



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

**Mistura Betuminosa Drenante em vias urbanas:  
Desempenho e manutenção**  
Alameda da Europa, Covilhã

**Ana Isabel Ferreira Tavares**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**  
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Marisa Sofia Fernandes Dinis de Almeida  
Coorientadora: Prof. Doutora Ana Lúcia Moreira Machado Santos das Virtudes

**Covilhã, junho de 2013**



# Dedicatória

À minha família.



# Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível devido ao apoio, dedicação, empenho e ajuda de várias pessoas às quais gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos:

Às minhas orientadoras Prof. Doutora Marisa Sofia Fernandes Dinis de Almeida e à Prof. Doutora Ana Lídia Moreira Machado Santos das Virtudes pelo apoio incondicional, pela ajuda e disponibilidade prestadas, pelo constante incentivo e encorajamento, pelas sugestões sugeridas, pelos concelhos e principalmente pela amizade e pelos momentos de boa disposição.

À Universidade da Beira Interior, pelo contributo à minha formação e acolhimento durante estes anos e pelas condições colocadas à disposição na realização desta dissertação.

À CEPISA Portuguesa, SA pelos betumes disponibilizados e pelo seu contributo na realização deste trabalho.

Aos Srs. Albino, Félix e Luciano, técnicos dos laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, pelo valioso apoio prestado na execução do trabalho experimental.

Ao Prof. Doutor Miguel Nepomuceno, pelas dicas, sugestões e ajuda prestadas na realização deste trabalho.

Ao Professor Clemente Pinto, pela ajuda prestada na execução do trabalho experimental.

Ao Sr. Luís Fiadeiro, da Divisão de Obras Públicas da Câmara Municipal da Covilhã pela ajuda e contributo prestados e pelas informações e material fornecido para a realização deste estudo.

Ao Sr. Zé Miguel, do Departamento de Planeamento e Urbanismo da Câmara Municipal da Covilhã pelas informações fornecidas de apoio na realização deste trabalho.

À minha amiga de “guerra” a Fátima, pela amizade, companheirismo, incentivo, ajuda e pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho e durante os seis anos de amizade.

À minha amiga Cátia, pelo apoio, companheirismo, incentivo, amizade e pela compreensão durante estes dois anos.

Aos meus colegas e amigos por me terem acompanhado ao longo do meu percurso acadêmico, em especial àqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, a toda a minha família, em especial aos meus pais, irmão e avó, por me acompanharem ao longo da vida.

A todos um Muito Obrigada.

# Resumo

Com o crescimento da urbanização e o conseqüente aumento da impermeabilidade do solo em áreas urbanas, há a necessidade de repensar os pavimentos utilizados em infraestruturas urbanas, incluindo ruas e passeios, a fim de garantir as suas características funcionais.

Com as mudanças climáticas, há grandes picos de fluxos de águas pluviais em curtos períodos de tempo, devido às chuvas que afetam o desempenho dos pavimentos convencionais. Este facto dificulta o tráfego e promove situações de inundação. Assim, a presente dissertação visa desenvolver em laboratório, uma solução de mistura betuminosa drenante para ser utilizada em vias urbanas, mostrando um melhor desempenho, na resposta à drenagem de águas pluviais, quando comparada com os pavimentos utilizados. Consequentemente, esta mistura betuminosa drenante permite uma maior segurança e conforto para o tráfego (automóveis e peões). Estuda-se também uma via urbana, a "Alameda da Europa", na cidade da Covilhã, a fim de a caracterizar em relação às suas funções, morfologia e composição e avaliar os pavimentos nela utilizados. Na mistura betuminosa drenante desenvolvida no laboratório, foi utilizado um betume modificado por polímeros. Também foram usados resíduos das Minas da Panasqueira e britas.

No estudo de caso "Alameda da Europa", foram extraídos carotes dos pavimentos, de modo a compará-los com a mistura betuminosa drenante produzida em laboratório.

No final, houve a possibilidade de verificar que a mistura betuminosa drenante apresenta um melhor desempenho, em termos das características estudadas, permeabilidade e perda por desgaste. No que diz respeito à incorporação de resíduos das Minas da Panasqueira, os resultados menos favoráveis.

## Palavras-chave

Mistura betuminosa drenante, vias urbanas, desempenho, manutenção, Alameda da Europa, Covilhã.



# Abstract

With the growing of urbanization and the consequent increase of soil imperviousness in urban areas, there is the need of rethinking the pavements used in urban infrastructures, including roads and sidewalks, in order to ensure their functional features.

With the climatic changes, there are large peaks of water flows in short periods of time due to the rainfall that affects the performance of conventional pavements. This fact hampers the traffic and promotes flooding situations. In this sense, this Thesis aims to develop in lab, a solution of porous asphalt to be used in urban streets, showing a better performance in its response to the storm water drainage, when compared with the used pavements. Consequently, this porous asphalt allows greater safety and comfort for traffic (cars and citizens). It aims also to study an urban street, the 'Alameda da Europa', in the city of Covilhã, in order to characterize it in relation to its functions; morphology and composition and to assess the pavements used on it. In the porous asphalt developed in laboratory, it was used a bituminous binder modified by polymers. It was also used waste from Panasqueira's Mines and gravel.

