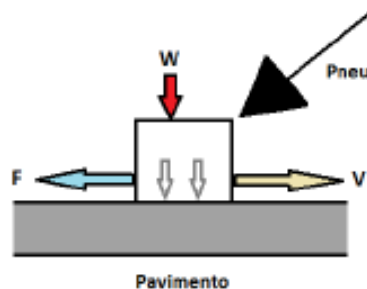


Figura 24 – Representação esquemática do DFT
[COUCHINHO, R., 2011]

O DFT, à semelhança de outros equipamentos de medição do atrito, possui um reservatório de água, que vai sendo libertada, à medida que se executa o teste.



Figura 25 – Ensaio de medição de atrito com DFT
[Nippo Sangyo CO., 2004]

O binário gerado pelas forças deslizantes, medido durante a rotação para baixo, é então usado para calcular o atrito, como uma função da velocidade. O coeficiente de atrito registado a diferentes velocidades apresenta-se sob a forma de um gráfico idêntico ao apresentado na figura abaixo.

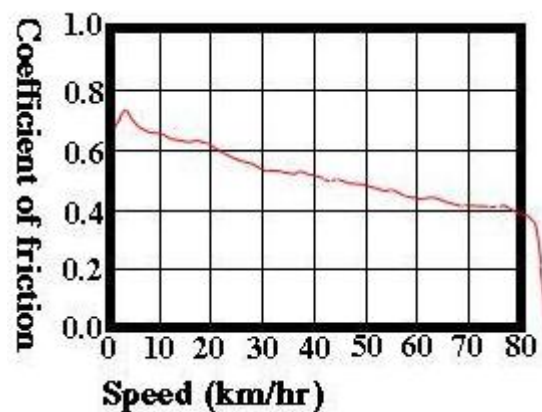


Figura 26 – Coeficiente de atrito registado a diferentes velocidades
[Nippo Sangyo CO., 2004]

3.1.2.3 SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)

O SCRIM® é um equipamento usado para medir a resistência à derrapagem da superfície de um pavimento. É um equipamento auto-suficiente que consiste num veículo comercial com um tanque de água de grandes dimensões, uma ou duas rodas de teste e um software de gravação de dados.



Figura 27 – SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)
[SCRIM Messungen. Disponível em: <http://www.ifi.de/scrim.htm>]

Como a sua capacidade de trabalho diária pode variar entre os 200 e 300 km, dependendo do tipo de pavimento, este torna-se ideal para efectuar avaliações/monitorizações dos diferentes pavimentos e de largos troços de estradas. No Reino Unido, os testes podem ser efectuados a duas velocidades, 50 e 80 km/h, sendo a última utilizada, apenas, quando o limite de velocidade da estrada em teste for superior a 50 Km/h ou quando o condutor do equipamento achar seguro fazê-lo.

Em termos económicos, é pouco atractivo, dado o seu custo elevado e pelo facto de, também, necessitar de um condutor e de um operador.

A média dos dados obtidos é gravada, em suporte informático, a cada 5, 10 e 20 m de estrada e o equipamento é calibrado no início e no final do dia de teste.

Em termos de configuração, a roda de teste é montada na lateral do veículo, entre as rodas do mesmo, com um ângulo de 20° em relação ao sentido de marcha. Cada roda de

teste tem um pneu normalizado que roda livremente, sendo sobre este, aplicada uma carga conhecida.

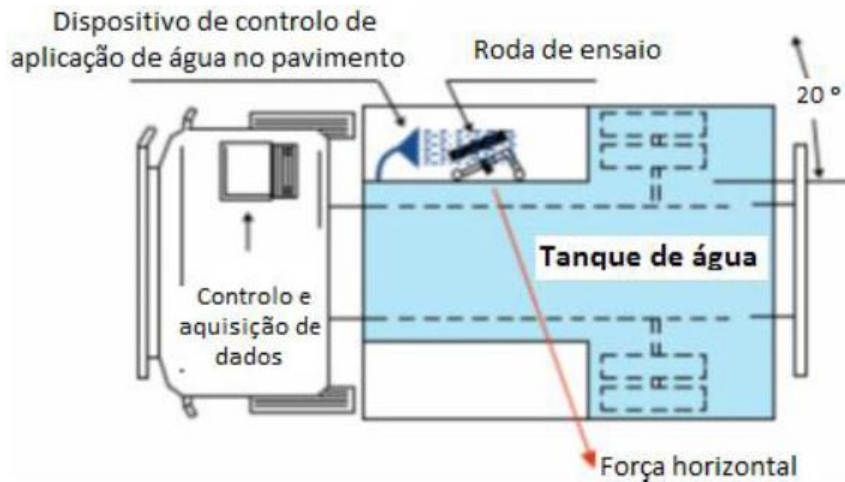


Figura 28 – Representação esquemática do SCRIM
[ALVES, 2007 cit in COUCHINHO, R., 2011]

Um controlador de fluxo de água montado na parte frontal da roda é usado para espalhar água na superfície de teste, provocando uma película lubrificante, com uma espessura nominal, que varia entre os 0,5 e os 2,0 mm, como se pode ver na figura abaixo.



Figura 29 – Roda de teste com sistema de aspersão de água
[WDM, 2008 cit in Melo, J., 2009]

Com o movimento do veículo a roda de teste desliza sobre a superfície e a força gerada por este deslizamento está relacionada com a resistência de derrapagem. A medição desta força lateral (SFC) permite então obter o coeficiente de atrito a cada 5, 10 e 20 m de estrada.

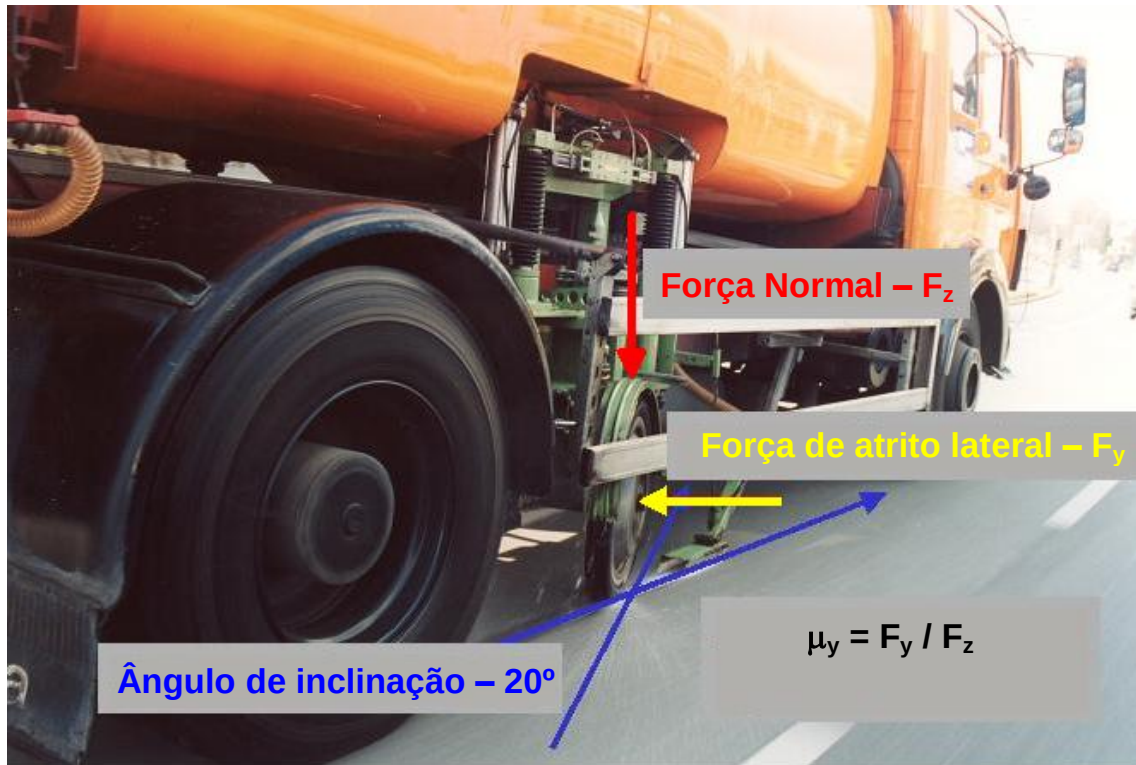


Figura 30 – Representação esquemática das forças que actuam no SCRIM durante um ensaio

O SFC (Sideways Force Coefficient) é o coeficiente de atrito obtido efectuando o ensaio com o SCRIM. Com este valor, e sabendo a velocidade de ensaio, pode ser determinado o valor da força de atrito à velocidade de referência de 60 km/h (ALVES, T., 2007):

$$F_{60} = 0,0326 + \left(11176 \times SFC \times e^{\left[\frac{(0,34s-60)}{sp} \right]} \right)$$

Equação 14

em que:

- SFC – coeficiente de atrito obtido com o SCRIM;
- S – velocidade de ensaio;
- Sp – constante da velocidade de referência;
- F60 – valor da força de atrito à velocidade de 60 km/h.

Como complemento, e com a finalidade de prevenir o fenómeno de aquaplaning, a textura é, também, analisada por um sensor laser, que é fixo na zona frontal do veículo, que permite a medição contínua e com precisão das irregularidades da superfície à frequência de 32 kHz. Este sensor, o texturómetro laser, permite medir a partir de um

sistema de triangulação com base em raios laser que medem a distância até cada ponto do pavimento (GEOCISA, 2007 *cit in* ALVES, T., 2007).

Posteriormente é estimado o valor ETD (Estimated Texture Depth), que é similar ao índice que provém da Técnica Volumétrica da Mancha anteriormente descrita. (ALVES, T., 2007).

3.1.2.4 M μ -Meter

O M μ -Meter é um equipamento de simples utilização e com boa precisão e, como os dados são processados informaticamente, o trabalho do operador torna-se mais fácil. É um equipamento com grande aplicação na aviação brasileira, no processo de monitorização do coeficiente de atrito das pistas aeroportuárias. (APS, M., 2006)

O M μ -Meter tem o mesmo princípio de funcionamento do SCRIM, realizando a medição do atrito a partir de uma roda em deslizamento, com a particularidade do ângulo ser apenas de 7,5°, em relação ao sentido do deslocamento.

Com o deslizar do pneu de teste (FW – Friction Wheel), no sentido do deslocamento, verifica-se a deformação da carcaça do mesmo, no sentido lateral, uma vez que este se encontra inclinado. Isto acontece, uma vez que o pneu em contacto com o pavimento, gera uma força lateral, momento esse gerado em torno do ponto de articulação da roda, actuando para alinhar a mesma.

É um dispositivo rebocável, conforme se pode verificar na figura abaixo apresentada, constituído por três rodas, sendo que duas delas são utilizadas para a medição do coeficiente de atrito. A sua velocidade de teste pode atingir os 65 km horários.

Sobre cada uma das rodas de teste, é aplicado uma força descendente de 78 kg, através de um lastro colocado nos amortecedores. Os pneus utilizados são produzidos de acordo com a norma ASTM E670 (modelo RL2) e tem as dimensões 4” x 8” com 6 lonas. São de desenho liso e possuem pressão de 70 kPa (0,7 bar) enquanto o pneu traseiro, o qual mede a distância percorrida, tem desenho convencional e pressão de 207 kPa (2,1 bar).



Figura 31 – Mμ-Meter

[AIRPORT INTERNATIONAL, 2012. Disponível em: <http://www.airport-int.com/suppliers/douglas-equipment-ltd.html>]

À semelhança do SCRIM, também o Mμ-Meter possui um controlador de fluxo de água, montado imediatamente à frente do pneu de teste que, durante o teste, vai libertando água, criando um filme lubrificante entre o pavimento e o pneu, como ilustra a figura abaixo apresentada.

O teste pode ser, também realizado, directamente em pavimentos molhados. No entanto, adoptando este procedimento, não é possível controlar a espessura da película de água, o que se traduz numa desvantagem.



Figura 32 – Medição de atrito com Mμ-Meter – detalhe do sistema de aspersão de água

[C.I.E.N, 2011. Disponível em: <http://constructoracien.com/reportes/2011/01/coeficiente-de-friccion-mu-meter/>]



Figura 33 – Equipamento de aquisição de dados do M μ -Meter

[DENSON ENTERPRISES. Disponível em:

<http://www.densongse.com/products/douglasspd.htm>]

Analisando o desenho esquemático apresentado na figura 34, consegue-se perceber melhor qual o funcionamento deste dispositivo. Quando o M μ -Meter é deslocado, é gerado atrito entre o pneu e o pavimento, o que força o afastamento dos braços do chassis. A força provocada por esse afastamento é registada na célula de carga, que se encontra acoplada aos dois braços.

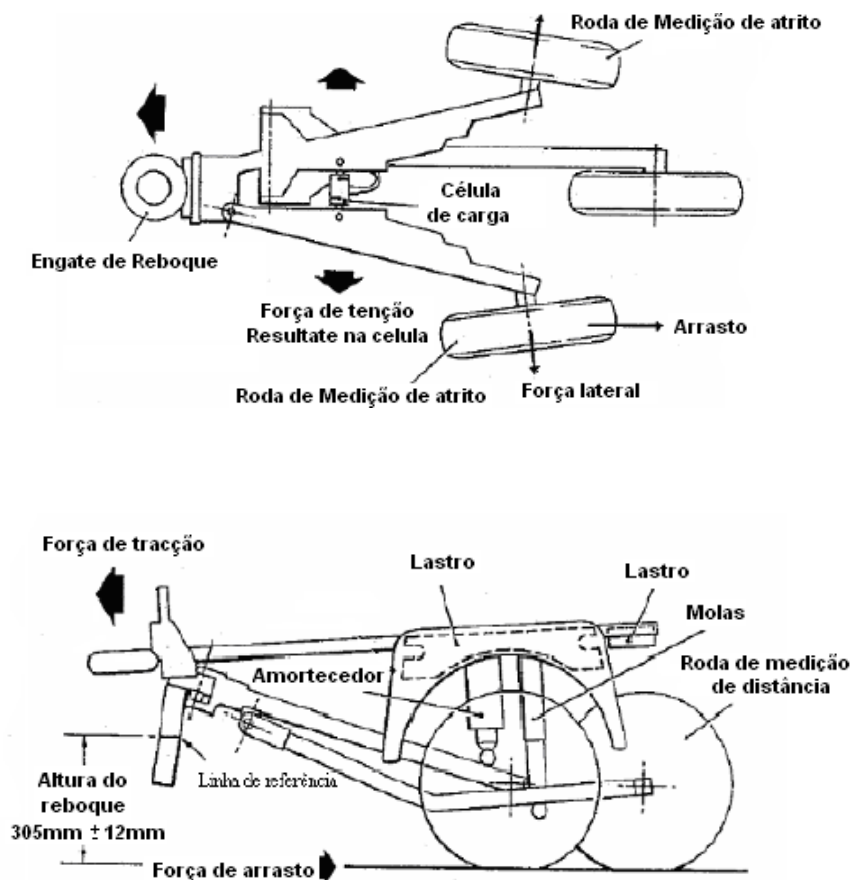


Figura 34 – Desenho esquemático do M μ -Meter

[Adaptado de SANTOS, E., 2004]

3.1.2.5 IMAG

O IMAG é um equipamento de simples utilização, desenvolvido para medir automaticamente a aderência dos pavimentos em aeroportos. É um equipamento com grande aplicação na aviação, no processo de monitorização do coeficiente de atrito das pistas aeroportuárias e é o resultado da cooperação entre o Departamento Francês de Aviação Civil e a “Aéroports de Paris”, empresa que controla os aeroportos de Paris.

É um dispositivo de medição de atrito em concordância com as recomendações do apêndice 14 da ICAO (International Civil Aviation Organization) e é o equipamento de referência para a medição do IRFI (International Airport Runway Friction Index), seguindo a norma ASTM E2100-04.

O IMAG trata-se de um reboque de três rodas. É constituído por um chassis de suporte das rodas que sustentam o peso, equipado com um sensor medidor de velocidade (medição da velocidade e da distância) e um chassis de medição articulado sobre o chassis de suporte, contendo uma roda de medida, equipada com um pneu PIARC - Permanent International Association of Road Congress - (dimensão 165x380 e pressão de calibragem de 150 kPa).



Figura 35 – Pneu de teste do IMAG
[EASA, 2010]

Possui, ainda, um sistema de aspersão autónomo que, uma vez em funcionamento, assegura um filme lubrificante constante, na frente da roda de medição, independente da velocidade do veículo.



Figura 36 – IMAG

[VECTRA ESTEIO RODOVIAS, 2011. Disponível em: <http://www.vectra-esteio.com.br/imag.html>]

O princípio de funcionamento deste equipamento consiste numa roda de teste, posicionada no centro do veículo e lastrada ($F_v = 1750 \text{ N}$). Esta é puxada a uma velocidade constante, que pode ir até aos 140 km/h (Velocidades usuais: 40, 65 e 95 km/h).

A roda de teste é bloqueada, com uma taxa de deslizamento variável, normalmente entre os 15 e os 20%, e uma série de sensores que medem continuamente:

- F_h : Força horizontal de tracção exercida pela resistência ao rolamento do pneu de medição;
- C : O binário de travagem da roda de teste;
- F_v : A carga vertical da roda de teste.

Com estes dados torna-se possível determinar o coeficiente de atrito uma vez que:

$$CAL = \frac{F_h}{F_v}$$

Equação 15

$$\mu = \frac{\left(\frac{C}{R}\right)}{F_v}$$

Equação 16

Onde **CAL** representa o coeficiente de atrito longitudinal, μ o coeficiente de atrito e **R** é o raio da roda de teste medição.

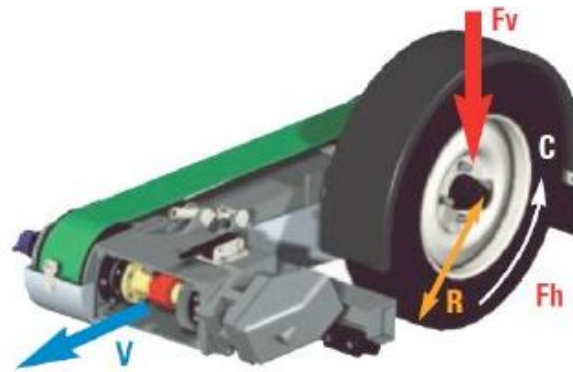


Figura 37 – Representação esquemática das forças medidas pelo IMAG durante um ensaio [VECTRA ESTEIO RODOVIAS, 2011. Disponível em: <http://www.vectra-esteio.com.br/imag.html>]

Como a medição da F_v é contínua, permite que o equipamento consiga sentir as interrupções da carga, causadas pelos defeitos de uniformidade do pavimento em teste. O conhecimento de C permite determinar a parte de F_h proveniente do atrito entre o pneu e o pavimento, sem considerar o arrasto proveniente da resistência ao rolamento, devido a macrotextura da superfície e da eventual presença de contaminantes no pavimento.

3.1.2.6 Adhera 2

O Adhera 2 é um equipamento que necessita de ser rebocado por um veículo. É utilizado para avaliar o coeficiente de atrito Longitudinal (CAL), com roda bloqueada e com deslizamento de 100%, cujos testes são padronizados segundo a norma ASTM E274-11.

Como resultado do seu trabalho, este equipamento, ao obter uma combinação de resultados de testes, a diferentes velocidades, permite avaliar a textura de uma superfície de um pavimento.



Figura 38 – Adhera 2 - equipamento para medição do CAL
[GDDKiA, 2009, cit in COUCHINHO, R., 2011]

Trata-se de um reboque constituído por uma roda de teste, carregada verticalmente, com um sistema de provisão de água que assegura uma película de água com 1 mm de espessura.