In the case study "Alameda da Europa", were extracted pavement materials in order to compare them with the porous asphalt produced in the laboratory.

In the end, there was the possibility of checking that the porous asphalt shows a better performance, in terms of the studied features, permeability and wear loss. Regarding the incorporation of Panasqueira's Mines waste, the results were less favourable.

# Keywords

Porous asphalt, urban roads, maintenance, performance, Alameda da Europa, Covilhã.



# Índice

CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1 Formulação do Problema de Pesquisa	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura	4
1.5 Justificação	4
CAPÍTULO 2 - Tipos de vias urbanas e suas funções	7
2.1 As vias no contexto das infraestruturas urbanas	7
2.2 Principais funções das vias urbanas	9
2.2.1 Rua vs. Estrada	9
2.2.2 Funções das vias urbanas	11
2.3 Critérios de classificação das vias urbanas	14
2.3.1 Vias estruturantes	16
2.3.1.1 Vias coletoras ou arteriais	16
2.3.1.2 Vias distribuidoras principais	17
2.3.2 Vias de acesso	18
2.3.2.1 Vias distribuidoras locais	18
2.3.2.2 Vias de acesso local	19
2.4 Morfologia e composição das ruas	21
2.4.1 Faixa de rodagem	22
2.4.2 Passeio	22
2.4.3 Estacionamento	24
2.5 Síntese das funções das vias urbanas	27
CAPÍTULO 3 - Estudo de caso: Alameda da Europa, Covilhã	29
3.1 Localização da área em estudo	29
3.2 Caracterização morfológica da via em estudo	30
3.2.1 Funções, composição e perfil	30
3.2.2 Pavimentos	36
3.3 Síntese	39
CAPÍTULO 4 - Mistura betuminosa drenante	41
4.1 Aspectos gerais das misturas betuminosas	41
4.2 Mistura betuminosa drenante	42
4.2.1 Experiências estrangeiras da mistura drenante	46

4.2.2	Materiais utilizados	48
4.2.2.1	Agregados	48
4.2.2.2	Ligante betuminoso	48
4.3	Formulação da mistura betuminosa drenante	51
4.4	Processo de produção, colocação em obra e compactação	51
4.4.1	Fabricação e transporte	52
4.4.2	Colocação em obra	53
4.4.3	Compactação	55
4.5	Vantagens	55
4.5.1	Aderência	56
4.5.2	Visibilidade	57
4.5.3	Ruído	57
4.6	Desvantagens	58
4.6.1	Vida útil	58
4.6.2	Económicas	59
4.6.3	Colmatação	59
4.6.4	Drenagem	59
4.6.5	Viabilidade invernal	60
4.6.6	Comportamento mecânico	60
4.7	Recomendações para a manutenção da camada drenante	60
4.7.1	Inspeção	61
4.7.2	Manutenção de rotina	62
4.8	Síntese	62
CAPÍTULO 5 - Estudo experimental da mistura betuminosa drenante		65
5.1	Caracterização dos materiais utilizados	65
5.1.1	Agregados	65
5.1.1.1	Análise granulométrica	66
5.1.1.2	Massa volúmica e absorção de água	67
5.1.1.3	Desgaste na máquina de Los Angeles	68
5.1.2	Cal Hidráulica	69
5.1.2.1	Massa volúmica	70
5.1.3	Resíduo das escombreyras das Minas da Panasqueira	70
5.1.3.1	Análise granulométrica	73
5.1.3.2	Massa volúmica e absorção de água	73
5.1.3.3	Desgaste na máquina de Los Angeles	74
5.1.4	Ligante Betuminoso	75
5.1.4.1	Ligantes utilizados	75
5.1.4.2	Características dos ligantes utilizados	75
5.2	Dosagens dos componentes e fabrico das misturas	76

5.2.1 Estudo da Composição das misturas	76
5.2.1.1 Seleção do fuso granulométrico	76
5.2.1.2 Requisitos das misturas drenantes	77
5.2.1.3 Formulação laboratorial das misturas	77
5.2.1.4 Determinação da quantidade de ligante	79
5.2.2 Fabrico dos corpos de prova	80
5.2.3 Caracterização dos corpos de prova	82
5.2.3.1 Baridade	82
5.2.3.2 Baridade máxima teórica	83
5.2.3.3 Porosidade	84
5.3 Ensaio para determinar as propriedades dos provetes	87
5.3.1 Ensaio do Módulo de Rigidez (ITSM)	87
5.3.2 Ensaio da Permeabilidade	91
5.3.3 Ensaio da Perda por Desgaste	96
5.3.4 Ensaio da Sensibilidade à água	99
5.4 Carotagem <i>in situ</i>	103
5.4.1 Caracterização das carotes	103
5.4.1.1 Baridade	104
5.4.1.2 Baridade Máxima Teórica	106
5.4.1.3 Porosidade	106
5.5 Ensaio para determinar as propriedades das carotes	107
5.5.1 Ensaio da Permeabilidade	107
5.5.2 Ensaio da Perda por Desgaste	108
5.6 Comparação das misturas produzidas em laboratório e das carotes <i>in situ</i>	109
5.7 Síntese	111
 CAPÍTULO 6 - Conclusão	 113
 BIBLIOGRAFIA	 117



# Lista de Figuras

## CAPÍTULO 2 - Tipos de vias urbanas e suas funções

Figura 2.1 - Exemplo de rua (à esq.) e estrada (à dir.) - Covilhã, 2013	10
Figura 2.2 - (1) Efeito de barreira na Rua Marquês de Ávila e Bolama; (2) Efeito de barreira na Rua Avenida do Anil; (3) Efeito de barreira na Rua Dr. Manuel Castro Martins; (4) Efeito barreira na Alameda da Europa, Covilhã, 2013	11
Figura 2.3 - Descrição da hierarquia da rede viária	13
Figura 2.4 - Função das vias em termos espaciais	13
Figura 2.5 - Classificação das vias urbanas	16
Figura 2.6 - Perfil transversal tipo de uma via coletora ou arterial	17
Figura 2.7 - Perfil transversal tipo de uma via distribuidora principal	18
Figura 2.8 - Perfil transversal tipo de uma via distribuidora local	19
Figura 2.9 - Perfil transversal tipo de uma via de acesso local	19
Figura 2.10 - Ilustração de uma sequência hierárquica de vias	20
Figura 2.11 - Espaços componentes de uma via urbana	21
Figura 2.12 - Espaços componentes de um passeio completo	24
Figura 2.13 - Tipos de estacionamento	26

## CAPÍTULO 3 - Estudo de caso: Alameda da Europa, Covilhã

Figura 3.1 - Localização geográfica da área de estudo	29
Figura 3.2 - Caracterização da Alameda da Europa e das ruas com as quais estabelece ligações	30
Figura 3.3 - Visualização fotográfica da Alameda da Europa, Covilhã, 2013	31
Figura 3.4 - Demarcação do troço em estudo	31
Figura 3.5 - Identificação dos edifícios	32
Figura 3.6 - Distribuição das atividades em percentagem	33
Figura 3.7 - Levantamento aéreo da via em estudo, nomeadamente o perfil transversal realizado	34
Figura 3.8 - Perfil transversal da Alameda da Europa (adimensional)	35
Figura 3.9 - Exemplos de imagens de mobiliário urbano - Alameda da Europa, Covilhã, 2013	35
Figura 3.10 - Superfície dos pavimentos em percentagem	36
Figura 3.11 - (1) Imagem do pavimento da faixa de rodagem; (2) Imagem do pavimento do passeio; (3) Imagem do estacionamento	36
Figura 3.12 - Rede viária (à esq.) e passeio (à dir.) num dia chuvoso	37

Figura 3.13 - Alameda da Europa em época de pluviosidade, Covilhã 2012	37
Figura 3.14 - Impermeabilização no separador central	37
Figura 3.15 - Tela de impermeabilização nos espaços verdes	38
Figura 3.16 - Localização geográfica da rua Centro de Artes, Covilhã	38

#### **CAPÍTULO 4 - Mistura betuminosa drenante**

Figura 4.1 - Tipos de misturas betuminosas	42
Figura 4.2 - Mistura betuminosa drenante	42
Figura 4.3 - Mistura betuminosa drenante sobre a camada impermeável	43
Figura 4.4 - Camada drenante vs. camada convencional	44
Figura 4.5 - Classificação dos poros	45
Figura 4.6 - Tipos de poros da mistura drenante	45
Figura 4.7 - Esquema dos diferentes tipos de polímeros	50
Figura 4.8 - Processo de fabricação até à compactação das misturas drenantes	52
Figura 4.9 - Exemplos de rebaixamento das misturas drenantes	54
Figura 4.10 - Perfil ilustrativo do processo de funcionamento de um pavimento com camada drenante	55
Figura 4.11 - Contacto do pneu-pavimento numa mistura betuminosa densa	56
Figura 4.12 - Contacto do pneu-pavimento numa mistura betuminosa drenante	56

#### **CAPÍTULO 5 - Estudo experimental da mistura betuminosa drenante**

Figura 5.1 - Brita 6/15 (à esq.) e brita 3/6 (à dir.)	66
Figura 5.2 - Pó de Pedra	66
Figura 5.3 - Curva granulométrica das britas 3/6 e 6/15 e do pó de pedra	67
Figura 5.4 - Cal hidráulica	69
Figura 5.5 - Localização geográfica das Minas da Panasqueira	70
Figura 5.6 - Vista das escombreyras das Minas da Panasqueira	71
Figura 5.7 - Vista aérea das escombreyras da concessão da Barroca Grande	72
Figura 5.8 - Resíduo das escombreyras das Minas da Panasqueira	72
Figura 5.9 - Curva granulométrica do resíduo das Minas da Panasqueira	73
Figura 5.10 - Curva granulométrica da mistura de agregados na formulação das várias misturas	79
Figura 5.11 - Processo de preparação dos provetes: (1) Colocação dos agregados no recipiente; (2) Adição do betume na mistura de agregados; (3) Colocação da mistura no molde; (4) Compactador de impacto; (5) Proвете final no molde	81
Figura 5.12 - Determinação da baridade das misturas drenantes	82
Figura 5.13 - Representação gráfica das porosidades	85
Figura 5.14 - Equipamento NAT do ensaio do módulo de rigidez (DECA - UBI)	87