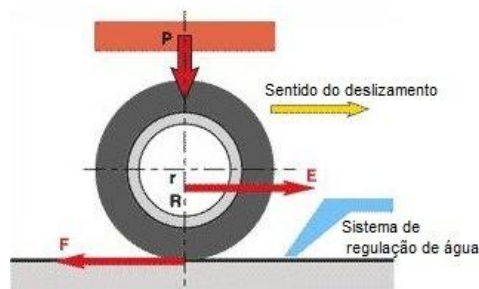


Figura 39 – Princípio de Funcionamento do Adhera 2
[LABORATORIO PONTI E STRADE, 2006]

3.1.2.7 Grip Tester

É um equipamento utilizado para avaliação do coeficiente de atrito longitudinal, em superfícies de pavimentos, que podem ser rodoviários ou aeroportuários.

Os seus testes e metodologia de funcionamento estão reconhecidos e aprovados a nível mundial, pela ICAO e pela PIARC. (MELO, J., 2009)

O grip tester; à semelhança de outros dispositivos, realiza as medições do atrito de forma contínua, através de um equipamento leve (com cerca de 85 kg), compacto e robusto, constituído por um reboque de 3 rodas.



Figura 40 – Grip Tester

[Tecnilab Portugal SA, 2012. Disponível em:

<http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=GripTester&idContent=C10322BC-5E2A-4DAC-BBA0-C8A69743ED98&idCatM=PRODUTOS>]

Pode ser também utilizado manualmente – o grip tester manual – no entanto, esta versão é mais aconselhada, quando se pretende medir o atrito em zonas de difícil acesso.



Figura 41 – Grip Tester Manual

[Tecnilab Portugal SA, 2012. Disponível em:

<http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=GripTester&idContent=17945C26-82B0-4CD9-86BE-42E0FFC8D84A&idCatM=PRODUTOS>]

É a roda central que é responsável pela medição e esta tem a rotação retardada, funcionando com uma taxa de deslizamento controlada de 12 a 20%. O grip tester, quando é rebocado, pode atingir velocidades que podem chegar aos 130 km/h. (MASTRAD, 2008 *cit in* MELO, J., 2009; MENEZES, M., 2008; COUCHINHO, R., 2011)

O funcionamento do Grip Tester obedece ao princípio da roda travada com arrasto fixo, com forças horizontais e verticais, medidas constantemente, por tensiómetros (*strain gages*) e totalizadas a cada 10 ou 20 m.

Como já foi dito anteriormente, este equipamento necessita de ser rebocado por um outro veículo, sendo que este último é dotado de um reservatório de água, com

capacidade de 400 a 1000 litros e com um dispositivo de controlo de libertação da mesma. A água é proporcionalmente espalhada sobre a roda de teste para cada velocidade, de modo a garantir que a espessura da película de água seja de 0,25 mm para pavimentos rodoviários e 1 mm para pavimentos aeroportuários.

O grip tester é um equipamento com excelentes características para o estudo de materiais e para o estudo da segurança na circulação. A velocidade recomendada para os testes em estradas é de 50 km/h, o que significa um rendimento superior a 150 km/dia.

Antes de ser efectuada a avaliação é necessário proceder-se à verificação prévia do equipamento. Este procedimento é rápido e fácil, devendo estar a unidade de processamento de sinais ligada e o Grip Tester deve ser colocado com as rodas para cima. A verificação prévia consiste nos aspectos apresentados na tabela que se segue:

Tabela IX – Verificação prévia do Grip Tester
[Adaptado de COUCHINHO, R., 2011]

GRIP TESTER – VERIFICAÇÃO PRÉVIA – MODO DE ACTUAÇÃO -	
Alinhamento	• O eixo e a correia de transmissão devem formar um ângulo recto; • O dispositivo de saída água deve ser alinhado com a roda de teste e situar-se a 20 mm da superfície; • A roda dentada deve cobrir o sensor de proximidade.
Correia de Transmissão	• Verificar a tensão e lubrificação; • A correia deve fazer um movimento vertical de 25 a 40 mm no ponto médio entre os pneus; • Quando se procede à lubrificação, ter o cuidado de não derramar óleo, sobretudo na roda de teste.
Pneumáticos	• A pressão deve ser de 137, 8 kPa em todo o pneu; • Os pneus devem ser limpos, não devem conter óleos ou depósitos; • As ranhuras dos pneus devem ter, no mínimo, 2 mm de altura, nos pneus motrizes e 4 mm no pneu de teste.
Suspensão	• Verificar as condições das molas e dos amortecedores, que devem proporcionar um movimento suave, quando necessário.

Após a verificação prévia, coloca-se o equipamento na posição de teste e calibra-se o sistema de medição, empurrando seguidamente para a frente e para trás.

Segundo SOUZA *et al* (2005 *cit in* MELO, J., 2009; COUCHINHO, R., 2011), o pneu da roda de teste é normalizado, segundo a norma internacional ASTM E274-11 e BS 7941-2:2000.

Os valores médios são calculados e exibidos no monitor do computador, que se encontra a bordo do veículo que reboca o grip tester, a cada 10 m de levantamento, juntamente com os valores médios de velocidade desenvolvida por esse veículo rebocador. (SOUZA *et al* 2005 cit in MELO, J., 2009; COUCHINHO, R., 2011)

O coeficiente de atrito, para o grip tester é calculado pela expressão:

$$GN = \frac{F_v}{F_h}$$

Equação 17

Sendo:

- GN – Grip Number (Coeficiente de atrito – adimensional)
- F_v – Força Vertical (kgF)
- F_h – Força Horizontal (kgF)

O grip tester exibe valores que variam entre 0 e 1,2 GN, associados à velocidade de ensaio. Estabeleceu-se, então, a seguinte equação para os resultados serem padronizados de acordo com o IFI – *International Friction Index*.

$$IFI = F_{60} = 0,0821 + 0,9104 \times GN \times e^{0,15 - \frac{60}{S_p}}$$

Equação 18

Sendo:

- GN – Grip Number (Coeficiente de atrito – adimensional)
- S – Velocidade de ensaio
- S_p – Constante de velocidade de referência
- F_{60} – Valor do atrito à velocidade de 60 km/h

De um modo geral, pode dizer-se que as principais vantagens da utilização do Grip Tester são as seguintes:

- Baixo custo do equipamento – é um método mais económico que o SCRIM;
- As medições não são afectadas pela curvatura do pavimento;
- Robustez e facilidade de manutenção;

- Facilidade de repetibilidade de ensaios;
- Aplicabilidade a todas as classes de estradas;
- Reservatório de água com capacidade para 80 km de teste;
- Fácil obtenção dos dados;
- Correlação comprovada com SCRIM.



Figura 42 – Pormenor do Grip Tester
[HARVERSON, 2003 *cit in* COUCHINHO, R., 2011]

3.1.2.8 SFT – Surface Friction Tester

O SFT é um equipamento de medição contínua de atrito e que consiste num automóvel onde é montada uma quinta roda, roda de teste, que utiliza um pneu normalizado de acordo com a norma ASTM E1551. Na figura 43 é possível verificar a configuração do SFT.



Figura 43 – SFT - Surface Friction Tester
[Airport-technology. Disponível em: http://www.airport-technology.com/contractors/apron_clean/sarsys/sarsys2.html]

A roda de medição de atrito foi desenvolvida para operar com uma taxa de deslizamento entre 10 e os 12%. Esta, encontra-se ligada ao eixo traseiro do veículo, através de uma correia de transmissão, e sobre ela é gerada, através de uma mola e de um amortecedor, uma carga de 140 kg.

À semelhança de outros equipamentos de medição descritos acima, também o SFT contém um sistema de pulverização de água sobre a superfície da pista/pavimento. É um sistema constituído por um reservatório de água e um aspersor, montado imediatamente à frente da roda de teste. Este reservatório tem um volume suficiente para efectuar medições de mais de 6 km com um filme de água de 1 mm.

- 1 – Software
- 2 – Reservatório de água
- 3 – Sistema de medição computadorizado
- 4 – Unidade eléctrica
- 5 – Transmissor de binário
- 6 – Sensor de carga vertical
- 7 – Roda de teste
- 8 – Sistema hidráulico



Figura 44 – Elementos constituintes do SFT
[Airport Surface Friction Tester, 2011 cit in COUCHINHO, R., 2011]

3.1.2.9 OSCAR – Optimum Surface Contamination Analyser and Recorder

Este equipamento foi idealizado na Noruega e, também, é utilizado para medição do coeficiente de atrito longitudinal (CAL). O OSCAR utiliza um eixo de teste que leva a

roda, montada na parte de trás de um camião. Este equipamento avalia o atrito, podendo ter uma taxa de deslizamento variável, que pode ser definida entre os 3 e os 75%. (ROE, 2008 *cit in* MELO, J., 2009; COUCHINHO, R., 2011)

O eixo de teste, que pode ser elevado quando não está a efectuar medições, leva uma roda de teste à esquerda, com pneu liso normalizado, segundo a norma ASTM E-524-08. Esta roda de teste apresenta uma carga vertical de 4826 N. (COUCHINHO, R., 2011)

A roda direita mede a distância e a velocidade. Possui um sistema que ajusta automaticamente a força de travagem, o que vai manter o deslizamento desejado.

Este equipamento utiliza, também, um sistema de regulação de água, em que a espessura da película é, normalmente, de 0,5 mm. (ROE, 2008 *cit in* MELO, J., 2009)



Figura 45 – OSCAR
[TYROSAFE, 2008 *cit in* COUCHINHO, R., 2011]

3.1.2.10 RoadSTAR – Road Surface Tester of Arsenal Research

O RoadSTAR é um equipamento para medição do atrito longitudinal, composto por uma roda de teste, montada na parte traseira de um camião, previamente modificado, que também contém um depósito de água e o equipamento de controlo de dados. O seu funcionamento está padronizado pela norma ASTM E1859-11. (COUCHINHO, R., 2011)

No seu modo de funcionamento normal, este equipamento opera com uma roda do mesmo tamanho que a de um carro. O atrito pode ser medido com a roda bloqueada, com uma taxa de deslizamento fixa de 18% ou com outras medidas de comparação com a taxa de deslizamento variável a 37,5%, 50% e 75%. Podem efectuar-se medições, com

taxas de deslizamento diferentes, desde que seja usada uma caixa de engrenagem específica.

Este equipamento tem a particularidade de possuir, na frente da roda de teste, um sensor a laser, que serve para medir a macrotextura da superfície seca do pavimento. (MAURER, 2005 *cit in* MELO, J., 2009)

A roda de teste está localizada do lado direito do veículo, sendo o atrito medido na parte traseira do mesmo.



Figura 46 – Pormenor da roda de teste do RoadSTAR
[TYROSAFE, 2008 *cit in* COUCHINHO, R., 2011]

À semelhança dos outros equipamentos dinâmicos abordados, o RoadSTAR possui um regulador de fluxo de água, que molha a superfície do pavimento, imediatamente à frente da roda de teste, com uma espessura de película de água previamente definida, que normalmente varia entre 0,5 e 2 mm, sendo que a quantidade de água necessária é automaticamente ajustada para a velocidade de teste. (COUCHINHO, 2011)

O RoadSTAR funciona a uma velocidade de teste que pode chegar aos 120 Km horários, sendo que a velocidade padrão é de 60 Km/h, o que permite que se meça o atrito longitudinal em curvas, cujo raio é superior a 85 m. Se o raio da curva for inferior, então a velocidade de teste deverá ser reduzida. (COUCHINHO, 2011)



Figura 47 – Elementos constituintes do RoadSTAR
[TYROSAFE, 2008 *cit in* COUCHINHO, R., 2011]

- 1 – Roda de Teste
- 2 – Cilindro Pneumático
- 3 – Saída de água
- 4 – Sistema colector de água
- 5 – Caixa de Engrenagem
- 6 – Depósito de água
- 7 – Armazém de dispositivos
- 8 – Cabine do Motorista e Local de Aquisição de dados

As principais características funcionais, dos equipamentos de medição de atrito abordados, tais como a carga, o tipo de pneu, % de deslizamento, norma e a espessura da película de água, entre outras, foram resumidas e encontram-se nas tabelas seguintes.

Tabela X – Resumo dos equipamentos de medição de Atrito
[Adaptado de COUCHINHO, R., 2011]

Equipamento		Norma	Características
Portáteis	PÊNDULO BRITÂNICO	ASTM E303 - 08	Pêndulo padronizado com uma base de borracha Perda de energia é a medida de atrito Baixo custo e facilidade de operação Possibilidade de amostras em laboratório e pontos
	DYNAMIC FRICTION TRSTER	ASTM E1911-09	Três barras de borracha na parte inferior Gira com velocidade tangencial de 0 a 80 km/h Disco incide sobre a superfície do pavimento
Rodas Bloqueadas	ADHERA	ASTM E274-11	Actua no princípio de atrito longitudinal Roda de medição simula e investiga a travagem Opera com velocidades entre 40 e os 120 km/h
Rodas Oblíquas	MU-METER	ASTM E670-09	Medição a partir de roda alinhada diagonalmente Equipamento rebocado, constituído por três rodas
	SCRIM	BS 7941-1:2006	Sistema completamente auto-suficiente Ideal em pesquisas diárias de 200 a 300 km Velocidade de 40 a 120 km/h Película de água de 0,5 a 2mm
Rodas Parcialmente Bloqueadas	Deslizamento Fixo	ASTM E274-11	Robusto, compacto e leve Fácil de operar Roda central é a medidora
		BS 7941-2:2000	Medições a cada 10 ou 20m Película de água de 0,25 a 1 mm
	Deslizamento variável	ASTM E1551-08	Veículo automóvel Opera a uma taxa de deslizamento de 15% Filme de água de 1mm Velocidade de 95 km/h
		ASTM E524-08	Veículo automóvel Opera a uma taxa de deslizamento de 3 a 75% Filme de água de 0,5mm Carga vertical estática de 4826N
		ASTM E1859-11	Roda de teste na parte traseira Taxa de deslizamento de 18% ou variável Filme de água de 0,5 a 2mm Velocidade até 120 km/h Velocidade de 60 km/h para Raio > 85m Raio < 85m, reduzir velocidade operacional
		ASTM E2100-04	Reboque de três rodas Carga vertical de 1750 N Pode atingir os 140 km/h Deslizamento ente 15 e 20%

Tabela XI – Características funcionais dos equipamentos de medição de atrito abordados

Equipamento	Tipo de equipamento	Deslizamento [%]	Tipo de pneu	Carga [N]	Espessura película [mm]
SCRIM	Rodas oblíquas	20	ASTM E 670	1960	0,5 a 2,0
Mμ-meter	Rodas oblíquas	7,5 a 10	30 psi ASTM E670	761 ±9	1,0
IMAG	Roda bloqueada	15 a 20	AIPCR Smooth tire	1750	0,25 a 1,0
Adhera 2	Roda bloqueada	100	Car type wheel	2500	1,0
Grip tester	Deslizamento Fixo	12 a 20	20 psi ASTM E 1844	206	0,25 a 1,0
SFT	Deslizamento Fixo	10	30 psi ASTM E1551	890 ±9	1,0
Oscar	Deslizamento variável	3 a 75	-----	4826	0,5
RoadSTAR	Deslizamento variável	18	-----	2000 a 5000	0,5 a 2,0

3.2 PNEUS DE TESTE NORMALIZADOS

No que diz respeito à construção, os pneus dividem-se em dois tipos, diagonal e radial. A formação estrutural dos pneus influencia a velocidade em que se inicia o fenómeno de aquaplaning. Nas figuras seguintes são apresentadas a estrutura dos dois tipos de pneus, sendo que a primeira figura apresentada refere-se a um pneu diagonal, com as fibras colocadas perpendicularmente entre si e com um ângulo de 45° face ao eixo de circulação, e a segunda figura a um pneu radial, com fibras colocadas paralelamente entre si e perpendiculares ao eixo de circulação.

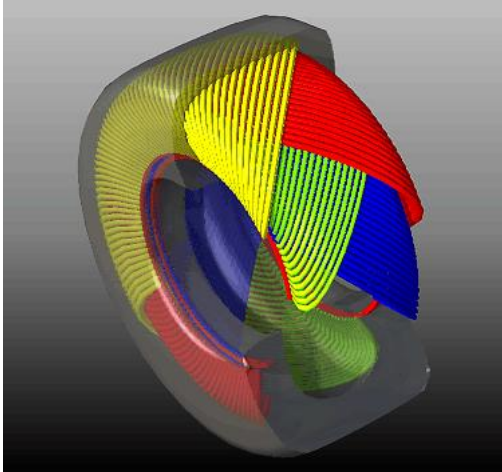


Figura 48 – Estrutura do pneu diagonal

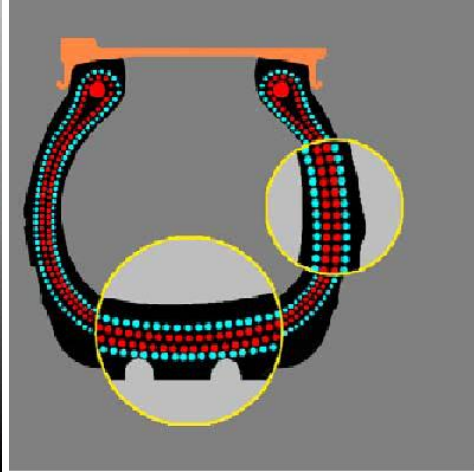


Figura 49 – Contacto pneu/pavimento - pneu

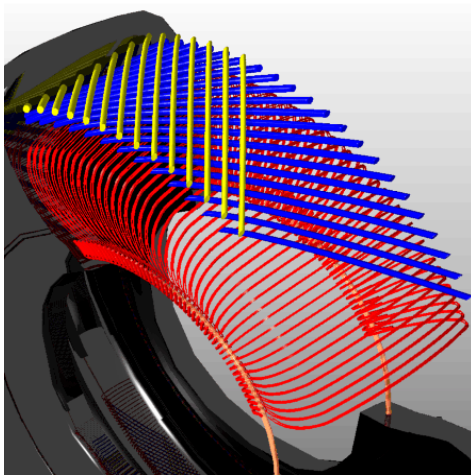


Figura 50 – Estrutura do pneu radial

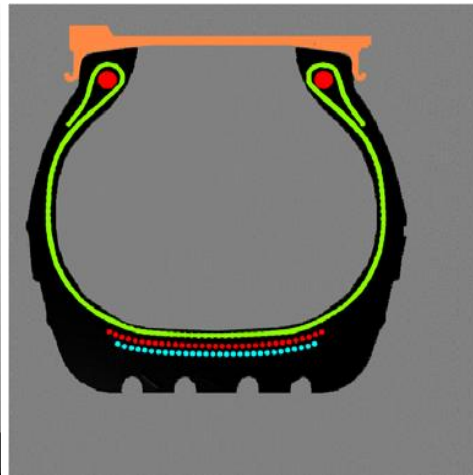


Figura 51 – Contacto pneu/pavimento - pneu

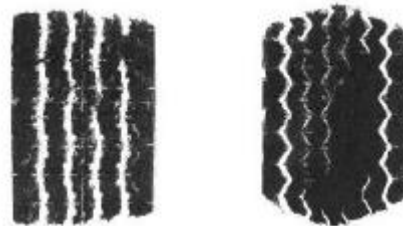


Figura 52 – Impressão de um pneu radial e de um pneu diagonal, respectivamente
[FILHO R. 2006]

No que respeita a pneus de teste, existem, também, uma série de opções já normalizadas, cujas características são também conhecidas.

Na figura 53 podem ver-se alguns dos tipos de pneus normalizados que são utilizados na avaliação do atrito superficial de pavimentos, pneus esses, com diferentes técnicas de construção, materiais, tipos de piso e diferentes raios.