Figura 5.15 - Equipamento para determinação do módulo de rigidez	88
Figura 5.16 - Módulo de rigidez para as misturas produzidas	90
Figura 5.17 - Módulo de rigidez para misturas com diferentes teores de betume	90
Figura 5.18 - Equipamento da permeabilidade vertical (à esq.) e permeabilidade horizontal (à dir.)	92
Figura 5.19 - (1) Permeabilidade vertical; (2) Permeabilidade horizontal; (3) Cronometração do tempo de escoamento	93
Figura 5.20 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas estudadas	95
Figura 5.21 - Ensaio da perda por desgaste com o tambor de Los Angeles	96
Figura 5.22 - Perdas por desgaste obtidas das misturas estudadas	97
Figura 5.23 - Provette antes (à esq.) e após (à dir.) o ensaio da perda por desgaste	98
Figura 5.24 - Provetes do segundo grupo submetidos a vácuo	99
Figura 5.25 - Ensaio de tração indireta	100
Figura 5.26 - Sensibilidade à água	101
Figura 5.27 - Carotagem <i>in situ</i> na faixa de rodagem	103
Figura 5.28 - Carotagem <i>in situ</i> no passeio	104
Figura 5.29 - Carotes da faixa de rodagem com superfícies regularizadas	104
Figura 5.30 - Carotes do passeio com superfícies regularizadas	104
Figura 5.31 - Baridade das carotes da faixa de rodagem e do passeio	105
Figura 5.32 - Permeabilidade vertical de uma carote da faixa de rodagem e do passeio	107
Figura 5.33 - Carote da faixa de rodagem antes (à esq.) e após (à dir.) o ensaio da perda por desgaste	109
Figura 5.34 - Carote do passeio antes (à esq.) e após (à dir.) o ensaio da perda por desgaste	109



# Lista de Quadros

## CAPÍTULO 2 - Tipos de vias urbanas e suas funções

Quadro 2.1 - Hierarquia da rede viária urbana (revisão PDM Lisboa)	15
Quadro 2.2 - Parâmetros de dimensionamento para os arruamentos aplicável às novas urbanizações	22
Quadro 2.2 - Parâmetros de dimensionamento para os arruamentos pedonais aplicável às novas urbanizações	24
Quadro 2.2 - Parâmetros de dimensionamento para o estacionamento aplicável às novas urbanizações	25

## CAPÍTULO 3 - Estudo de caso: Alameda da Europa, Covilhã

Quadro 3.1 - Área de implantação dos edifícios	33
--	----

## CAPÍTULO 5 - Estudo experimental da mistura betuminosa drenante

Quadro 5.1 - Massa volúmica e absorção de água das britas 3/6 e 6/15 e do pó de pedra	68
Quadro 5.2 - Coeficiente de Los Angeles da brita 6/15	69
Quadro 5.3 - Massa volúmica da Cal hidráulica	70
Quadro 5.4 - Massa volúmica e absorção de água para o resíduo das Minas da Panasqueira	74
Quadro 5.5 - Coeficiente de Los Angeles do resíduo das Minas da Panasqueira	74
Quadro 5.6 - Características do betume asfáltico 35/50	75
Quadro 5.7 - Características do betume modificado por polímeros <i>styrelf</i> 13/60	76
Quadro 5.8 - Fuso granulométrico para betão betuminoso drenante	76
Quadro 5.9 - Requisitos mínimos das misturas drenantes	77
Quadro 5.10 - Percentagem de agregados e resíduo para a formulação das misturas	78
Quadro 5.11 - Granulometria das misturas estudadas	78
Quadro 5.12 - Quantidades de betume para as diferentes misturas estudadas	80
Quadro 5.13 - Baridades médias das misturas	83
Quadro 5.14 - Baridade máxima teórica das misturas preparadas	84
Quadro 5.15 - Porosidade dos provetes	85
Quadro 5.16 - Porosidade das misturas com diferentes percentagens de betume	91
Quadro 5.17 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas	94

estudadas	
Quadro 5.18 - Ensaio da perda por desgaste dos provetes	97
Quadro 5.19 - Ensaio da sensibilidade à água (EN 12697-12 - Método A), a 15 °C	101
Quadro 5.20 - Tipo de rotura dos provetes	103
Quadro 5.21 - Baridade das carotes	105
Quadro 5.22 - Baridade máxima teórica das carotes	106
Quadro 5.23 - Porosidade das carotes	107
Quadro 5.24 - Coeficientes de permeabilidade das carotes	108
Quadro 5.25 - Perda por desgaste das carotes	108
Quadro 5.26 - Características das misturas drenantes produzidas em laboratório e das carotes <i>in situ</i>	110

# Lista de Acrónimos

a.c. - área de construção  
a.c.f. - área média do fogo  
a.c.m. - área de construção para comércio  
a.c.serv. - área de construção para serviços  
ACTVL - Asphalt Concrete for Very Thin Layers  
BBd - Betão Betuminoso drenante  
CE EP - Caderno de Encargos das Estradas de Portugal  
Comb. - Rotura combinada  
dB - decibéis  
DECA - Departamento de Engenharia Civil e de Arquitetura  
E - Especificação  
EN - Norma europeia  
EVA - Etileno acetato de vinila  
FHWA - Federal Highway Administration  
IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres  
ITS<sub>m</sub> - Resistência à tração indireta média  
ITSR - Resistência conservada em tração indireta  
ITSM - Indirect Tensile Stiffness Modulus Tests  
JH - Japan Highway Public Corporation  
k<sub>v</sub> - Coeficiente de permeabilidade vertical  
k<sub>h</sub> - Coeficiente de permeabilidade horizontal  
LCS - Laboratório de Caminos de Santander  
LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
LVDT - Linear VARIable Displacement Transducer  
NA - Nada a assinalar  
NAT - Nottingham Asphalt tester  
NLT - Normas del Laboratorio del Transporte  
NP - Norma portuguesa  
NP EN - Norma Portuguesa baseada na Norma Europeia  
OGFC - Open-graded friction course  
PA - Porous Asphalt  
PDM - Plano Diretor Municipal  
P<sub>ITS</sub> - Resistência máxima à tração indireta  
PP - Plano de Pormenor  
PU - Plano de Urbanização  
rpm - Rotações por minuto  
SBR - Estireno butadieno  
SBS - Estireno butadiene estireno  
TRL - Transportation Research Laboratory  
UBI - Universidade da Beira Interior



# CAPÍTULO 1 - Introdução

## 1.1 Formulação do problema de pesquisa

Com o crescimento urbanístico e o conseqüente aumento da mobilidade nas vias urbanas, requerem-se medidas de forma a garantir as condições de segurança necessárias aos utentes. Um dos problemas que não só afeta o desempenho das vias urbanas, como prejudica a segurança dos utentes é a retenção de águas pluviais à superfície, em resultado da utilização de pavimentos que não estão aptos para lhes dar resposta i.e. impermeáveis.

A influência das alterações climáticas que se têm vindo a verificar, como seja a pluviosidade cada vez mais abundante em curtos períodos de tempo, podem levar a grandes estragos em meio urbano, por vezes irreversíveis. A expansão das áreas urbanas e a diminuição do coberto vegetal resultou no aumento das áreas impermeáveis representadas por edifícios, passeios, ruas ou estacionamento, alterando as características do ciclo hidrológico. A água proveniente das chuvas é dificilmente absorvida pelo pavimento, resultando num aumento do caudal à superfície e contribuindo para a ocorrência de inundações (Alessi-Fernando et. al.,2006: 141).

Por outro lado, tendo em conta a frequente impermeabilização dos pavimentos das vias urbanas, as chuvas podem levar à degradação e desgaste precoce dos mesmos. Este problema deve-se ao inadequado projeto de drenagem e também ao tipo de mistura betuminosa pouco porosa utilizada nas camadas superficiais.

Estes fenómenos podem trazer prejuízos para os pavimentos levando ao desconforto e insegurança de trânsito automóvel e circulação pedonal dos utentes e residentes. Conseqüentemente, o excesso de água acumulado no pavimento pode trazer várias conseqüências, tais como, o impedimento da circulação, a ocorrência de acidentes levando à perda de bens ou até perda de vidas humanas, além dos impactos decorrentes diretamente do escoamento da água como a acumulação de diversos detritos nas superfícies das ruas, calçadas, ciclovias, passagens pedonais e estacionamento (Marchioni, M. & Silva, C. O., 2010: 6).

Já existem soluções de pavimentos mais permeáveis, sendo a sua utilização escassa ou inexistente em meio urbano, por serem mais dispendiosos em termos financeiros, uma vez que utilizam betumes de melhor qualidade (a exemplo das autoestradas). Nas vias urbanas os pavimentos betuminosos convencionais utilizados na faixa de rodagem e os materiais utilizados nos passeios apresentam, de uma maneira geral, uma baixa porosidade não estando

preparados para dar resposta aos problemas referidos anteriormente e, conseqüentemente, influenciando as suas características em termos de desempenho e de durabilidade.

Ora, esta problemática também se verifica na cidade da Covilhã, nomeadamente nas zonas mais recentes de expansão urbana. Assim, o estudo de caso será um troço da Alameda da Europa, na cidade da Covilhã. Trata-se de uma zona de elevada densidade construtiva e populacional, num bairro de edifícios de habitação coletiva que tem vindo a fixar um grande número de população. Por outro lado, esta zona tem a forte presença de atividades terciárias (comércio e serviços) onde se encontra o maior centro comercial, a central de camionagem, escolas, bancos e outras atividades, contribuindo para que seja bastante movimentada. Nesta zona, observa-se que as soluções em termos de materiais utilizados nos pavimentos, quer na faixa de rodagem e estacionamento quer nos passeios, comportam-se em termos de desempenho e durabilidade de forma propícia à ocorrência dos estragos que anteriormente foram descritos. Conseqüentemente, a questão da impermeabilização dos pavimentos neste local é particularmente pertinente, dada a escassez de espaços verdes ou a sua cobertura com uma tela impermeável, sobre a qual são colocados agregados e outros materiais, dificultando a absorção das águas pluviais e agravando o risco de inundação.