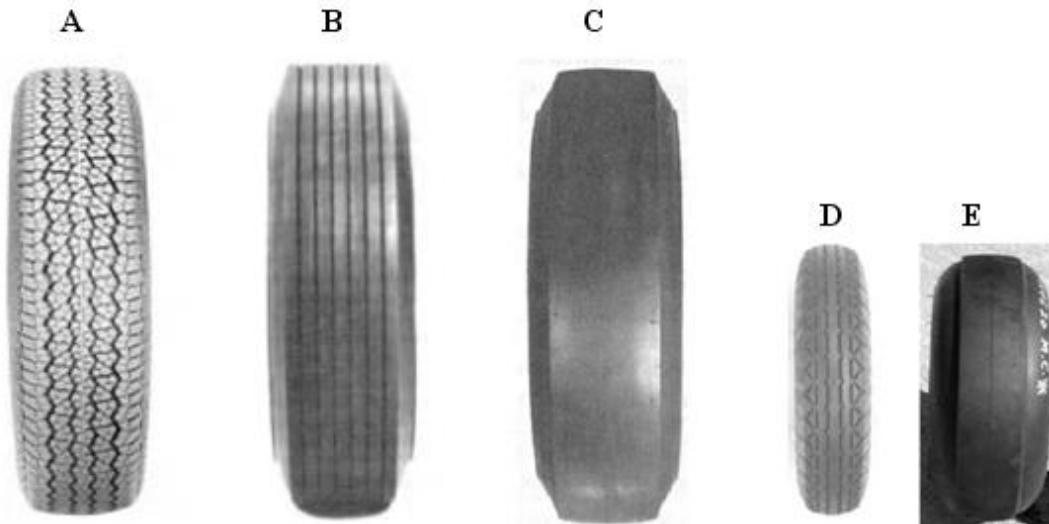


Figura 53 – Exemplo de pneus de teste normalizados.

- A) Patterned ASTM E1136 B) Ribbed ASTM E501 C) Smooth ASTM E524 D) Patterned T49 (Swedish standard friction test) E) Smooth ASTM 1844 (Grip tester)
[WALLMAN, C.; ÅSTRÖM, H., 2001]

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO PARA MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

Para o desenvolvimento deste protótipo, após uma análise dos tipos de equipamentos existentes no mercado, o desenvolvimento do protótipo recaiu num equipamento de escorregamento fixo com a configuração física do género da do Grip Tester ou IMAG (atrelado de 3 rodas).

Os equipamentos de escorregamento fixo são um dos métodos mais antigos e mais amplamente utilizados para as medições de atrito em superfícies, daí a escolha.

Todos equipamentos de escorregamento fixo, anteriormente apresentados, operam com o mesmo princípio de base, embora difiram em relação a vários parâmetros de concepção. A norma ASTM E2340 foi desenvolvida como um padrão geral de funcionamento, para descrever os fundamentos operacionais básicos e comuns de medições com este tipo de dispositivos. A norma ASTM E2340 descreve, ainda, os requisitos mínimos, dispositivos físicos e os procedimentos gerais de abordagem de medição. (EASA, 2010)

As características físicas dos diferentes equipamentos têm que se encontrar em conformidade com a norma, independentemente do fabricante do dispositivo. Como resultado, uma discussão mais geral, pode ser realizada sobre a harmonização possível de factores tais como: (a) a razão de escorregamento, (b) a carga, (c) princípio de concepção e do mecanismo de travagem, e (d) componentes normalizados tais como o pneu de teste.

As características relevantes no âmbito da engenharia, física e práticas relacionadas com a medição de atrito deste tipo de equipamentos encontrem descritas na secção subsequente.

4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Ao analisar os equipamentos anteriormente descritos, é possível concluir que o princípio de medição é praticamente o mesmo. Por regra, todos os equipamentos de medição atrito com escorregamento fixo operam sobre dois princípios:

- a) Pressionar uma roda de teste, equipada com um pneu normalizado, contra o pavimento;
- b) Mover o equipamento a uma velocidade constante, mas impedindo que a roda de teste rode livremente, provocando assim um escorregamento fixo. A roda de teste é pressionada contra o pavimento com uma carga normalizada constante e, ao mesmo tempo, o pneu de teste é arrastado pela superfície com a velocidade constante do veículo.

4.2 EFEITO DE ESCORREGAMENTO

O efeito de escorregamento pode ser obtido de duas maneiras:

Por meio mecânico – o escorregamento é obtido, uma vez que a roda dentada que se encontra solidária com eixo do atrelado e a roda dentada que se encontra solidária com o eixo da roda de teste, têm diâmetros diferentes. Como estas se encontram ligadas por uma correia/corrente, a roda dentada de dimensão inferior (solidária com o eixo da roda de teste) irá rodar a uma velocidade inferior à velocidade do atrelado, o que provocará o escorregamento da mesma.

Na figura abaixo é apresentado um esquema de um sistema de controlo de escorregamento mecânico.

A percentagem de escorregamento é controlada pela diferença entre os raios das rodas dentadas. Por exemplo para obter um efeito de escorregamento de 10% uma das rodas poderá ter 100 mm de diâmetro e a outra 10% menos ou seja 90 mm de diâmetro.



Figura 54 – Sistema mecânico do equipamento de medição de atrito com rodas parcialmente bloqueadas
[Adaptado de EASA, 2010]

Por meio hidráulico – usa um dispositivo hidráulico para bloquear a roda de teste provocando assim o escorregamento. Uma bomba hidráulica de alta pressão ou motor é acoplado ao eixo onde se encontra a roda de teste. A bomba ou motor ao serem accionados, irão servir como um travão que bloqueará e impedirá a roda de teste de rodar livremente.

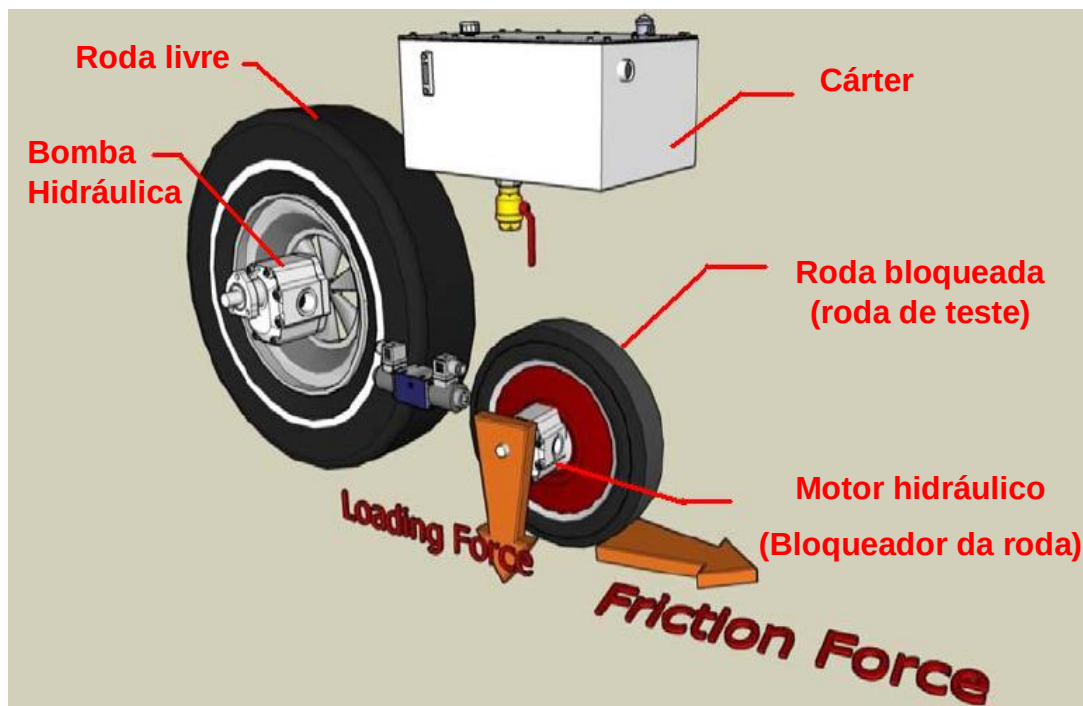


Figura 55 – Sistema hidráulico do equipamento de medição de atrito com rodas parcialmente bloqueadas
[Adaptado de EASA, 2010]

4.3 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO PROJECTADO

Neste desenvolvimento, por questões de facilidade de construção, e para evitar fornecimento de energia hidráulica externa, irá ser utilizado para a obtenção do efeito de escorregamento um sistema mecânico.

Nos sistemas mecânicos de controlo de taxa de escorregamento, as rodas dentadas onde vai engrenar a correia que solicita a célula de carga, têm diâmetros diferentes. Como a correia está pré-traccionada, e, conseqüentemente, a célula de carga tem uma pré-carga, a velocidade em cada um dos seus pontos, v_c , é naturalmente a mesma. Como é sabido,

$$v = \omega \times r$$

Equação 19

Assim sendo como a velocidade tangencial nas rodas traseira e dianteira, v_{tt} e v_{td} , tende a ser sempre a mesma, a roda dentada de menor diâmetro (menor número de dentes), - roda de teste – tem uma velocidade de rotação ω_t superior a ω_d ,

$$v_c = v_{tt} = v_{td}$$

Equação 20

Assim sendo, como

$$r_d > r_t$$

Equação 21

$$\omega_d < \omega_t$$

Equação 22

Como cada roda dentada se encontra interligada com os respectivos pneus, a velocidade de rotação em cada conjunto é a mesma.

Como os pneus das 3 rodas têm o mesmo diâmetro nominal, a velocidade tangencial é superior no pneu solidário com a roda dentada menor – roda de teste – ou seja, o pneu de teste encontra-se em rolamento com escorregamento, onde a velocidade de escorregamento, v_{esc} , pode ser calculada da seguinte maneira:

$$v_{esc} = (\omega_t - \omega_d) \times r$$

Equação 23

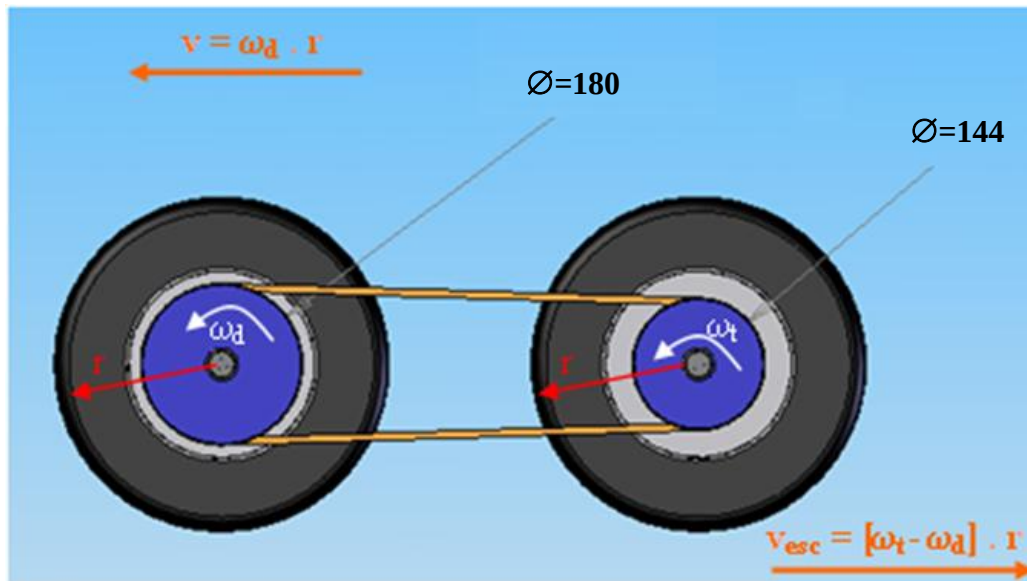


Figura 56 – Esquema representativo da velocidade de escorregamento

Este escorregamento da roda de teste vai aumentar a tracção da correia, que se encontra instrumentada com uma célula de carga, que registrará esse aumento da força.

Assim sendo, a $F_{\text{célula de carga}}$ – pré carga da correia transmissora – após o início do teste passará a valer $(F + \Delta F)_{\text{célula de carga}}$, valor que possibilita a determinação do coeficiente de atrito μ_s . O ΔF , registado na célula de carga deve-se, como é natural, ao facto da roda de teste não rodar livremente e se encontrar com um escorregamento de 20%.

Utilizou-se a taxa de escorregamento de 20% dado que é no intervalo entre os 15 e os 20% que se atinge o coeficiente de atrito máximo, conforme foi descrito no ponto 2.3.1 deste trabalho. Assim, o equipamento projectado irá avaliar o atrito numa condição de condução estável, dado que acima desta taxa de deslizamento a estabilidade da condução já não se verifica.

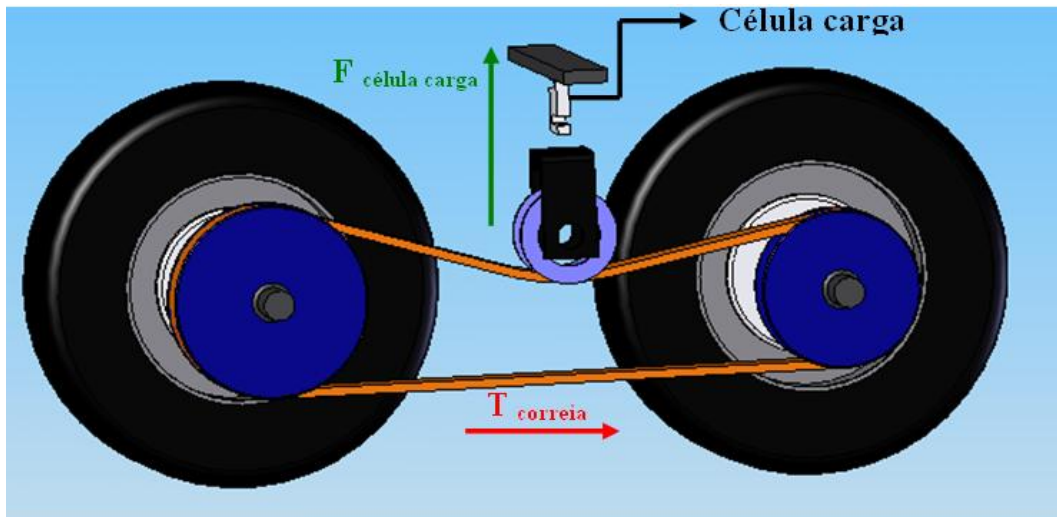


Figura 57 – Pré carga registada pela célula de carga devido à tensão da correia transmissora

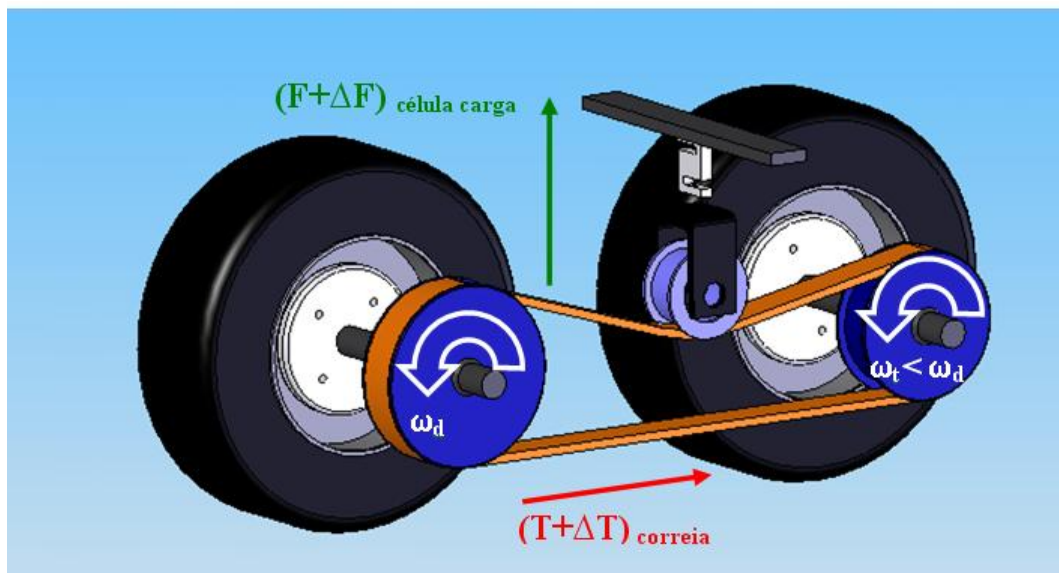


Figura 58 – Aumento da solicitação da célula de carga devido ao escorregamento da roda de teste.

Para instrumentar a correia de transmissão irá ser utilizada uma célula de carga, tal como já descrito anteriormente, da marca FUTEK®.

O valor da força registado pela célula de carga, irá possibilitar o cálculo do coeficiente de atrito, através da seguinte expressão:

$$FFT_N = \frac{F_v}{F_h}$$

Equação 24

Sendo:

- FFT_N – FEUP FRICTION TESTER number (Coeficiente de atrito - adimensional)
- F_v – Força Vertical
- F_h – Força Horizontal



Figura 59 – Célula de carga que irá ser utilizada para instrumentar a correia
[FUTEK, 2012. Disponível em: <http://www.futek.com/product.aspx?stock=FSH00958>]

4.4 MODELAÇÃO 3D DO EQUIPAMENTO

4.4.1 Modelação da estrutura do atrelado

Em termos de design do equipamento, a solução adoptada encontra-se em consonância com equipamentos já existentes no mercado (Grip Tester, IMAG, entre outros). Trata-se de um atrelado com 3 rodas. Que se encontram acopladas à estrutura, através de um sistema de chumaceira/veio/cubo.

A estrutura é produzida em perfil normalizado de UNP 65 que conferirá a rigidez estrutural necessária ao atrelado.

Nas figuras 60 e 61 é possível verificar a configuração do equipamento projectado.

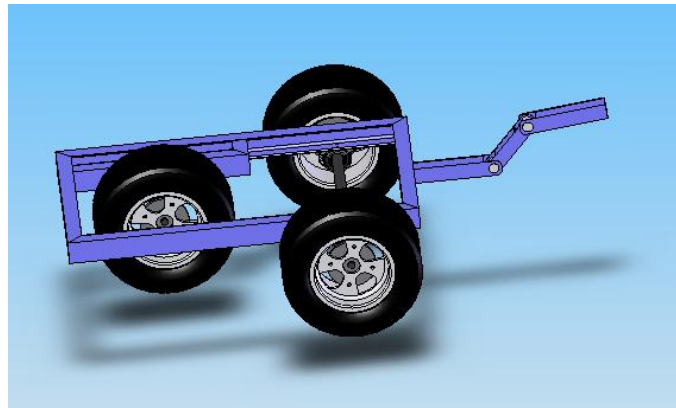


Figura 60 – Desenho SolidWorks® da estrutura do atrelado

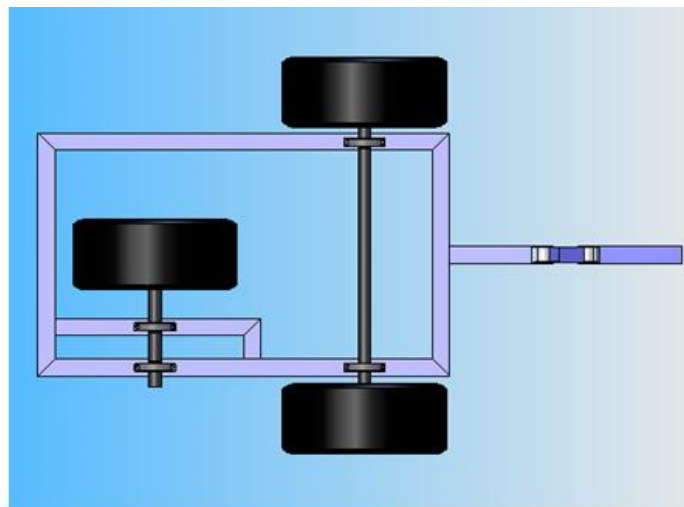


Figura 61 – Vista inferior da estrutura do atrelado

4.4.2 Sistema mecânico de controlo de escorregamento

Tal como já foi referido anteriormente, para evitar fornecimento de energia hidráulica externa, o escorregamento é obtido, uma vez que as rodas dentadas, onde engrena a correia que solicita a célula de carga e as rodas dentadas do atrelado, têm diâmetros diferentes.

Na figura abaixo é possível verificar a ligação entre a roda dentada solidária com o eixo da roda de teste e a roda dentada solidária com o eixo das rodas do atrelado.

É possível variar o regime de escorregamento bastando para isso substituir a roda dentada solidária com o eixo da roda de teste por uma de dimensões superiores ou inferiores, caso se pretenda um escorregamento inferior ou superior, respectivamente.

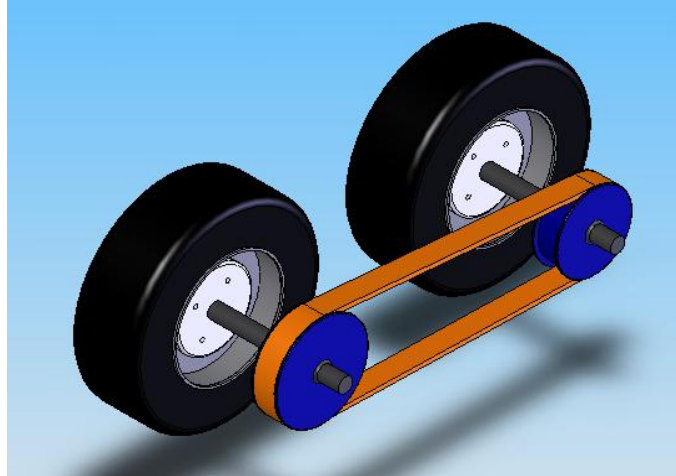


Figura 62 – Esquema representativo do acoplamento entre a roda de teste e as rodas do atrelado

4.4.3 Pneu de teste

No que se refere aos pneus de teste, existem, no mercado, uma série de opções normalizadas, com características construtivas e dimensões definidas.

O pneu de teste a utilizar neste protótipo será do tipo liso (smooth tread tire) de acordo com a norma ASTM E1551-93A.

Dimensões do pneu de teste:

- Largura do piso: $61,0 \pm 2,5$ [mm]
- Raio do pneu: $254,0 \pm 38,0$ [mm]
- Pressão de enchimento: $30 \pm 0,5$ [psi]



Figura 63 – Pneu de teste ASTM E1551-93 E a utilizar no protótipo
[Adaptado de EASA, 2010]

No anexo 1 é possível consultar a norma ASTM E1551-93 A, onde se encontram definidos todos os requisitos, aplicabilidade, parâmetros procedimentos a ter aquando da utilização deste tipo de pneus.

4.4.4 Sistema de aspersão de água

Tendo em conta que, a partir do momento que um pavimento está molhado o atrito decresce rapidamente, e tentando simular as condições mais desfavoráveis, é lançada uma lâmina de água à frente da roda de medição e, sobre o pavimento, geralmente com uma espessura entre os 0,25 e 1,00 mm, sendo regulada electronicamente por uma válvula motorizada, v_1 , e um dispositivo de medição de caudal, que tem em consideração a velocidade do veículo.

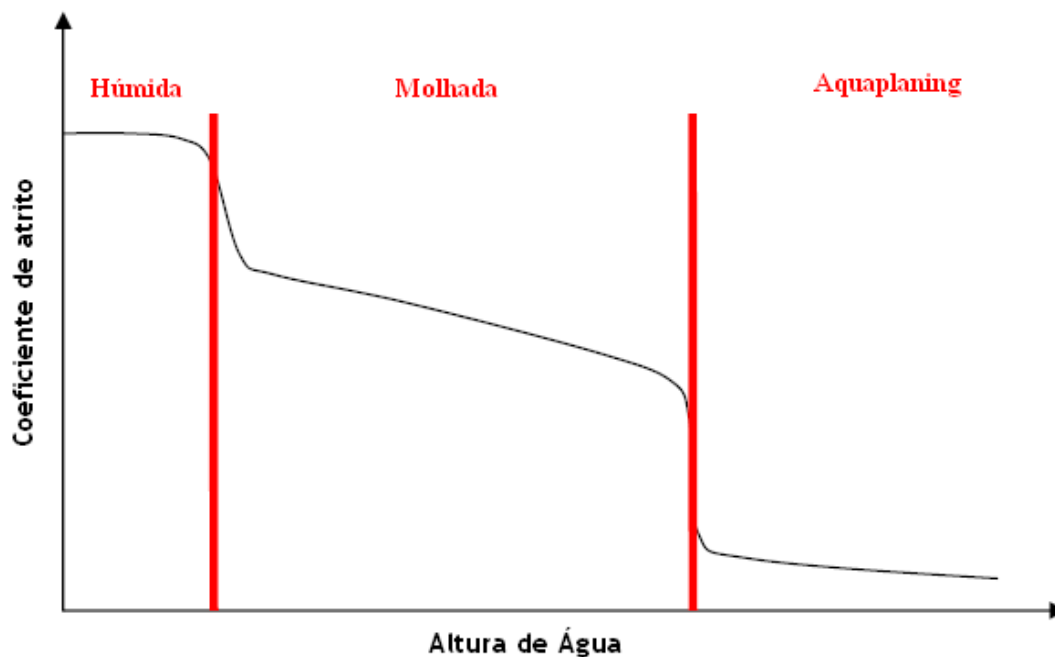


Figura 64 – Efeito da altura da lâmina lubrificante nos valores do coeficiente de atrito obtidos

[Adaptado de EASA, 2010]

A figura 65 representa o esquema hidráulico de funcional do sistema de aspersão que assegura a película lubrificante, entre o pneu de teste e o pavimento.

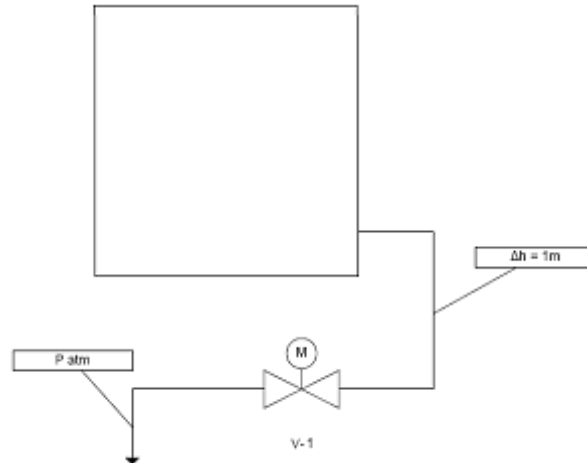


Figura 65 – Esquema hidráulico do sistema de aspersão de água

O caudal da válvula é obtido pela expressão:

$$Q = (m_{\theta} + b) = C_d \times K_{\theta} \theta \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

Equação 25

Sendo que:

- $m_{\theta} + b$ é a função obtida por aproximação aos gráficos fornecidos pelo construtor da válvula, obtendo-se um caudal em função de um ângulo de abertura. A válvula V1 tem Kvs 1,1 m³/h;
- (Kvs é o caudal libertado quando a válvula tem a abertura no máximo);
- C_d é o coeficiente associado às perdas de caudal na válvula;
- K_{θ} é o ganho associado á área de abertura da válvula;
- θ é o ângulo de abertura da válvula.

Dinâmica da válvula:

Equação diferencial da válvula que relaciona a abertura da mesma, $\theta(t)$ acrescida da constante de tempo T em função de U (t).

Ganho da válvula:

$$U(T) = T \frac{\partial \theta}{\partial t} + \theta(t)$$

Equação 26

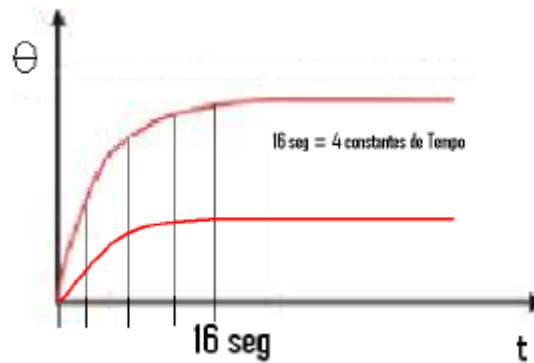


Figura 66 – Comportamento da válvula

16 s = 4 constantes de tempo , tempo de resposta da válvula independentemente do ângulo de abertura.

$$T = \frac{16}{4} = 4s$$

Equação 27

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{U(t) - \theta(t)}{T}$$

Equação 28

A tensão de alimentação do motor que regula a válvula irá estar relacionada com velocidade do veículo, para garantir uma espessura de filme lubrificante entre os 0,25 e 1,00 mm.

O reservatório de água utilizado irá ficar localizado no veículo tractor e será um do género do que encontra na figura 67.



Figura 67 – Tanque de água a utilizar - IBC Capacidade 1000 litros.

[KAISER + KRAFT. Disponível em:

<http://www.kaiserkraft.pt/shop/product/M8617/Tanque+de+transporte+e+armazenagem+sobre+palete+de+pl%C3%A1stico.html>]

No que diz respeito ao reservatório de água, trata de uma solução de utilização comum, com dimensões normalizadas e que é facilmente adquirível no mercado.

O equipamento de aspersão possui um bocal direccionado para a roda de teste que irá garantir que toda a superfície do pneu é molhada durante o teste. Na figura abaixo é possível ver a configuração do bocal que foi modelado.

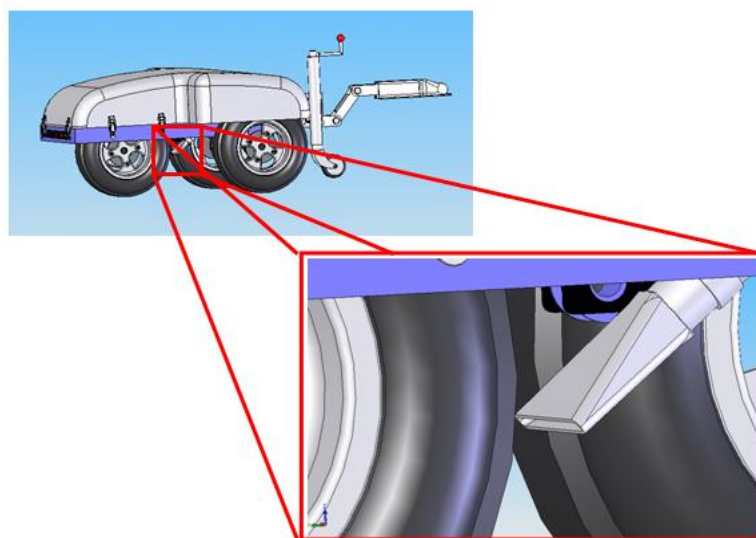


Figura 68 – Detalhe do bocal do sistema aspersão de água

4.4.5 Modelação do sistema de acoplamento atrelado/tractor

Após um estudo dos equipamentos existentes no mercado, verificou-se que o sistema de acoplamento não pode ser rígido, uma vez que ao efectuar as medições em cenário real, o pavimento muitas vezes apresenta irregularidades (lombas, fendas, marcas no pavimento) e, caso a ligação entre o atrelado e o veículo tractor não fosse articulada, estas seriam suficientes para influenciar os resultados. Na figura abaixo é possível verificar a solução desenvolvida na tentativa de minimizar este efeito. A peça de acoplamento projectada permite uma translação vertical do atrelado de teste em separado da translação vertical sofrida pelo veículo tractor.

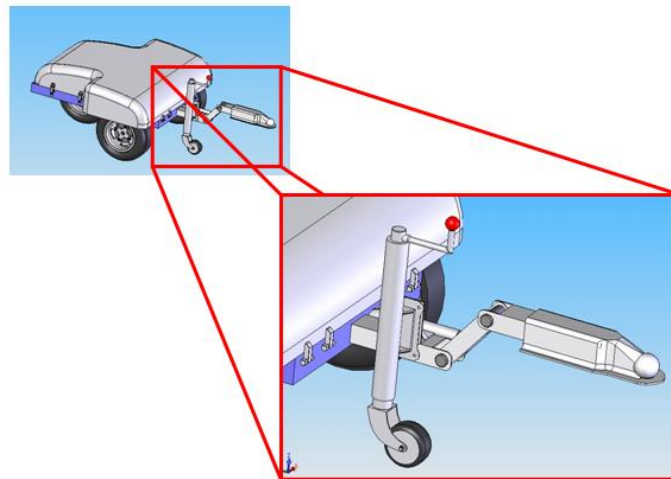


Figura 69 – Sistema de acoplamento entre atrelado e veículo tractor

A peça de acoplamento trata-se de um conjunto de duas rótulas planas, que irão ser produzidas em perfil quadrangular de 40mm. Nas extremidades do perfil irão ser efectuados furos de diâmetro 30 mm, para serem introduzidas cavilhas, que possibilitarão a rotação pretendida. A fixação das cavilhas irá ser feita com o recurso a anéis elásticos.

A solução desenvolvida para a ligação entre o atrelado e o veículo tractor é idêntica à utilizada pelo IMAG como se evidencia na figura 70.

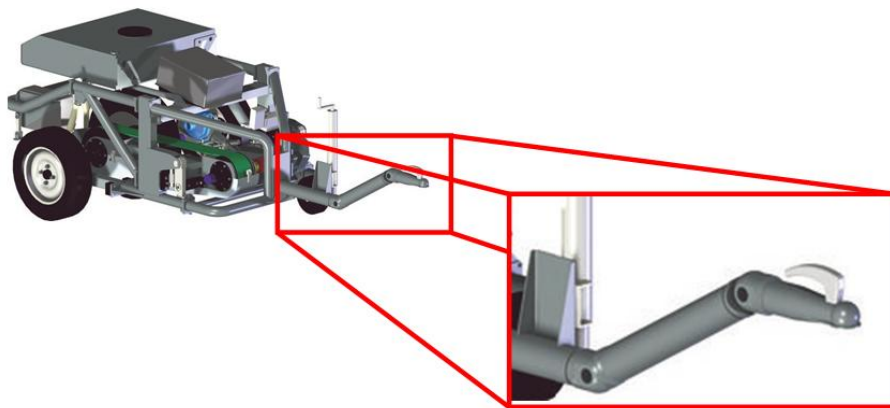


Figura 70 – Pormenor do acoplamento entre atrelado e veículo tractor do equipamento IMAG
[Adapatado de VECTRA, 2010. Disponível em:
http://www.vectra.fr/export/sites/default/fr/_data/documents/IMAG_FR.pdf]

Na extremidade irá ser aparafusado um sistema de gancho/bola de reboque que irá possibilitar a utilização do equipamento de teste em curva uma vez que com esta ligação torna-se também possível a rotação do atrelado.

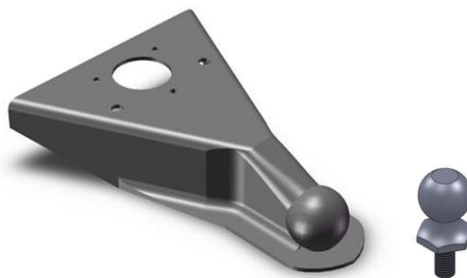


Figura 71 – Sistema de acoplamento Gancho/Bola de reboque

5 FFT – FEUP FRICTION TESTER

O FFT é um equipamento de medição de atrito em superfícies planas projectado para trabalhar 24 horas por dia, com a flexibilidade de fazer medições rapidamente, e exibir os resultados de imediato. As inspecções a seco podem ser feitas com o uso de um veículo convencional, enquanto que as inspecções com o sistema de aspersão de água são efectuadas com um veículo tractor que carrega um tanque de água (IBC). Este tanque de água tem a capacidade de 1000 litros (figura abaixo) e um sistema de aspersão que assegura o filme lubrificante, entre a roda de teste do FFT e o pavimento.

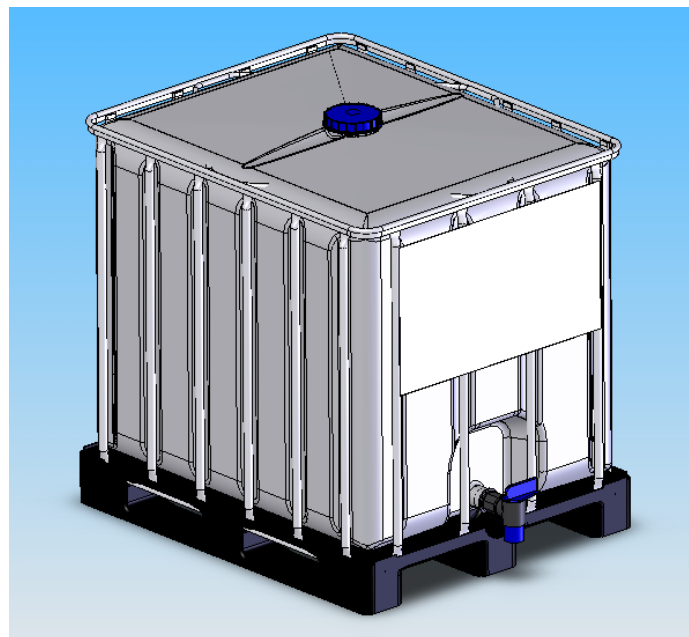


Figura 72 – IBC 1000 litros

O coeficiente de atrito é calculado através dos valores da força registados pela célula de carga, sendo estes armazenados num computador e mostrados num monitor montado na cabine do veículo tractor.

Os arquivos de medição ficam registados para posterior utilização, para acompanhar o desgaste do pavimento e gerir sua manutenção. Estes registos podem, ainda, ser utilizados para atestar as condições de segurança dos pavimentos.

O veículo tractor trata-se de uma montagem sólida que permite que o trabalho com o equipamento seja efectuado por um só operador. O veículo tem capacidade de rebocar e transportar o medidor de atrito por estradas pavimentadas, aeroportos, parques de estacionamento, etc. Durante a operação de medição, o veículo tractor tem capacidade para transportar também o reservatório de água que irá alimentar o sistema de aspersão do FFT, permitindo a inspecção, conforme a norma ASTM E2340 e os requisitos que, normalmente, são pedidos nos cadernos de encargos das obras públicas. Abaixo é possível verificar um excerto de um caderno de encargos em que a medição do coeficiente de atrito é exigida no final da obra.

A caracterização da textura superficial do pavimento será realizada após conclusão de todos os trabalhos no pavimento, sendo o relatório entregue antes da recepção provisória da obra. Deste relatório deverá constar, para além dos resultados dos ensaios em contínuo, os resultados dos ensaios de mancha de areia, bem como a correlação entre estes dois tipos de resultados.

Caracterização do coeficiente de atrito da camada de desgaste - Deverá ser efectuada uma campanha de medição do coeficiente de atrito em contínuo, com piso molhado, ao longo da rodeira externa de cada uma das vias construídas. Esta medição deverá ser efectuada em contínuo, recorrendo preferencialmente a equipamentos tipo SCRIM. Admite-se no entanto o recurso a outros tipos de equipamentos para medição do coeficiente de atrito em contínuo, tais como:

- Outros equipamentos que efectuem a medição do coeficiente de atrito transversal através de roca(s) oblíqua(s), para além do SCRIM;
- Equipamentos que efectuem a medição do coeficiente de atrito longitudinal através de roda parcialmente bloqueada.