## 1.2 Objetivos

Face à problemática anteriormente descrita pretendem-se estudar nesta dissertação as vias urbanas de modo a compreender as suas funções, morfologia e sua composição. Esta análise visa possibilitar uma melhor compreensão dos tipos de materiais utilizados nos pavimentos de cada uma das partes que a constituem, de forma a avaliar o seu desempenho em termos de permeabilidade.

Assim, o objetivo desta dissertação de mestrado é desenvolver em laboratório uma solução de mistura betuminosa drenante a utilizar em vias urbanas, que revele um melhor desempenho na sua capacidade de resposta à drenagem de águas pluviais, quando comparada com os pavimentos utilizados. Conseqüentemente, esta mistura permitiria uma maior segurança e conforto para a circulação dos utentes.

Pretende-se utilizar na mistura resíduos provenientes da indústria extrativa das minas da Panasqueira, Covilhã, em substituição parcial dos agregados naturais. Esta solução, visa determinar possíveis vantagens económicas e ambientais da redução na utilização de recursos naturais não renováveis, contribuindo ainda para reduzir a quantidade destes resíduos depositados a céu aberto.

Os trabalhos de laboratório, incluem a caracterização da mistura, isto é a baridade e a porosidade e serão realizados alguns ensaios, nomeadamente o módulo de rigidez, o ensaio de permeabilidade (permeâmetro LCS), da perda por desgaste e da sensibilidade à água.

No estudo de caso da Alameda da Europa pretende-se proceder à carotagem de todos os materiais utilizados nos pavimentos (faixas de rodagem, estacionamento e passeios) de modo a comparar a mistura desenvolvida em laboratório com as desta via, em termos de desempenho e manutenção.

### 1.3 Metodologia

Esta dissertação compreende quatro fases metodológicas.

Numa primeira fase, este trabalho consistiu numa pesquisa bibliográfica, que se baseou no estudo da caracterização funcional e classificação das vias urbanas, levando a uma comparação e a uma descrição dos critérios urbanos e à breve descrição das infraestruturas no meio urbano. Esta pesquisa bibliográfica incidiu também sobre as misturas betuminosas drenantes, a sua formulação e processo de produção e colocação em obra de modo a perceber as suas vantagens.

Numa segunda fase procedeu-se ao levantamento *in loco*, levantamento fotográfico e fotografia aérea de modo a caracterizar a via e carotagem *in situ* para caracterizar os materiais nos pavimentos. Este levantamento *in loco* foi complementado com a recolha documental de cartografia, fotografia aérea, plantas e mapas sobre a área de estudo, recorrendo à divisão de obras públicas e ao departamento de planeamento e urbanismo da Câmara Municipal da Covilhã.

Numa terceira fase caracterizou-se o estudo de caso em duas vertentes, por um lado em termos morfológicos e por outro lado desenvolveu-se o estudo experimental da mistura betuminosa drenante. Assim realizaram-se ensaios laboratoriais utilizando-se corpos de prova provenientes da Alameda da Europa e produzidos no laboratório, sendo depois comparados o desempenho e as características dos materiais com o objetivo de analisar as vantagens de cada um deles relativamente à porosidade, permeabilidade e perda por desgaste. Os agregados utilizados são agregados naturais graníticos e também resíduos recolhidos nas minas da Panasqueira, de forma a obter uma mistura económica e ambientalmente sustentável.

Numa última fase procedeu-se à elaboração de um conjunto de recomendações técnicas da utilização da mistura betuminosa drenante em vias urbanas.

## 1.4 Estrutura

Esta dissertação está estruturada em quatro partes fundamentais.

No capítulo 2: TIPOS DE VIAS URBANAS E SUAS FUNÇÕES, faz-se uma abordagem relativamente às ruas em meio urbano, em particular a sua classificação e hierarquia, assim como a constituição de cada elemento das vias.

No capítulo 3: ESTUDO DE CASO: ALAMEDA DA EUROPA, COVILHÃ, faz-se a localização da via em estudo, a sua classificação em termos de funcionalidade e a problemática dos pavimentos desta via, particularmente em épocas de chuva. Também se faz a localização da carotagem *in situ* concretizada.

No capítulo 4: MISTURA BETUMINOSA DRENANTE, apresenta-se o enquadramento teórico referente às misturas betuminosas drenantes, onde se observam as soluções de aplicação desta camada, as vantagens e desvantagens que estas arrecadam consigo. Faz-se ainda referência ainda a algumas formas de manutenção de modo a minorar as desvantagens apresentadas. Também, se analisa a utilização das misturas drenantes no Mundo.