Em qualquer dos casos, os equipamentos a utilizar deverão ser munidos de sistema de rega automática, por forma a garantir uma película de água uniforme sobre a superfície ensaiada, devendo ainda, o adjudicatário apresentar correlações comprovadas entre os resultados obtidos com o equipamento utilizado e com o SCRIM, no caso de se utilizarem equipamentos distintos deste. Toma-se como condições de ensaio de referência uma velocidade de 60 km/h e uma película de água de 0,5 mm, podendo ser necessário utilizar condições distintas conforme o equipamento utilizado.

Empreitada de "Estrada Municipal 523 – Ligação Reguengos/Perolivas

 Campo d'Água
Engenharia e Gestão, Lda.

Figura 73 – Excerto do caderno de encargos do projecto de execução da estrada municipal 523 – ligação Reguengos/Perolivas
[MUNICÍPIO DE REGUENGOS DE MONSARAZ, 2009]

Na figura que se segue é possível verificar a dimensão do FFT, quando comparado com o veículo tractor. A figura pretende, também, mostrar a configuração do FFT (veículo tractor/reservatório/atrelado).



Figura 74 – Configuração do FFT – veículo tractor/IBC/atrelado FFT

Com a capacidade do reservatório de água, 1000 litros, admitindo que a válvula esta aberta na totalidade ($1,1\text{m}^3/\text{h}$), o equipamento tem uma autonomia de 54km se o teste for realizado uma velocidade de 60 km/h.

A medição é feita por um só operador, que conduz o veículo, e que facilmente inicia o processo de medição do atrito, activando a célula de carga.

O sistema de aspersão é feito em material anti-corrosão, apostando-se assim na durabilidade do equipamento. O reservatório de água é produzido em polietileno (PE-HD) estabilizado por UV. A tubagem é em PVC industrial (figura abaixo), as válvulas e conexões são todas em polipropileno e a grade do reservatório em aço galvanizado, garantindo uma montagem sólida e duradoura.

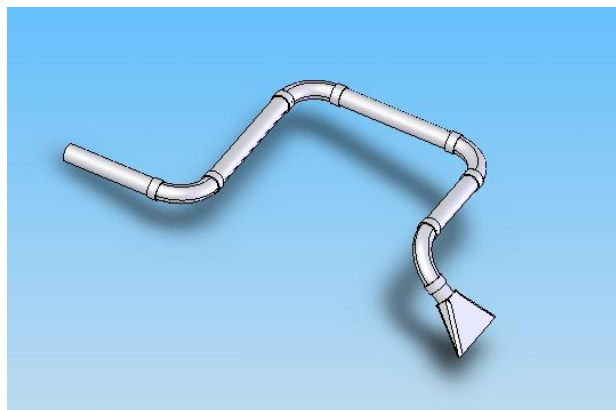


Figura 75 – Tubagem do sistema de espargimento

Como se pode verificar na figura 76, o atrelado FFT encontra-se sinalizado com luzes de presença, luzes de travão e luzes indicadoras de mudança de direcção. Desta forma o teste de medição de atrito pode ser efectuado na via pública, sem que seja necessário proceder ao corte da via, o que se afigura como uma mais-valia.

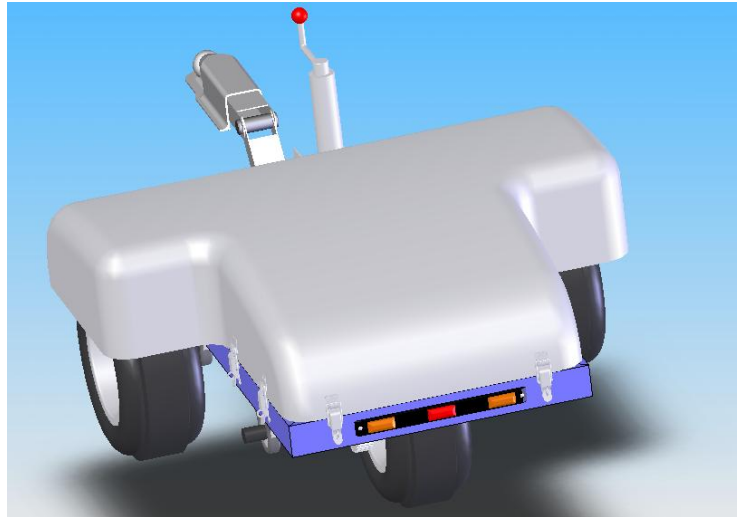


Figura 76 – Sistema de sinalização do FFT

Para evitar que o levantamento de água, decorrente da realização do teste causasse perturbação no fluxo de trânsito, foi modelada uma “carnagem” para cobrir o atrelado. Assim, evita-se o efeito de spray, protegendo os veículos que circulam à retaguarda do FFT.

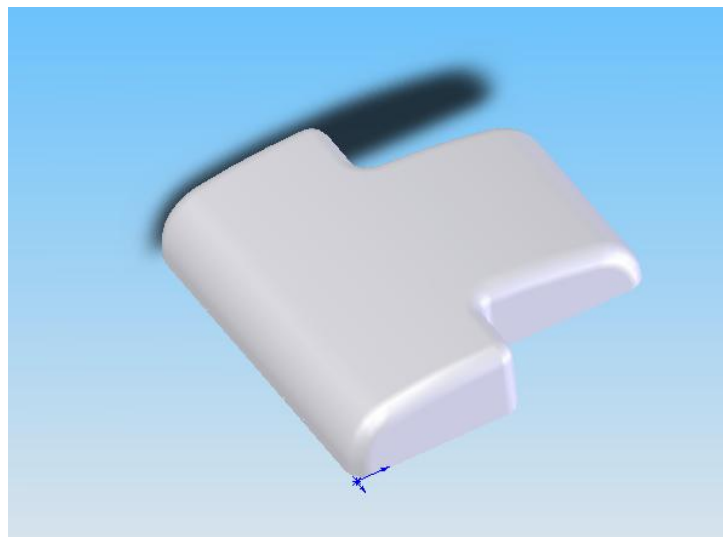


Figura 77 – Cobertura do atrelado FFT

A cobertura irá ser produzida em resina epóxica de exterior e fibra de vidro, sendo posteriormente pintada.

O atrelado irá ter as seguintes dimensões:

- **Comprimento:** 1010mm;
- **Largura:** 1000mm;
- **Altura:** 520 mm;
- **Pneu de medição:** 254mm (10”) - ASTM E1551-93^a Smooth Tread Tire;
- **Pneus do atrelado:** 254mm (10”);
- **Peso estimado:** 70 kg

$$— P_{\text{estrutura}} = 3,8 \times 7,09 = 26,94 \text{kg}$$

$$— P_{\text{carnagem}} = 2 \text{kg}$$

$$— P_{\text{lastro}} = 20 \text{kg}$$

$$— P_{\text{rodas}} = 10 \text{kg}$$

$$— P_{\text{acessorios}} = 2 \text{kg}$$

$$— P_{\text{barra_célula de carga}} = 7 \text{kg}$$

$$— P_{\text{sistema de aspersão}} = 2 \text{kg}$$

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

O atrito de um pavimento deve ser avaliado em relação às suas características de textura, ou seja, macrotextura e microtextura. A fixação do atrito de um revestimento deve levar em conta a aderência pneus/pavimento, uma vez que a aderência possui um sentido mais amplo, ponderando-se ainda os riscos de aquaplaning dinâmico e viscoso.

A espessura da lâmina de água desempenha um papel fundamental na avaliação da aderência pneu/pavimento e, consequentemente nos valores de atrito. Dependendo do índice pluviométrico da região, os valores de atrito variam, tendo em conta as diferentes espessuras de água sobre o pavimento.

O coeficiente de atrito é o parâmetro usado para calcular a aderência entre o pneu e o pavimento, sendo que é evolutivo no tempo em função de alguns factores, uns da responsabilidade do condutor, como a velocidade de condução e o estado dos pneus e outros que dizem respeito às características do pavimento, nomeadamente o tipo e o estado. (PINTO, 2003 *cit in* COUCHINHO, R., 2011)

No que respeita ao pavimento, as condições que têm mais influência nos valores medidos do coeficiente de atrito têm que ver com o desgaste dos agregados devido à acção dos pneus, a libertação de limos na superfície da camada de desgaste e com o aparecimento de fendas, que provocam a acumulação de água e, consequentemente, o aquaplaning. (COUCHINHO, R., 2011)

Normalmente o atrito é avaliado em pavimentos molhados, isto porque, grande parte das camadas de desgaste utilizadas, apresentam bons níveis de resistência à derrapagem em piso seco. Quando o pavimento se encontra molhado, a água existente vai actuar como lubrificante entre o pneu e o pavimento, tornando difícil controlar o veículo. Daí

todos os equipamentos descritos possuem um sistema de libertação de água para simular este efeito.

Segundo MENEZES, M. (2008), o atrito da superfície de um pavimento pode ser avaliado com recurso a dois parâmetros, o coeficiente de atrito longitudinal e o coeficiente de atrito transversal.

O coeficiente de atrito longitudinal interessa, principalmente, à distância de paragem, enquanto que o coeficiente de atrito transversal avalia a segurança de circulação em curvas. (PEREIRA e MIRANDA, 1999 *cit in* MENEZES, M., 2008)

A medição do atrito é, normalmente, realizada, com recurso a equipamentos específicos, de acordo com condições padrão e pode ser dividido em três métodos: medição do atrito pontualmente, sem utilização de pneu, medição do atrito longitudinal com o pneu bloqueado e medição do atrito transversal, com o pneu livre. (FERNANDES, C., 2010)

De acordo com a bibliografia consultada, verificou-se que o coeficiente de atrito de deslizamento máximo, ocorre numa intervalo de taxa de deslizamento entre os 15 e os 20%. De salientar que acima dos 20%, o veículo tende a apresentar-se instável, havendo uma diminuição de atrito até à condição conhecida como coeficiente de atrito de deslizamento puro (μ_D), em que a roda é totalmente bloqueada, fazendo com que o veículo derrape.

Atendendo a este pressuposto, o equipamento projectado irá efectuar a medição com um escorregamento de 20%.

Ao analisar o funcionamento dos diversos equipamentos existentes com a configuração do equipamento projectado, verificou-se que a ligação entre o atrelado e o veículo tractor, sob pena de obtenção de resultados erróneos, não pode ser rígida. Por essa razão, desenvolveu-se uma ligação articulada, de modo a que as oscilações sentidas no veículo tractor, devido às irregularidades da superfície do pavimento, sejam minimizadas no equipamento.

Um trabalho futuro poderá passar pela produção do protótipo do FFT e pela avaliação de alguns lanços de auto-estrada e/ou pistas de aeroporto.

7 REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

40ª RAPv - REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, RIO DE JANEIRO, 2010 – *Avaliação do Coeficiente de Atrito Utilizado no Cálculo da Distância de Visibilidade de Parada em Relação à Textura do Pavimento*. Brasil [em linha] RAPv, 2010 [consultado a 5 de março de 2012] Disponível em WWW: <URL: <http://dc239.4shared.com/doc/wAgkMGcd/preview.html>>

ALVES, Teresa Sofia Figueiredo – *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários – Aplicação Prática do Radar de Prospeção e do Deflectómetro*. Lisboa: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2007. Dissertação de Mestrado

APS, Márcia – *Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Tese de Doutoramento

BRASTAN – *Equipamentos para ferrovia e infra-estrutura – DOUGLAS MUMETER MARK IV E MOLHADOR – REV-02.DOC*. BRASTAN, 2012 [consultado a 13 de Maio de 2012] Disponível em WWW: <URL: <http://www.brastan.com.br/prod.php>>

COUCHINHO, Rui Pedro dos Santos – *Medição do Coeficiente de Atrito da Superfície de Pavimentos – Estudo do Grip Tester*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Área Departamental de Engenharia Civil, 2011. Dissertação de Mestrado

DUARTE, João Pedro Sousa – *Avaliação do coeficiente de Atrito em Aeroportos Portugueses*. Lisboa: Instituto Superior Politécnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Dissertação de Mestrado

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY (EASA) RuFAB – *Runway friction characteristics measurement and aircraft braking*. Volume 3 - Functional friction. European Aviation Safety Agency, 2010

FERNANDES, Cristina Isabel C.S.H. – *Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários – Caracterização e Aplicabilidade*. Lisboa: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Dissertação de Mestrado

FILHO, Oswaldo Sansone Rodrigues – *Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas*. São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Dissertação de Mestrado

LABORATORIO PONTI E STRADE, Itália, 2006 – *Adhera 2 - Road pavement skid measurement*; [em linha] LABORATORIO PONTI E STRADE, 2006. [Consultado em 31 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <http://www.pontiestrade.com/strumenti/adhera2.php>.>

LNEC – LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, Lisboa, 2005 – *Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários*; [em linha] LNEC, 2008, atualizado a 11 de maio de 2012. [Consultado em 16 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <http://www.lnec.pt/search?SearchableText=Conserva%C3%A7%C3%A3o+e+Reabilita%C3%A7%C3%A3o+de+Pavimentos+Rodovi%C3%A1rios>>

LUGÃO, Wilson Gandini – *Análise da Aderência entre Pneu e Pavimento com camada porosa de atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves*, MG. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2008- Tese de Pós-graduação para obtenção do título de *Doctor Scientiae*

MELO, João Victor Staub – *Equipamentos de Medição do Coeficiente de atrito Pneu/Pavimento*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

MENEZES, Miguel Vaz Preto – *Estudo das Características de Superfícies de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego*. Lisboa, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado

NIPPO SANGYO CO., Ltd – *Product Guide – Dynamic Friction Tester*. [em linha] NIPPO SANGYO CO., Ltd., Tokyo, 2011. [Consultado a 12 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.nippou.com/en/products/dft.html>>

SANTOS, Adriana Paula da Silva – *Estudo da Eficácia na Redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes*. Guimarães: Universidade do Minho: Escola de Engenharia, 2007. Dissertação de Mestrado

SANTOS, Edimar de Lima – *Análise Histórica da Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004. Trabalho de Graduação

SEMINÁRIO GESTÃO DA SEGURANÇA E DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REDES RODOVIÁRIAS E AEROPORTUÁRIAS, Lisboa/LNEC, 2008 - *Pavimentos Aeroportuários Implementação e Métodos de Inspeção e Ensaio - “Caracterização e Reabilitação de Pavimentos Aeroportuários”*; [em linha] CRP – Centro Rodoviário Português, 2008, atualizado a 24 de março de 2011. [Consultado em 16 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <URL: http://www.crp.pt/docs/A23S83-23_EduardoFung_Project_Aerop.pdf>

SILVA, João Paulo Souza – *Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários*. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, 2008. Dissertação de Mestrado

SOARES, André Filipe dos Santos – *Análise da ocorrência de Hidroplanagem num caso real*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011. Dissertação de Mestrado

UENO, Óscar Khoiti – *Avaliação Metrológica de um Sistema de Medição do Coeficiente de Atrito em pisos cerâmicos*. Florianópolis – Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Dissertação de Mestrado

V JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS. *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários – avaliação de aderência*. [em linha] ANDIT, 2006. [consultado a 13 de Maio de 2012] Disponível em WWW: <URL: http://www.andit.org.br/vjornada/jornadas_relacao_artigos1.htm>

VECTRA ESTEIO RODOVIAS – IMAG – Instrumento de Medição Automática de Aderência. [em linha] VER, Brasil, 2011. [Consultado a 12 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.vectra-esteio.com.br/imag.html>>

VI SEMINÁRIO ALACPA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS, São Paulo – Brasil, 2009 – *Medição de atrito e remoção de borracha das pistas do aeroporto internacional de São Paulo/Guarulhos*, Brasil; [em linha] ALACPA, 2007-2010. [Consultado em 16 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <URL:http://www.alacpa.org/index_archivos/Page483.htm.>

VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e IV ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO – *Determinação do coeficiente de atrito para interface plástico-madeira em plano inclinado*. [em linha] Universidade do Vale do Paraíba, 2004 [Consultado a 10 de abril de 2012]. Disponível em WWW: <URL: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/1.htm>

WALLMAN, C.; ÅSTRÖM, H. – *Friction Measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety*. Swedish National Road and Transport Research Institute, 2001. ISSN: 0347-6049

WDM, Limited – *Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine SCRIM[®]/SCRIMTEX*. [em linha] WDM, Bristol 2011. [Consultado a 12 de maio de 2012]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.wdm.co.uk/equipment/3-equipment/3-scrimr-scrimtex>>

8 ANEXOS

ANEXO A – ASTM E1551-93A – Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated On Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment

ANEXO B – Roda dentada do sistema de controlo de escorregamento - $\varnothing$ 180

ANEXO C – Roda dentada do sistema de controlo de escorregamento - $\varnothing$ 144

ANEXO D – Dimensionamento do veio

ANEXO E – Célula de carga FUTEK LSV 300

ANEXO F – Rolamentos FAG de contacto angular de esferas.

ANEXO G – IBC -1000 litros

ANEXO H – Válvula sistema de aspersão 8288200.96XX - K_v 1.1

ANEXO I – Tabela de perfis UNP DIN 1026

ANEXO J – Alguns dos Desenhos de definição do equipamento

ANEXO A – ASTM E1551-93A – Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated On Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment



Designation: E 1551 – 93a (Reapproved 1998)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19380
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment¹

This standard is issued under the fixed designation E 1551; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification covers the general requirements for a special purpose, smooth-tread standard tire for measuring tire-pavement friction forces. The tire is utilized on fixed braking slip continuous friction measuring equipment such as the Runway Friction Tester, Surface Friction Tester, or BV-11 Skiddometer Trailer.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 297 Test Methods for Rubber Products—Chemical Analysis²

D 412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubbers and Thermoplastic Elastomers—Tension²

D 1054 Test Method for Rubber Property—Resilience Using a Rebound Pendulum²

D 1765 Classification System for Carbon Blacks Used in Rubber Products²

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness²

D 3182 Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets²

2.2 Other Documents:

K.J. Law Slip Friction Tester —Instruction and Servicing Manual

Surface Friction Tester —Instruction and Servicing Manual
BV-11 Skiddometer Trailer—Instruction and Servicing Manual

DOT/FAA/AS-90-1 Reliability and Performance of Friction Measuring Tires and Friction Equipment Correlation³

Advisory Circular 150/5320-12 —“Measurement, Construction and Maintenance of Skid Resistant Airport

Pavement Surfaces”⁴

Tatra-InterTech Friction Tester —Instruction and Servicing Manual⁵

3. Materials and Manufacture

3.1 The individual standard tires shall conform to the design standards of Section 5. Dimensions, weights, and permissible variations are also given in Section 5 and in Fig. 1 and Fig. 2.

3.2 Tread compounding, fabric processing, and all steps in tire manufacturing shall be certified to ensure that the specifications are met (see Section 7, Test Methods).

3.3 The markings on the tire as shown in Fig. 1 shall be molded on both sides of the tire.⁶

3.4 Fig. 1 shows a view of the tread surface and a side view of the standard, special purpose, smooth tread tire and Fig. 2 is a typical tire cross section with critical dimensions identified.

4. Material Requirements

4.1 The compounding requirements for the tread compound are given in Table 1.

4.2 The fabric shall be Nylon, 1260/2 Denier.

NOTE 1—Certain proprietary products have been specified since exact duplication of properties of the finished tire may not be achieved with other similar products. This inclusion does not in any way comprise a recommendation for these proprietary products nor against similar products of other manufacturers, nor does it imply any superiority over any such similar products.

5. Construction, Dimensions and Permissible Variations

5.1 *Construction*—The tire shall be a size 4.00-8, tube type, four plies, Nylon cord, and bias construction.

5.2 *Dimensions*—Tread width shall be 2.4 ± 0.1 in. (61 ± 2.5 mm), the tread radius shall be 10.0 ± 1.5 in. (254 ± 38 mm), the cross-sectional width shall be 4.1 ± 0.15 in. (104 ± 3.8 mm), and the outside diameter at the tread centerline shall be 16.4 ± 0.2 in. (417 ± 5 mm) when measured on an 8 by 3.00D rim at 30 ± 0.5 psi (207 ± 2 kPa) inflation pressure. See Fig. 2 which shows inflated dimensions of the new tire.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee E-17 on Vehicle-Pavement Systems and is the direct responsibility of Subcommittee E17.24 on Tire and Slider Characteristics.

Current edition approved Dec. 15, 1993. Published February 1994. Last previous edition E 1551 – 93. Originally published as E 17.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01.

³ Available from National Technical Information Service, Springfield, VA 22161.

⁴ Available from U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 800 Independence Ave., S.W., Washington, DC 20591.

⁵ Available from Intertech Engineering Inc., 726 S. Mansfield Ave., Los Angeles, CA 90036.

⁶ ASTM E1551 tire is available from Specialty Tires of America, Inc., P.O. Box 749, 1600 Washington St., Indiana, PA 15701.

E 1551



Suggested Marking on Tire
ASTM Test Tire E 1551
4.00-8 NHS
6 Ply Rating
Tube Type
Manufacturer's Name or Trademark

FIG. 1 Test Tire

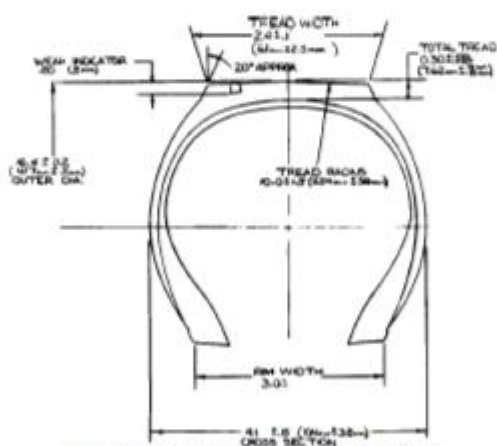


FIG. 2 Tire Section, Including Inflated Dimensions

5.3 **Tread**—The tread surface shall be smooth (blank) without any ribs or grooves. The tread shall have a thickness of 0.16 in. (4.1 mm) and an under skid thickness of 0.14 ± 0.03 in. (3.56 $\pm$ 0.76 mm).

5.4 **Wear Indicators**—There will be four holes molded into the tire 0.16 in. (4.1 mm) deep and 0.125 in. (3.18 mm) diameter. These four wear indicators will alternate from one side of the tread centerline to the other and be spaced 90° apart.

6. Workmanship

6.1 Tires shall be free of defects in workmanship and material.

7. Test Methods

7.1 **Tensile Sheet Cure**—Practice D 3182.

TABLE 1 Compounding of Tread Rubber^a

Material	Parts by Mass
SSR 1714 ^b	89.38
CB1252 ^c	48.12
N347 ^d	76.00
High-Aromatic Oil	9.00
Zinc Oxide	3.00
Stearic Acid	2.00
Santoflex 13 ^e	2.00
Paraffin Wax	2.00
Santocure N18 ^f	1.10
DPG ^g	0.10
Sulfur	1.80

^aSee Practice D 3182.

^bStyrene-butadiene rubber (23.5 % styrene) 37.5 parts of high-aromatic oil.

^cCis-polybutadiene with 37.5 parts of high-aromatic oil or equivalent.

^dN347 Carbon Black, see Classification D 1765.

^eDimethyl butylphenyl phenylenediamine.

^fButyl benzothiazole sulfenamide.

^gDiphenyl guanidine.

7.2 **Modulus (300 %)**—Test Methods D 412.

7.3 **Tensile Sheet Durometer**—Test Method D 2240, using a Type A Shore Durometer.

7.4 **Restored Energy (Rebound or Resilience)**—Test Method D 1054.

7.5 **Specific Gravity**—Test Methods D 297.

7.6 **Tensile Strength**—Test Methods D 412.

7.7 **Elongation**—Test Methods D 412.

7.8 **Tire Tread Durometer**—Test Method D 2240, in addition to the following specific procedures:

7.8.1 Use a Type A Durometer. A0.5-in. (12.7-mm) diameter presser foot, Shore, code XAHAF is recommended.

7.8.2 The durometer shall be calibrated at a reading of 60 hardness.

7.8.3 Condition the tire and durometer to equilibrium at $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) before determining tread hardness.

7.8.4 The tire tread hardness is to be determined by averaging at least one set of six readings. A set should consist of readings taken at equally spaced intervals across the tread. It is



E 1551

recommended that additional sets of readings be taken around the tread circumference.

7.8.5 Apply presser foot to the tire tread as rapidly as possible without shock, keeping the foot parallel to the tread surface. Apply just sufficient pressure to obtain firm contact between presser foot and tire tread surface. Read the durometer scale within 1 s after presser foot is in contact with the tire tread, but after initial maximum transient which may occur immediately after contact is made.

8. Physical Requirements

8.1 The physical and mechanical test requirements are given in Table 2.

9. Certification

9.1 When specified in the purchase order or contract, the purchaser shall be furnished certification that samples representing each lot have been tested and inspected as directed in this specification, verifying that all requirements have been met. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

9.2 The Annex to this specification contains the test procedures for determining the reliability, performance and consistency of the tires.

TABLE 2 Physical Properties of Tread Compound

Tensile Sheet Cure, min at 300°F (149°C)	30
300 % modulus, psi (MPa) (Test Methods D 412)	800 ± 200 (5.5 ± 1.4)
Tensile sheet durometer (Test Method D 2240)	58 ± 2
Restored energy (rebound or resilience) (Test Method D 1054)	46 ± 2
Specific gravity (Methods D 297)	1.13 ± 0.02
Tensile strength, min psi (MPa) (Test Methods D 412)	2000 (13.8)
Elongation, min % (Test Methods D 412)	800
Tire tread durometer (Test Method D 2240)	58 ± 2

10. Packaging and Preservation

10.1 The tires should be stored in a dry area, at a temperature not exceeding 90°F (32.2°C) and in subdued light. Tires must not be stored near electric motors, welders, or other ozone generating equipment. The tire is not to be used as a standard test tire after more than one year storage by the consumer nor if it has been stored at more than 85°F (29.4°C) for more than 60 days.

11. Recommendations for Tire Use and Operational Requirements

11.1 The tire is for measuring tire-pavement friction forces only and is not designed for general highway service.

11.2 A new tire break-in sufficient to only remove the glossy tread surface is recommended before using the tire for testing. This break-in time will vary with pavement surface condition, speed, and test tire operating mode.

11.3 The tire shall be operated on fixed slip devices such as the Runway Friction Tester, the Surface Friction Tester, and the BV-11 Skiddometer Trailer. The inflation pressure used in the friction tire shall be 30 ± 0.5 psi (207 ± 3 kPa) measured at ambient temperature (cold).

11.4 The recommended static test load on the friction tire shall be 200 ± 2 lbf (890 ± 9 N) with loading to a maximum of 320 ± 3 lbf (1423 ± 14 N) permissible, at 30 ± 0.5 psi (207 ± 3 kPa) inflation pressure.

11.5 When any irregular wear or damage results from testing or when the wear indicators are no longer visible, the use of the friction tire as a standard test friction tire shall be discontinued.

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. TESTING THE E1551 TIRE FOR RELIABILITY, PERFORMANCE AND CONSISTENCY

A1.1 Scope

A1.1.1 This specification describes the test procedures for establishing the reliability, performance, and consistency of the tire from batch to batch.

A1.2 Certification

A1.2.1 The manufacturer of the tire will certify that testing has been completed on each batch of tires.

A1.2.2 A certified testing company may be sub-contracted by the manufacturer to accomplish the testing and certification according to these procedures.

A1.2.3 Testing will be conducted on a properly calibrated, fixed braking slip, continuous friction measuring device (see 11.3).

A1.3 Tire Sampling

A1.3.1 The number of tires randomly selected from each batch is determined from Table A1.1.

TABLE A1.1 Random Sampling of Tires from Tire Batch Size to Determine Acceptance/Failure

Tire Batch Size	Random Tire Sample Size For Testing	Accept if Number of Failed Tires Equals	Reject if Number of Failed Tires Equals
51 to 150	5	1	2
151 to 500	8	2	3
501 to 1200	13	3	4

A1.3.1.1 To ensure random selection of test tires, the tire manufacturer shall divide the batch into as many equal sublots as the number of test tires required by Table A1.1. One tire is then randomly selected from each sublot.

A1.3.1.2 In addition to the current tires selected for comparative testing with the previous batch tires, the manufacturer shall also retain and properly store the required number of randomly selected tires from the current batch for future

E 1551

recommended that additional sets of readings be taken around the tread circumference.

7.8.5 Apply presser foot to the tire tread as rapidly as possible without shock, keeping the foot parallel to the tread surface. Apply just sufficient pressure to obtain firm contact between presser foot and tire tread surface. Read the durometer scale within 1 s after presser foot is in contact with the tire tread, but after initial maximum transient which may occur immediately after contact is made.

8. Physical Requirements

8.1 The physical and mechanical test requirements are given in Table 2.

9. Certification

9.1 When specified in the purchase order or contract, the purchaser shall be furnished certification that samples representing each lot have been tested and inspected as directed in this specification, verifying that all requirements have been met. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

9.2 The Annex to this specification contains the test procedures for determining the reliability, performance and consistency of the tires.

TABLE 2 Physical Properties of Tread Compound

Tensile Sheet Cure, min at 300°F (149°C)	30
300 % modulus, psi (MPa) (Test Methods D 412)	800 ± 200 (5.5 ± 1.4)
Tensile sheet durometer (Test Method D 2240)	58 ± 2
Restored energy (rebound or resiliance) (Test Method D 1054)	46 ± 2
Specific gravity (Methods D 297)	1.13 ± 0.02
Tensile strength, min psi (MPa) (Test Methods D 412)	2000 (13.8)
Elongation, min % (Test Methods D 412)	500
Tire tread durometer (Test Method D 2240)	58 ± 2

10. Packaging and Preservation

10.1 The tires should be stored in a dry area, at a temperature not exceeding 90°F (32.2°C) and in subdued light. Tires must not be stored near electric motors, welders, or other ozone generating equipment. The tire is not to be used as a standard test tire after more than one year storage by the consumer nor if it has been stored at more than 85°F (29.4°C) for more than 60 days.

11. Recommendations for Tire Use and Operational Requirements

11.1 The tire is for measuring tire-pavement friction forces only and is not designed for general highway service.

11.2 A new tire break-in sufficient to only remove the glossy tread surface is recommended before using the tire for testing. This break-in time will vary with pavement surface condition, speed, and test tire operating mode.

11.3 The tire shall be operated on fixed slip devices such as the Runway Friction Tester, the Surface Friction Tester, and the BV-11 Skiddometer Trailer. The inflation pressure used in the friction tire shall be 30 ± 0.5 psi (207 ± 3 kPa) measured at ambient temperature (cold).

11.4 The recommended static test load on the friction tire shall be 200 ± 2 lbf (890 ± 9 N) with loading to a maximum of 320 ± 3 lbf (1423 ± 14 N) permissible, at 30 ± 0.5 psi (207 ± 3 kPa) inflation pressure.

11.5 When any irregular wear or damage results from testing or when the wear indicators are no longer visible, the use of the friction tire as a standard test friction tire shall be discontinued.

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. TESTING THE E1551 TIRE FOR RELIABILITY, PERFORMANCE AND CONSISTENCY

A1.1 Scope

A1.1.1 This specification describes the test procedures for establishing the reliability, performance, and consistency of the tire from batch to batch.

A1.2 Certification

A1.2.1 The manufacturer of the tire will certify that testing has been completed on each batch of tires.

A1.2.2 A certified testing company may be sub-contracted by the manufacturer to accomplish the testing and certification according to these procedures.

A1.2.3 Testing will be conducted on a properly calibrated, fixed braking slip, continuous friction measuring device (see 11.3).

A1.3 Tire Sampling

A1.3.1 The number of tires randomly selected from each batch is determined from Table A1.1.

TABLE A1.1 Random Sampling of Tires from Tire Batch Size to Determine Acceptance/Failure

Tire Batch Size	Random Tire Sample Size For Testing	Accept if Number of Failed Tires Equals	Reject if Number of Failed Tires Equals
51 to 150	5	1	2
151 to 500	8	2	3
501 to 1200	13	3	4

A1.3.1.1 To ensure random selection of test tires, the tire manufacturer shall divide the batch into as many equal sublots as the number of test tires required by Table A1.1. One tire is then randomly selected from each sublot.

A1.3.1.2 In addition to the current tires selected for comparative testing with the previous batch tires, the manufacturer shall also retain and properly store the required number of randomly selected tires from the current batch for future

 E 1551

Coefficient of Correlation.

A1.8.4 *Standard Error of Estimate Set*—Consists of only one element, the Standard Error of Estimate. The parameter for this set is ± 3 Mu numbers for One Standard Error of Estimate.

A1.9 Precision and Bias

A1.9.1 The analysis of data obtained with a fixed braking slip continuous friction measuring device operated by experi-

enced operators, indicates that duplicated tests show repeatability or agreement within ± 3 Mu numbers of the averaged Mu value. Tire friction data obtained with the same operator and under identical test conditions should not be considered suspect unless they differ by more than 5 %.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

ANEXO C – Roda dentada do sistema de controlo de escorregamento - Ø 144

HUBLESS SPUR GEARS • MODULE 3

ISO CLASS 8
30 mm FACE
20° PRESSURE ANGLE

➤ MATERIAL:

303 Stainless Steel

Available as special order:
Number of teeth not listed, different
bore size and / or material,
passivation for stainless steel.

SDP/SI

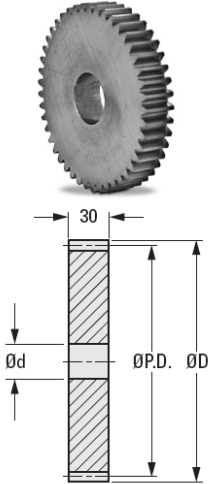
PHONE: 516.328.3300 • FAX: 516.326.8827 • WWW.SDP-SI.COM

Metric

010

SI

Precision Component



METRIC COMPONENT				
Catalog Number	No. of Teeth	P.D.	D Dia.	d Bore H7 (+0.021 0)
S12N30M032S3020	32	96	102	20
S12N30M035S3020	35	105	111	20
S12N30M036S3020	36	108	114	20
S12N30M040S3025	40	120	126	25
S12N30M042S3025	42	126	132	25
S12N30M045S3025	45	135	141	25
S12N30M048S3025	48	144	150	25
S12N30M050S3025	50	150	156	25
S12N30M055S3025	55	165	171	25
S12N30M056S3025	56	168	174	25
S12N30M060S3025	60	180	186	25

1-95

ANEXO D – Dimensionamento do veio

Dados:

Material utilizado Fe 360

$L=846\text{mm}$

$l'=2.54\text{cm}$

Diâmetro das rodas $=10''=25,4\text{cm}$

$\varphi = 0.5^\circ/\text{m}$ (admitido)

Cálculos auxiliares:

$$\varphi = \frac{0.5 \times \pi}{180} \times 0.575 \Leftrightarrow \varphi = 5.018 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

Dimensionamento do veio pelo critério da máxima deformação por torção

Considerando um coeficiente de atrito de 0,9, o momento torçor será:

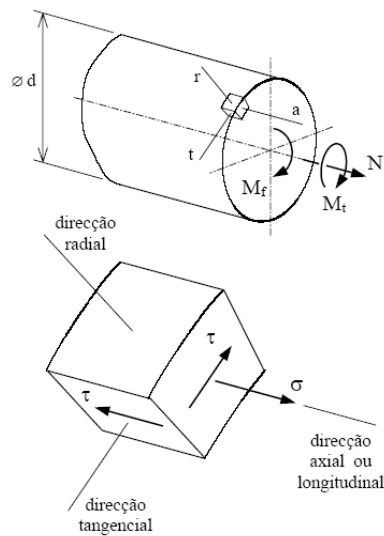
$$M_t = 0,9 \times (f) \times r$$

$$M_t = 0,9 \times (70 \times 9,8) \times \frac{0,254}{2} \Leftrightarrow$$

$$M_t = 78,40 \text{ Nm} \cong 80 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_T L}{G I_T} \leq \varphi \Leftrightarrow d^4 \geq \frac{80 \times 0.423 \times 32}{80 \times 10^9 \times \pi \times 5.018 \times 10^{-3}} \Leftrightarrow d \geq 30,4 \text{ mm}$$

Dimensionamento do veio através da tensão máxima de Von Mises



Em geral, o estado de tensão num ponto da superfície de um veio rotativo, submetido à acção de cargas estacionárias, contém as componentes de tensão, representadas na figura acima.

Sendo,

- **d** - diâmetro da secção circular do veio
- **M_t** – momento torsor
- **M_f** – momento flector
- **N** – esforço axial
- **W_t** – módulo de resistência à torção
- **W** – módulo de resistência à flexão

Quando o dimensionamento é feito pelo critério de Von Mises, a tensão equivalente calcula-se da seguinte forma:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + 3\left(\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau_0^2\right)} \Leftrightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_0^2}$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{Mf}{w}\right)^2 + 3\left(\frac{Mt}{wt}\right)^2}$$

Lembrando que para uma secção circular:

$$w = \frac{\pi d^3}{32} \text{ e } wt = \frac{\pi d^3}{16} \text{ então } wt = 2w$$

Assim a expressão acima fica:

$$\Leftrightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{Mf}{w}\right)^2 + 3\left(\frac{Mt}{2w}\right)^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{Mf}{w}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{Mt}{w}\right)^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{eq} = \frac{\sqrt{Mf^2 + \frac{3}{4}Mt^2}}{w}$$

Reescrevendo a expressão anterior fica:

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{Mf^2 + \frac{3}{4}Mt^2}}{\frac{\pi d^3}{32}} \Leftrightarrow \sigma_{eq} = \frac{32\sqrt{Mf^2 + \frac{3}{4}Mt^2}}{\pi d^3}$$

Sendo:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma_{ced}}{C.S}$$

Então:

$$\frac{\sqrt[3]{Mf^2 + \frac{3}{4}Mt^2}}{\pi d^3} \leq \frac{\sigma_{ced}}{C.S}$$

Cálculo do peso do atrelado

Peso da estrutura em cantoneira:

Atendendo ao peso anunciado na tabela dos perfis UNP DIN 1026 uma cantoneira UNP 65 tem um peso de 7,09kg/m

A estrutura é composta por duas cantoneiras de 1000mm, duas de 600mm, uma de 500mm e uma de 100mm soldadas.

Total de cantoneira = 1000+1000+600+600+500+100 = 3800mm

$P_{\text{estrutura}} = 3,8 \times 7,09 = 26,94\text{kg}$

$P_{\text{carnagem}} = 2\text{kg}$

$P_{\text{lastro}} = 20\text{kg}$

$P_{\text{rodas}} = 10\text{kg}$

$P_{\text{acessorios}} = 2\text{kg}$

$P_{\text{barra_célula de carga}} = 7\text{kg}$

$P_{\text{sistema de aspersão}} = 2\text{kg}$

$P_{\text{total}} = 27 + 2 + 20 + 10 + 2 + 7 + 2 = 70\text{kg}$

Cálculo do momento torçor do eixo do atrelado

No atrelado existem dois eixos (o eixo das rodas do atrelado e da roda de teste), por questões de uniformização na utilização dos rolamentos, chumaceiras e anéis elásticos utilizar-se-á a mesma dimensão para os dois eixos, considerando para efeitos de cálculo o eixo do atrelado, pois é o que tem maior comprimento.