O capítulo 5: ESTUDO EXPERIMENTAL DA MISTURA BETUMINOSA DRENANTE, apresenta a caracterização dos materiais utilizados no desenvolvimento da mistura betuminosa drenante (agregados naturais e betume), a caracterização dos resíduos das minas da Panasqueira, a recolha e caracterização de carotes nos pavimentos em estudo, a produção de provetes e a sua caracterização em laboratório, a análise da resistência à desagregação, a avaliação da sua permeabilidade através da realização do ensaio do permeâmetro LCS (desenvolvido em Espanha pelo Laboratório de *Caminos de Santander*) e a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

## 1.5 Justificação

Com este trabalho pretendem-se conjugar duas vertentes da Engenharia Civil: o planeamento urbanístico e os materiais. Assim, articula-se o estudo das vias urbanas e suas características com a análise das misturas betuminosas drenantes, de forma a enriquecer os conhecimentos em áreas de estudos complementares numa abordagem multidisciplinar. Consequentemente, é necessário compreender numa primeira vertente o ponto de vista das vias urbanas e noutra a importância que os pavimentos representam para os meios urbanos.

Pretende-se estudar um troço da Alameda da Europa, na cidade da Covilhã, pois é uma das ruas mais movimentadas devido ao aumento da concentração habitacional, dos serviços e do

comércio que aí se encontram e, particularmente, o centro comercial que atrai muitas pessoas.

Há que ter em atenção que as camadas drenantes dos pavimentos, com a sua utilização, vão sofrendo desgaste superficial e colmatação dos vazios, comprometendo o seu desempenho. Pelo que, para que se possam evitar estes problemas, sistematizam-se algumas recomendações acerca da manutenção destes pavimentos, uma vez que a sua boa funcionalidade está relacionada com a sua capacidade de drenagem relativamente à água que cai sobre eles.



## CAPÍTULO 2 - Tipos de vias urbanas e suas funções

Neste capítulo será abordada a temática referente às vias em meio urbano, assim como a sua classificação. Será explicada a morfologia e composição de cada constituinte das vias urbanas e as suas funções, de modo a melhor compreender a via em estudo de caso: um trecho da Alameda da Europa, na cidade da Covilhã; em análise no Capítulo 3.

### 2.1 As vias no contexto das infraestruturas urbanas

As infraestruturas urbanas são sistemas técnicos que suportam o funcionamento dos aglomerados urbanos e do tecido edificado no seu conjunto, cujo objetivo principal é assegurar a prestação de serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas. Para tal implicam, três ações: a sua construção, a sua manutenção e a sua utilização estabelecendo uma relação com o utilizador (AA.VV.), quer seja residente quer seja utente.

As funções a desempenhar pelas infraestruturas urbanas podem ser sistematizadas em três dimensões: social, económica e institucional. Sob o aspeto social, as infraestruturas urbanas visam promover as condições adequadas ao funcionamento das atividades dos espaços urbanos, tais como a habitação, os locais de trabalho, os serviços de saúde, educação, lazer ou segurança ou ainda a circulação. Sob o aspeto económico, devem proporcionar o desenvolvimento das atividades produtivas, entre as quais, a produção e comercialização de bens e serviços, energia, conhecimento ou tecnologia. Por último, em termos institucionais, as infraestruturas urbanas devem proporcionar os meios necessários ao bom funcionamento das atividades político-administrativas, de gestão da cidade e do território (ZMITROWICZ *et al.*, 1997: 2). Assim, as infraestruturas urbanas compreendem todas as redes de infraestruturas desenhadas à escala da cidade, para servir os seus habitantes e atividades.

“As infraestruturas urbanas são os sistemas técnicos de suporte ao funcionamento dos aglomerados urbanos ou da edificação em conjunto.” (in Decreto Regulamentar n.º9/2009, de 29 de Maio citado por ROCHA e BATALHÃO, 2010: 120). De acordo com esta fonte, servem diretamente os espaços urbanos e as edificações, através dos seguintes sistemas intraurbanos:

- Circulação - engloba as redes e instalações associadas aos diferentes modos de transporte (trânsito e estacionamento de veículos e circulação pedonal);
- Abastecimento de água - inclui as redes e instalações associadas ao armazenamento local e à distribuição de água;
- Drenagem de águas residuais e pluviais - abrange as redes e instalações associadas à recolha e encaminhamento para tratamento ou rejeição de águas residuais e pluviais;

- Resíduos sólidos urbanos - integra as redes de recolha, armazenamento e encaminhamento para tratamento e rejeição dos resíduos sólidos urbanos;
- Distribuição de energia e de telecomunicações fixas e móveis.

O conceito de obras de urbanização é utilizado para aludir à criação ou remodelação de infraestruturas com o fim de servir os espaços urbanos e as edificações. Inclui para além das infraestruturas de circulação (arruamentos viários e pedonais e locais de estacionamento de veículos) e das redes de infraestruturas (de abastecimento de águas, de drenagem de águas residuais e pluviais, de resíduos sólidos urbanos e de distribuição de energia e de telecomunicações), os espaços verdes de utilização coletiva quer sejam públicos quer sejam privados, e outros espaços de utilização coletiva como sejam os equipamentos que prestam serviços de saúde, educação, lazer ou segurança entre outros.

No caso das infraestruturas de circulação, poder-se-á referir que o sistema viário é composto por um conjunto de vias que funcionam em rede à escala de cada aglomerado urbano (para receber veículos, bicicletas ou peões). Ora, frequentemente o traçado do sistema viário é acompanhado e serve de base ao traçado dos outros sistemas de infraestruturas urbanas (de abastecimento de águas, de drenagem de águas residuais e pluviais, de resíduos sólidos urbanos e de distribuição de energia e de telecomunicações).