Considerando um cenário em que o peso se encontra todo localizado nas rodas do atrelado para dimensionar o veio, calculou-se o momento torçor, que resulta do engrenamento com o eixo da roda de teste.

Considerando um coeficiente de atrito de 0,9, o momento torçor será:

$$M_t = 0,9 \times (f) \times r$$

As rodas do atrelado são de $10'' = 0,254\text{m}$

$$M_t = 0,9 \times (70 \times 9,8) \times \frac{0,254}{2} \Leftrightarrow$$
$$M_t = 78,40\text{Nm}$$

Cálculo do momento flector máximo do eixo do atrelado

Comprimento do veio = 846 mm;

Peso sobre eixo = 70kg

$$M_{f_{\text{máx}}} = (P \times 9,8 \times L) \times \frac{L}{2} \Leftrightarrow M_{f_{\text{máx}}} = \Leftrightarrow$$

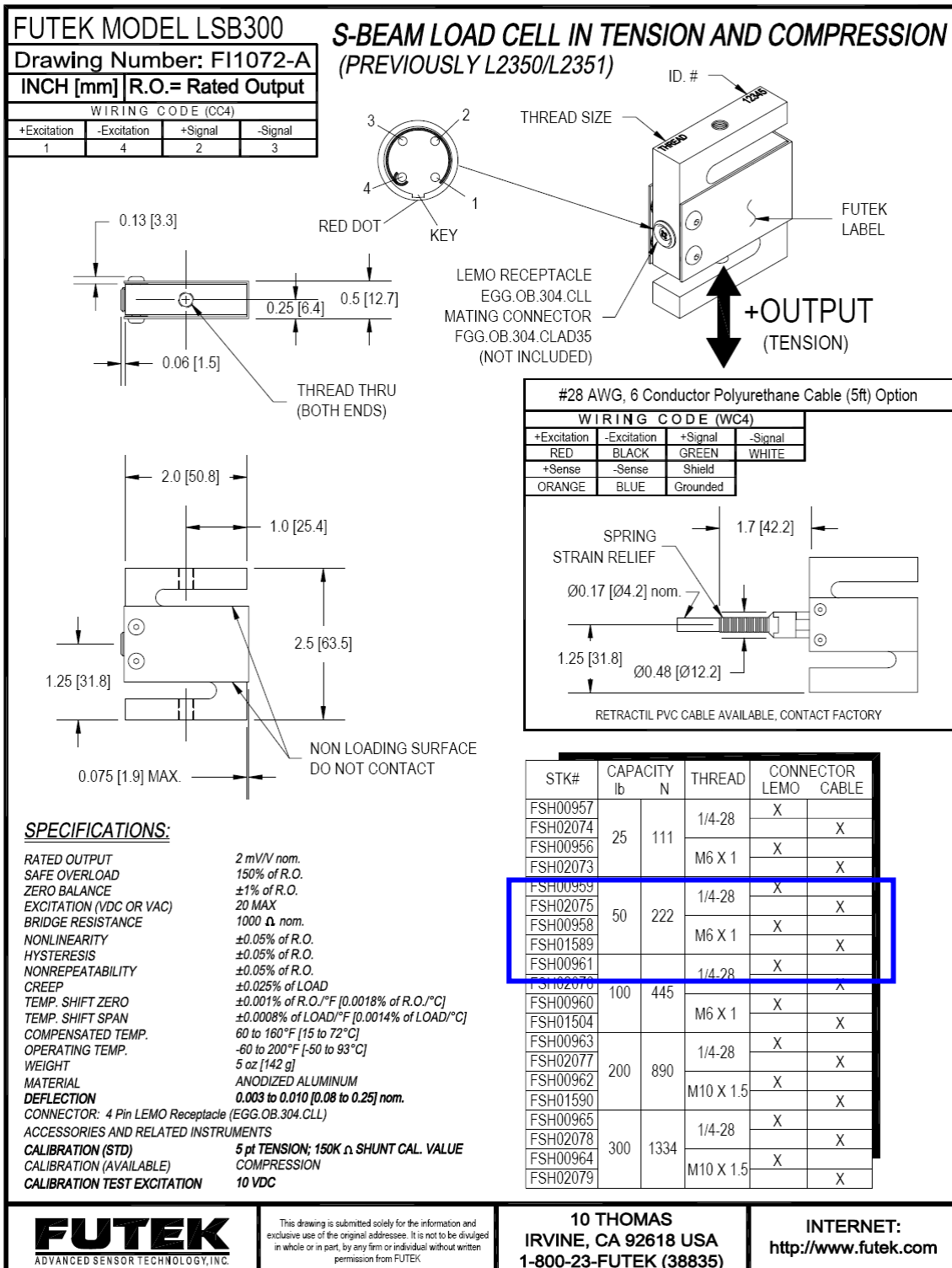
$$\Leftrightarrow M_{f_{\text{máx}}} = 245,49\text{Nm}$$

Substituindo os valores calculados de M_t e M_f na expressão de tensão equivalente de Von Mises, temos que:

$$\sigma_{\text{eq}} = \frac{\sqrt[3]{245,49^2 + \frac{3}{4} \times 78,40^2}}{\pi d^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{eq}} = 16,7\text{Mpa}$$

O veio utilizado tem um coeficiente de segurança de 14.

ANEXO E – Célula de carga FUTEK LSV 300

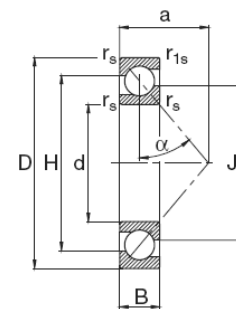


FUTEK
ADVANCED SENSOR TECHNOLOGY, INC.

This drawing is submitted solely for the information and exclusive use of the original addressee. It is not to be divulged in whole or in part, by any firm or individual without written permission from FUTEK

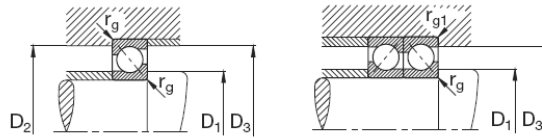
10 THOMAS
IRVINE, CA 92618 USA
1-800-23-FUTEK (38835)

INTERNET:
<http://www.futek.com>

ANEXO F – Rolamentos FAG de contacto angular de esferas.**Rolamentos FAG de contato angular de esferas**
de uma carreiraB
Ângulo de contato $\alpha = 40^\circ$

Eixo	Dimensão								Peso
	d mm	D	B	r_s min	r_{1s} min	a ≈	H ≈	J ≈	kg
10	10	30	9	0,6	0,3	13	22,1	18,2	0,032
12	12	32	10	0,6	0,3	14	24,6	19,7	0,035
	12	37	12	1	0,6	16	27,2	22,3	0,06
15	15	35	11	0,6	0,3	16	27,6	22,7	0,044
	15	42	13	1	0,6	18	31,8	25,7	0,082
17	17	40	12	0,6	0,6	18	31,2	26,4	0,065
	17	47	14	1	0,6	20	35,8	28,7	0,109
20	20	47	14	1	0,6	21	36,6	30,6	0,104
	20	52	15	1,1	0,6	23	39,9	32,6	0,143
25	25	52	15	1	0,6	24	41,6	35,4	0,127
	25	62	17	1,1	0,6	27	48,1	39,5	0,223
30	30	62	16	1	0,6	27	49,8	43,1	0,196
	30	72	19	1,1	0,6	31	56	46,8	0,341
35	35	72	17	1,1	0,6	31	57,8	49,8	0,282
	35	80	21	1,5	1	35	63,1	52,9	0,447
40	40	80	18	1,1	0,6	34	64,6	56	0,367
	40	90	23	1,5	1	39	71,3	59,5	0,609
45	45	85	19	1,1	0,6	37	70	60,8	0,405
	45	100	25	1,5	1	43	79,5	66,2	0,812
50	50	90	20	1,1	0,6	39	74,4	66,5	0,458
	50	110	27	2	1	47	87,6	73,1	1,05
55	55	100	21	1,5	1	43	83	72,6	0,604
	55	120	29	2	1	51	95,3	80,3	1,38
60	60	110	22	1,5	1	47	91,1	79,5	0,78
	60	130	31	2,1	1,1	55	103,4	87,3	1,72
65	65	120	23	1,5	1	51	98,9	86,4	1
	65	140	33	2,1	1,1	60	111,5	94,3	2,12

Os rolamentos podem atingir a durabilidade permanente, desde que $C_0/P_0 \geq 8$, vide pág. 41.



Capacidade de carga din. C	est. C ₀	Limite de rotação	Rotação de referência	Designação Rolamento FAG	Medida de montagem				
					D ₁ min mm	D ₂ máx	D ₃ máx	r _g máx	r _{g1} máx
5	2,5	32000	26000	7200B.TVP	14,2	25,8	27,6	0,6	0,3
6,95	3,4	28000	26000	7201B.TVP	16,2	27,8	29,6	0,6	0,3
10,6	5	24000	19000	7301B.TVP	17,6	31,4	32,8	1	0,6
8	4,3	24000	22000	7202B.TVP	19,2	30,8	32,6	0,6	0,3
12,9	6,55	20000	17000	7302B.TVP	20,6	36,4	37,8	1	0,6
10	5,5	20000	20000	7203B.TVP	21,2	35,8	35,8	0,6	0,6
16	8,3	18000	15000	7303B.TVP	22,6	41,4	42,8	1	0,6
13,4	7,65	18000	18000	7204B.TVP	25,6	41,4	42,8	1	0,6
19	10,4	17000	13000	7304B.TVP	27	45	47,8	1	0,6
14,6	9,3	16000	16000	7205B.TVP	30,6	46,4	47,8	1	0,6
26	15	14000	11000	7305B.TVP	32	55	57,8	1	0,6
20,4	13,4	13000	13000	7206B.TVP	35,6	56,4	57,8	1	0,6
32,5	20	11000	10000	7306B.TVP	37	65	67,8	1	0,6
27	18,3	11000	12000	7207B.TVP	42	65	67,8	1	0,6
39	25	9500	9000	7307B.TVP	44	71	74,4	1,5	1
32	23,2	9500	10000	7208B.TVP	47	73	75,8	1	0,6
50	32,5	8500	8500	7308B.TVP	49	81	84,4	1,5	1
36	26,5	8500	9500	7209B.TVP	52	78	80,8	1	0,6
60	40	7500	7500	7309B.TVP	54	91	94,4	1,5	1
37,5	28,5	8000	9000	7210B.TVP	57	83	85,8	1	0,6
69,5	47,5	7000	7000	7310B.TVP	61	99	104,4	2	1
46,5	36	7000	8500	7211B.TVP	64	91	94,4	1,5	1
78	56	6300	6700	7311B.TVP	66	109	114,4	2	1
56	44	6300	7500	7212B.TVP	69	101	104,4	1,5	1
90	65,5	5600	6300	7312B.TVP	72	118	123	2,1	1
64	53	6000	7000	7213B.TVP	74	111	114,4	1,5	1
102	75	5300	6000	7313B.TVP	77	128	133	2,1	1

Também podem ser fornecidas outras execuções, consulte-nos.

ANEXO G – IBC -1000 litros

Containers Plásticos de 1000 Litros (IBC's)



Aço e Plástico

- Capacidade de 1000 litros.
- Grade de aço galvanizado.
- Bandeja inferior: de Plástico / Aço / Madeira.
- Válvula de saída com tampa rosqueada.
- Dimensões (1,20 x 1,00 x 1,14)m



ANEXO H – Válvula sistema de aspersão 8288200.96XX - K_v 1.1

Motorised valve

for neutral gases and liquids

G 1/2 to G 1 female thread

Cartridge system

Operating pressure –0.9 to 10 bar (see table)

82880

Description (standard valve)

Motorised valve for e. g. hot water, oil, air

Flow direction:	determined
Fluid temperature:	max. +90°C
Ambient temperature:	max. +40°C
Mounting position:	optional, preferably with drive upright



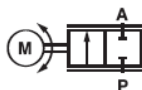
Material

Body:	brass
Seal:	NBR
Control discs:	oxide-ceramic

Features

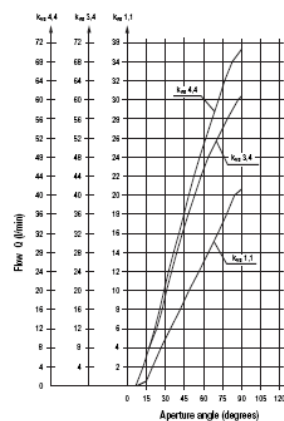
- Low power consumption
- Choice of compact drives
- Valve remains on last setting if power lost
- Will handle dirty fluids
- Throttle setting produced by wear-resistant control discs

Functional symbol:



Throttle setting with overlap ¹⁾

Characteristics curve
Fluid: water
 Δp : 1 bar



Ordering information

To order, quote model number from table overleaf, e.g. 8288200.9615 for a motorised valve with standard DC motor drive.

Characteristic data

See page 2 valve and solenoid information

¹⁾ Not gastight

Detmolder Straße 256
D-32545 Bad Oeynhausen
Postfach 10 02 52-53
D-32502 Bad Oeynhausen
Telefon 05731 / 7 91-0
Telefax 05731 / 791-179
<http://www.buschjost.de>
mail@buschjost.de

D102802.01
07/04

Ventiltechnik und Systeme
IMI NORGREN BUSCHJOST GMBH + CO. KG





Series 82880

DN 15 to DN 20 motorised valve

Characteristic data Valves

Part Number (motor ¹⁾)	Dimension table	Nominal Diameter (mm)	Port size	Operating pressure ²⁾ min max (bar)		Kvs-value (Basis m³/h)	Weight total (kg)
8288500.96XX	—	15	cartridge	-0.9	10	1.1	0.7
8288200.96XX	01	15	G 1/2	-0.9	10	1.1	0.9
8288300.96XX	02	20	G 3/4	-0.9	6 ³⁾	4.4	1.6
8288400.96XX	02	20	G 1	-0.9	6 ³⁾	4.4	1.6

¹⁾ See motor drives for motor Cat no. and power supply

²⁾ Operating pressure increases to 10 bar for 9624 and 9651

Motor drives

Motor type	Standard voltage Tolerance ± 10% [V]	Frequency [Hz]	Power con- sumption [W]	Protection class	Torque [Ncm]	Operating time ¹⁾ through 90 ° ± 1	Wiring diagram	Motor Cat No
DC motor	24	—	1.5	IP 54	120	10 - 14 s	01	9615.02400
DC motor	24	—	1.5	IP 54	120	10 - 16 s	02	9650.02400
DC motor	24	—	2.1	IP 54	120	10 - 16 s	03	9657.02400
Synchronous motor	24	50	3.0	IP 54	120	10 s	04	9636.02450
Stepping motor	24	²⁾	5.0	IP 54	120	10 s	05	9638.02400
DC motor	24	—	2.0	IP 54	200	13 s	01	9624.02400 ³⁾
DC motor	24	—	2.5	IP 54	200	13 - 16 s	02	9651.02400 ³⁾

¹⁾ Operating time depends on operating pressure

²⁾ Nominal stepping frequency 200 Hz

³⁾ Only in conjunction with G 3/4 and G 1

Note! All motor drives fulfill the requirements of the generic standards for electromagnetic compatibility (EN 50081-1 and EN 61000-6-2) to Directive 89/336/EEC.

Limit switch service life >100,000 cycles

Further technical data for DC motor Cat. no. 9615, 9624

Motor with feedback potentiometer for servo-amplifier

Feedback potentiometer

Resistor: 1 k Ω
Resistor tolerance: ± 20%
Max wiper current: 1 mA
Power rating: 0.1 W
Only part of the potentiometer's range is used.

Further technical data for DC motors Cat Nos 9650 and 9651

Drives with integrated position controller

The set point input can be set to the required signal range with the 2 jumpers.

Power supply residual ripple: max 1.2 V_{pp}
Set point input: 0 – 10 V J1, J2 not inserted
0 – 20 mA J1 inserted, J2 not inserted
4 – 20 mA J1, J2 inserted
Input signal ripple: max 40 mV_{pp} with voltage signal
max 0.08 A_{pp} with current signal
Input resistance: 200 kΩ with voltage signal
500 Ω with current signal
Auxiliary voltage for external potentiometer: 12V ± 3%
max 10 mA

IMPORTANT! Brief interruptions in the power supply e. g. caused, by it being switched by an electromechanical relay, can cause the electronics to malfunction.



Further technical data for stepper motor Cat no 9638

Control:

bipolar, by means of SAA 1042 A (Motorola)

stepper motor driver or equivalent with drop resistance of 44Ω per phase at a driver (full-step) operating voltage of $24 \text{ V} \pm 5 \%$, or by means of a constant current driver set to 0.4A.

Resistance per phase: 9Ω

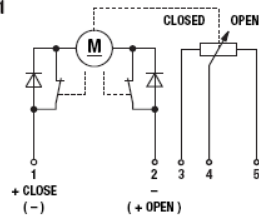
Inductance per phase: 12 mH

Steps for opening angle of 90° : 2028

See publication D112901 for further technical data for the motor drive with CAN interface 9657.

Wiring diagrams

01



DC motor

Wiring:

+ to 1

Direction of operation: CLOSE

- to 2

Direction of operation: OPEN

+ to 2

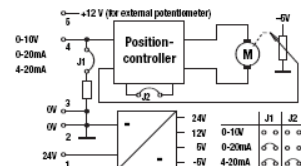
Cutoff at limits provided by microswitches

Resistance between 3 and 4:

minimum value – valve closed

maximum value – valve opened

02



DC motor

Wiring :

1 and 2

Power supply

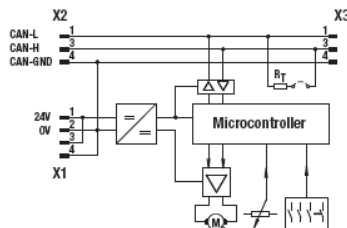
3 and 4

Input control voltage

5

Output/auxiliary

03



DC motor

Wiring:

X1

Power supply

1 und 2

X2, X3

1

CAN bus signal

(dominant low)

3

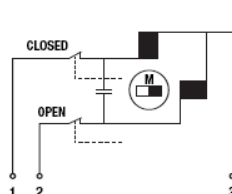
CAN bus signal

(dominant high)

4

CAN earth

04



Synchronous motor

Wiring:

AC to 1 and 3

Direction of operation: CLOSE

2 unused

AC to 2 and 3

Direction of operation: OPEN

1 unused

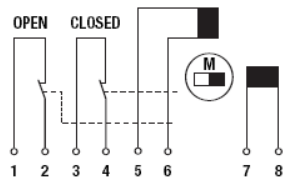
Cutoff at limits provided by microswitches



Series 82880

DN 15 to DN 20 motorised valve

05



Stepper motor

Wiring:

1	Motor frame (possibly for screening)
2	Reference potential for contacts
3	Limit feedback signal (OPEN) contact opened at limit
4	Limit feedback signal (CLOSED) contact opened at limit
5 and 6	Connections for phase 1
7 and 8	Connections for phase 2

Notes on choice of motor

Buschjost offers various valve designs and a choice of DC, synchronous and stepper motors catering for the wide range of applications of the motorised valve and the customer's needs.

The mechanical contacts of DC motors make them unsuitable for control functions involving a large number of small adjustments. The AC synchronous motors last longer thanks to their absence of contacts. A stepper motor has to be used where frequent and/or fine adjustment is required.

The following table shows the characteristics of the components used.

	Motor life (running time)	Recommended pulse duration	Recommended interval without current during reversal in direction of rotation
DC motor 9615	500 h	> 100 msec	600 msec
DC motor 9624	500 h	> 100 msec	250 msec
DC motor 9650, 9657, 9651	500 h	—	—
Synchronous motor 9636	1000 h	> 100 msec	40 msec
Stepping motor 9638	1000 h	Stepping frequency 200 Hz	—

Since under the rated torque of 120/200 Ncm the life of the gearing is consistently around 1000 hours, the life of the drive is determined by the motor.

Notes

- To provide a temperature regulation system, the motorised valve can be combined with the 9368 drive, the 82690 microprocessor-controlled PID three-point stepper regulator (Publication 7501533) and the 1244362 digital temperature sensor.
- Further drive models and electronic controllers available on request.
- Flow regulation kit available on request

Further models

available at extra cost

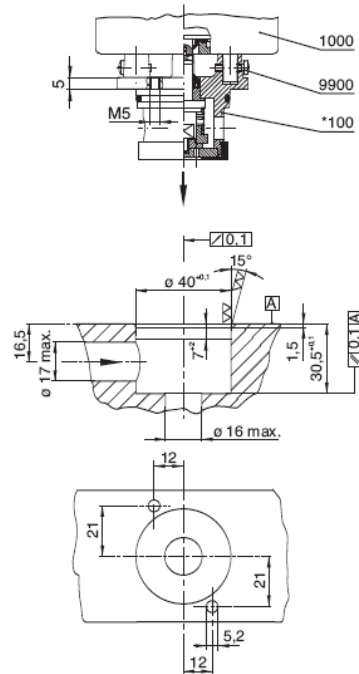
XXXX60.96XX	FPM seat seal, control discs for k_{VS} 1.1	XXXX75.96XX	Oxygen model, assembled without oil and grease, sealing material FPM
XXXX61.96XX	EPDM seat seal, control discs for k_{VS} 1.1		
XXXX62.96XX	Control discs for k_{VS} 3.4 p_{max} 6 bar, only for G 1/2 and cartridge models	On request	— Stainless steel model — Separate drive, max fluid temperature 130°C — Other models/combinations — Control discs for k_{VS} values
XXXX64.96XX	EPDM seat seal, control discs for k_{VS} 3,4 p_{max} 6 bar, only for G 1/2 and cartridge models		

Series 82880

DN 15 to DN 20 motorised valve



Sectional dimension diagrams



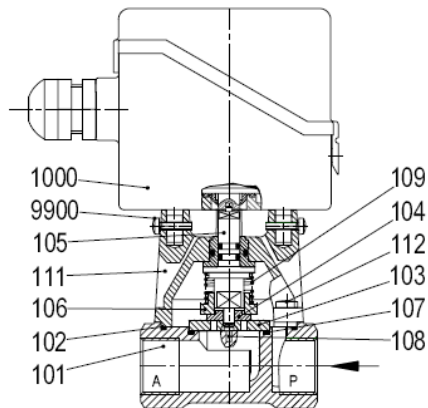
- *100 Valve cartridge
- 1000 Motor drive
- 9900 Cheese-head screw

* These parts form a complete wearing unit.

When ordering spare parts please specify full Cat and Series Nos.

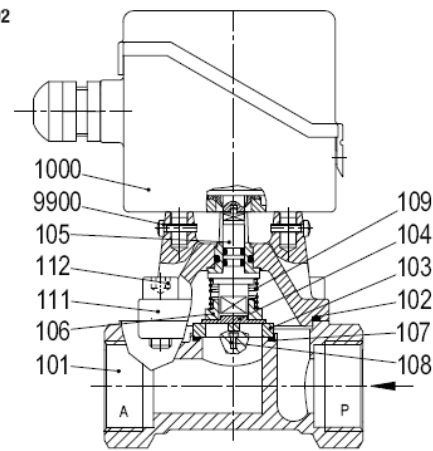
Sectional diagrams

01



- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 101 Valve body | 106 Holder |
| *102 O-ring | *107 O-ring |
| 103 Disc | 108 Pin |
| 104 Disc | *109 Compression spring |
| *105 Valve spindle | 111 Body cover |

02



- | |
|----------------------------------|
| 112 G 1/2 flat head screw |
| 112 Allen screw for G 3/4 and G1 |
| 1000 Motor drive |
| 9900 Fillister-head screw |

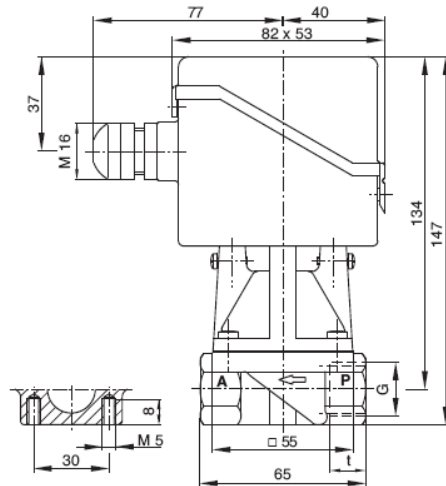


Series 82880

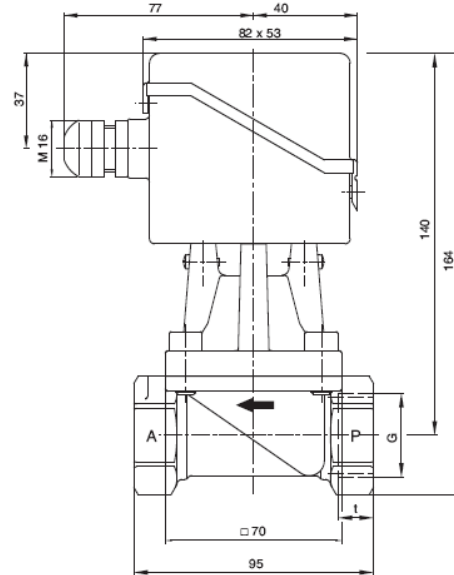
DN 15 to DN 20 motorised valve

Dimension diagrams

01



02



Dimension table	Dimension diagram	G	t
01	01	G 1/2	14.0
02	02	G 3/4	12.5
02	02	G 1	14.0

Note to Pressure Equipment Directive (PED):

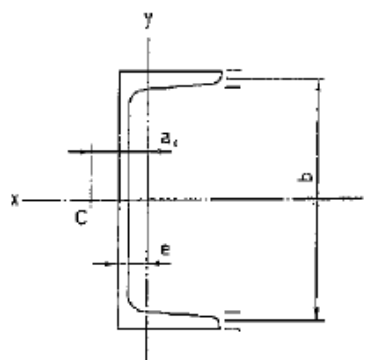
The valves of this series are according to Art. 3 § 3 of the Pressure Equipment Directive (PED) 97/23/EG. This means interpretation and production are in accordance to engineers practice well known in the member countries. The CE-sign at the valve does not refer to the PED. Thus the declaration of conformity is not longer applicable for this directive.

Note to Electromagnetic Compatibility Guideline (EEC):

The valves shall be provided with an electrical circuit which ensures the limits of the harmonised standards EN 50081-1 and EN 61000-6-2 are observed, and hence the requirements of the Electromagnetic Compatibility Guideline (89/336/EEC) satisfied.

Buschjost and the picture  are registered trademarks of the IMI Norgren Buschjost GmbH + Co. KG, Germany.

ANEXO I – Tabela de perfis UNP DIN 1026

UNP	C-Stahl	Profils C
	Normallängen $h = 80 < 300 \quad 8 \leq 16 \text{ m}$ $h = 300 - 600 \quad 8 \leq 18 \text{ m}$ DIN 1026 *) Liefermöglichkeiten abklären. Z_x, Z_y: Plastische Widerstandsmomente, nur für den Tragfähigkeitsnachweis, wobei die Lasten mit dem Sicherheitsfaktor γ zu multiplizieren sind. Z_y bei C-Stahl: Summe der statischen Momente bezüglich der flächenhalbierenden Parallelen zur y-y-Achse.	Longueurs normales $h = 80 < 300 \quad 8 \leq 16 \text{ m}$ $h = 300 - 600 \quad 8 \leq 18 \text{ m}$ DIN 1026 *) Vérifier les possibilités de livraison. Z_x, Z_y: Modules plastiques, seulement pour la vérification à la ruine, avec majoration des charges par le facteur γ. Z_y pour profilés C: Somme des moments statiques par rapport à un axe parallèle à l'axe y-y et divisant la section en deux surfaces de même aire.
	C: Schubmittelpunkt. 	C: Centre de cisaillement. $A_w = b \cdot d$ $S_x = \frac{1}{2} Z_x$ $b = h - t$ $c = c_1 - \frac{d}{2}$ $W_x = \frac{I_x}{h/2}$ $\bar{W}_x = \frac{I_x}{b/2}$ $W_y = \frac{I_y}{c_1 - e}$

C	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A	A _w	I _x	W _x	$\bar{W}_x$	Z _x	i _x	I _y	W _y	Z _y	i _y	K	b
		mm ²	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm
				$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^2$	$\times 10^1$		$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$		$\times 10^4$	
65	7,09	903	316	0,58	17,7	20,0	23,4	25,2	0,141	5,07	9,48	12,5	0,0167	57,5
80	8,64	1138	402	1,08	28,5	28,4	31,8	34,3	0,184	6,86	12,1	15,3	0,0224	72,8
100	10,6	1350	549	2,06	41,2	45,0	49,0	39,1	0,293	8,49	16,2	14,7	0,0296	91,6
120	13,4	1700	777	3,64	60,7	65,6	72,6	46,2	0,432	11,1	21,2	15,9	0,0430	111,0
140	16,0	2040	910	5,05	85,4	93,1	102,8	54,5	0,527	14,8	28,3	17,5	0,0602	130,0
160	18,8	2400	1120	8,25	118	124	137,6	82,1	0,853	18,3	35,2	18,9	0,0781	148,6
180	22,0	2800	1350	13,5	160	160	179,2	89,5	1,14	22,4	42,9	20,2	0,0998	169,0
200	25,3	3220	1600	19,1	191	203	226	77,0	1,48	27,0	51,8	21,4	0,126	188,5
220	29,4	3740	1870	26,9	245	259	292	84,8	1,97	33,6	64,1	23,0	0,170	207,5
240	33,2	4230	2160	36,0	300	317	358	92,2	2,48	39,6	76,7	24,2	0,208	227,0
260	37,9	4830	2460	48,2	371	392	442	99,9	3,17	47,7	91,6	25,6	0,237	246,0
280	41,8	5330	2660	62,8	448	474	532	108	3,99	57,2	109	27,4	0,332	265,0
300	46,2	5880	2840	80,3	535	555	632	117	4,95	67,8	130	29,0	0,406	284,0
320*)	59,5	7580	4240	108,7	679	719	826	121	5,97	80,6	152	28,1	0,692	302,5
350*)	60,6	7730	4660	128,4	734	769	918	129	5,70	75,0	143	27,2	0,632	334,0
380*)	83,1	8040	4850	157,6	826	866	1014	140	6,13	78,7	148	27,7	0,621	364,0
400*)	71,8	9150	5350	203,5	1020	1065	1240	149	8,46	102	190	30,4	0,852	382,0

E-Stahl

Profils E

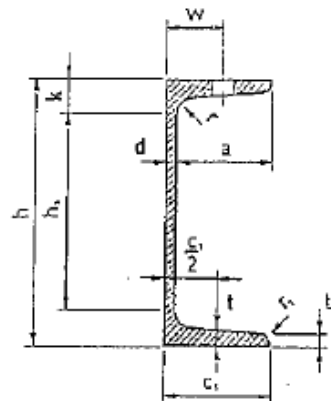
UNP

Neigung der inneren Flansch-
flächen:

$h \leq 300$ 8%
 $h > 300$ 5%

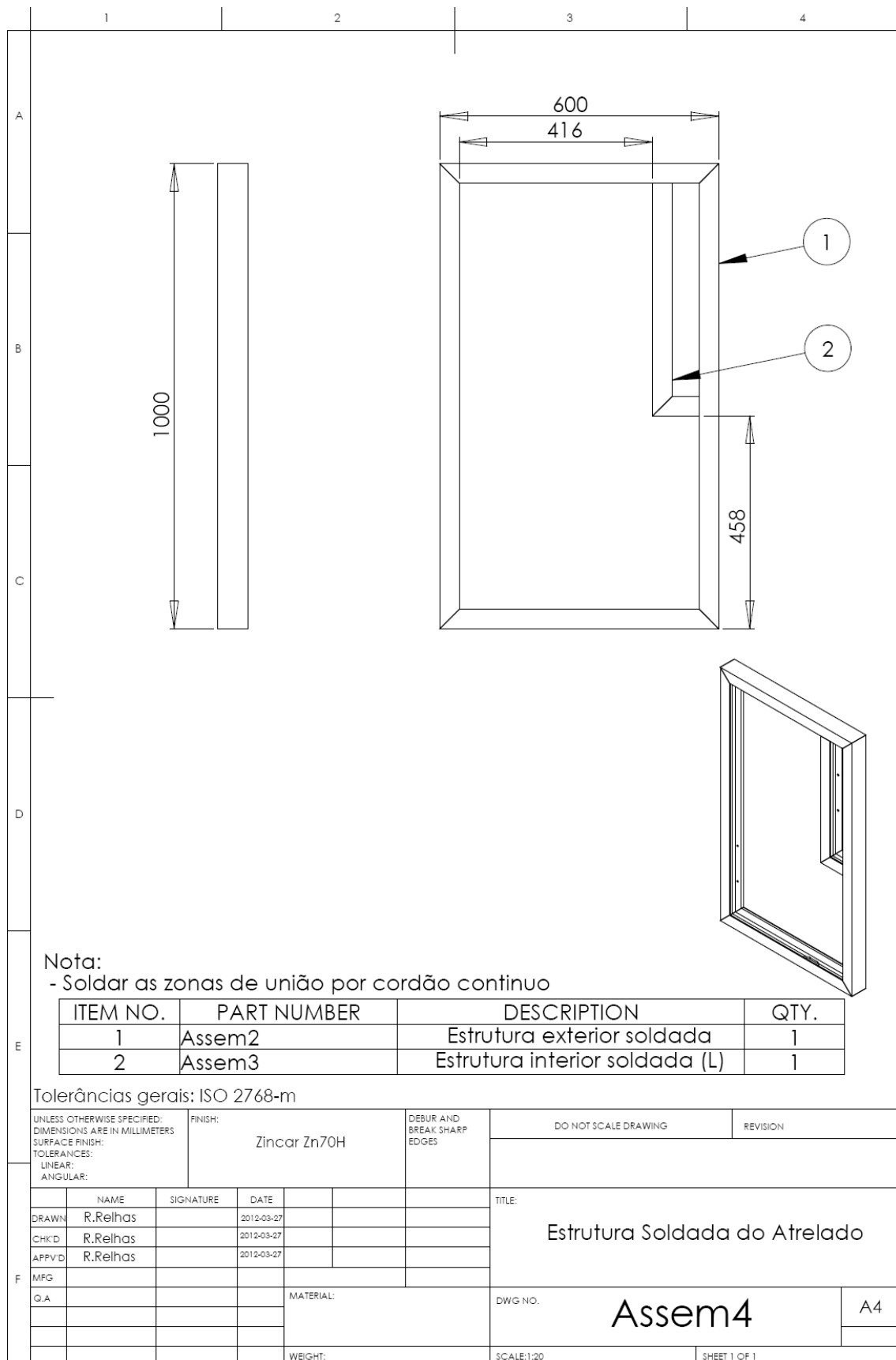
inclinaison des ailes:

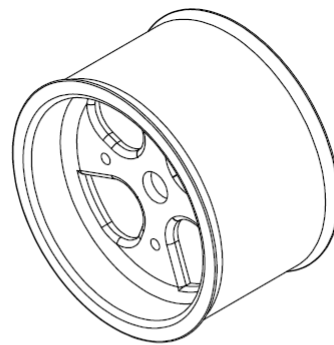
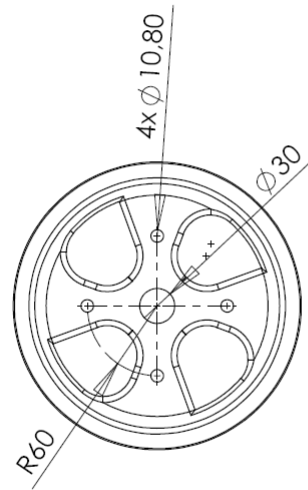
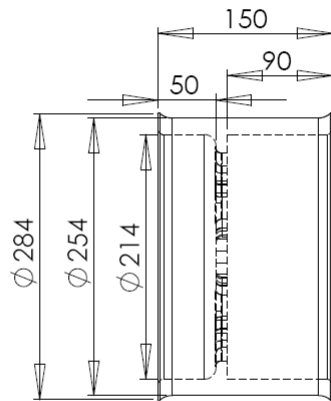
$h \leq 300$ 8%
 $h > 300$ 5%



E	m kg/m	e mm	a _c mm	Profilmasse Dimensions des profilés					Konstruktionsmasse Données constructives						Oberfläche Surface		E
				h	c ₁	d	t=r	r ₁	h ₁	k	t ₁	a	w	φ _{max}	U _m m ² /m	U _t m ² /t	
65	7,09	14,2	26,0	65	42	5,5	7,5	4	33	16	5,8	36	22	M10	0,273	38,5	65
80	8,64	14,5	26,7	80	45	6	8	4	46	17	6,2	39	25	M12	0,312	36,1	80
100	10,6	15,6	29,3	100	50	6	8,5	4,5	64	18	6,5	44	30	M12	0,372	35,1	100
120	13,4	16,0	30,3	120	55	7	9	4,5	82	19	6,8	48	30	M16	0,434	32,4	120
140	16,0	17,5	33,7	140	60	7	10	5	98	21	7,6	53	35	M16	0,489	30,6	140
160	18,8	18,4	35,6	160	65	7,5	10,5	5,5	114	23	7,9	57	35	M20	0,546	29,0	160
180	22,0	19,2	37,5	180	70	8	11	5,5	132	24	8,2	62	40	M20	0,611	27,8	180
200	25,3	20,1	39,4	200	75	8,5	11,5	6	150	25	8,5	66	40	M20	0,651	26,1	200
220	29,4	21,4	42,0	220	80	9	12,5	6,5	166	27	9,3	71	45	M20	0,718	24,4	220
240	33,2	22,3	43,9	240	85	9,5	13	6,5	184	28	9,6	75	45	M24	0,775	23,3	240
260	37,9	23,6	46,5	260	90	10	14	7	200	30	10,4	80	50	M24	0,834	22,0	260
280	41,8	25,3	50,2	280	95	10	15	7,5	216	32	11,2	85	50	M24	0,890	21,3	280
300	46,2	27,0	54,1	300	100	10	16	8	232	34	12,0	90	55	M27	0,950	20,6	300
320*)	59,5	28,0	48,2	320	100	14	17,5	8,8	246	37	15,4	86	58	M27	0,982	16,5	320*)
350*)	60,6	24,0	44,5	350	100	14	16	8	282	34	13,8	86	58	M27	1,05	17,3	350*)
380*)	63,1	23,8	45,8	380	102	13,5	16	8	312	34	14,4	88	60	M27	1,11	17,7	380*)
400*)	71,8	26,5	51,1	400	110	14	18	9	324	38	15,6	96	60	M27	1,18	16,5	400*)

ANEXO J – Alguns dos Desenhos de definição do equipamento





Tolerâncias gerais: ISO 2768-m

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH: Pintado - PE
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:	
--------	--

Jante

	DWG NO.
--	---------

100-12-001

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

WEIGHT:

A

B

C

D

E

F