Poder-se-á considerar a oportunidade de estudar o sistema viário em diversas perspetivas de análise como é o caso do contributo que se pretende alcançar no âmbito desta dissertação ou ainda devido a vários fatores entre os quais o custo não só da sua construção mas também da sua manutenção e utilização. Em países como o Brasil, ainda deficitários neste tipo de infraestruturas, algumas fontes referem (ZMITROWICZ, 1997: 6 de acordo com MASCARÓ, 1987) que o sistema viário equivale a 50% do custo total de urbanização e ocupa uma parcela importante do solo urbano que ronda os 20 a 25%. De acordo com a mesma fonte este é o sistema que uma vez implantado, mais dificuldades apresenta para aumentar a sua capacidade. Esta dificuldade poder-se-á manifestar quer em termos de construção de novas vias quer em termos de alargamento das existentes, podendo implicar elevados custos (sociais e económicos) com demolições, devido à inerente ocupação de solo, em especial nas partes da cidade mais densas e consolidadas em termos de edificação.

No caso de Portugal, atualmente, as infraestruturas viárias estão em geral construídas, e dão resposta quer às necessidades dos aglomerados urbanos quer de ligação entre eles. Poder-se-á referir que a fase da sua construção terminou, salvo uma ou outra exceção, sendo necessário no entanto assegurar e repensar o seu desempenho, economia e manutenção.

## 2.2 Principais funções das vias urbanas

### 2.2.1 Rua vs. Estrada

Antes de uma análise mais aprofundada sobre as funções das vias urbanas importa esclarecer que à escala da cidade distingue-se o conceito de rua ou arruamento do conceito de estrada. As ruas dizem respeito às vias localizadas dentro dos aglomerados urbanos sejam eles cidades, vilas ou aldeias e que paralelamente constituem elementos estruturantes da morfologia urbana, i.e. da forma desses aglomerados. Por seu lado, a estrada é uma via localizada fora dos aglomerados urbanos e que constitui um elemento que estabelece a ligação entre eles (figura 2.1). As estradas interurbanas são canais lineares e o enquadramento no espaço envolvente é de ordem funcional e paisagística. Estas vias, quando entram nas áreas urbanas com a funcionalidade de atravessamento ou de conexões internas de tráfego rápido, levam a perturbações agravadas (PARDAL *et al.*, 1990: 141; PARDAL *et al.*, 1998: 94). Frequentemente as estradas atravessam os aglomerados urbanos, nem sempre sem causar perturbações. Neste caso poder-se-ão identificar duas situações:

- Aquelas em que a estrada ao entrar no aglomerado urbano se transforma em rua i.e. altera o seu perfil e função de via ao serviço exclusivo do trânsito automóvel para um perfil e função ao serviço também da circulação pedonal e do estacionamento de veículos. Neste caso a estrada transformada em rua assume uma morfologia e função diferentes passando a estar dotada de elementos como passeios, passadeiras, semáforos, mobiliário urbano, edifícios confinantes e atividades que neles se localizam (como o comércio, serviços ou a habitação) e ainda das dinâmicas inerentes à fruição, característicos dos aglomerados urbanos.

- Aquelas em que a estrada atravessa o aglomerado urbano mantendo o seu perfil e função de via ao serviço exclusivo do automóvel, sem qualquer ligação ou continuidade com a malha urbana. Neste caso quando não se transforma em rua, a estrada pelo seu perfil e função, ao atravessar o aglomerado urbano, poderá criar um efeito de barreira. Consequentemente impedirá ou enfraquecerá a continuidade da malha urbana, ora o atravessamento dos aglomerados urbanos por vias de caminho-de-ferro é também um exemplo deste efeito de barreira. Como forma de o minorar é necessário recorrer a passagens desniveladas, o que nem sempre é o mais aconselhável, pelos seguintes motivos: no caso das passagens superiores, normalmente implicam percorrer uma grande distância de modo a vencer o desnível com inclinações suaves, assegurando a passagem de pessoas inclusive com mobilidade reduzida; esta grande distância leva a que sejam em geral pouco utilizadas; as passagens inferiores estão frequentemente associadas a locais perigosos, inseguros ou pouco iluminados, também estes pouco utilizados. Como refere PARDAL *et al.* (1998: 66) a propósito, “a rua não é uma estrada e no meio urbano só deve haver arruamentos e nunca estradas”.

Por outro lado, a ambiência peculiar do sítio, o caráter arquitetónico e a toponímia são fatores que contribuem para a identidade urbana (PARDAL *et al.*, 1990: 141; PARDAL *et al.*, 1998: 94). Na perspectiva do tráfego automóvel, as principais preocupações recaem sobre a fluidez/rapidez, a segurança do tráfego e a criação de espaços de estacionamento (SECO *et al.*, 2008a: 44). Em suma a rua deverá ser dimensionada e modelada para melhor integrar as infraestruturas que trabalham no subsolo (esgoto, coletores pluviais, abastecimento de água, energia, gás, telecomunicações, entre outros), oferecendo segurança aos diversos tipos de utilizadores (como o acesso de carros de bombeiros, pelo pavimento com aderência para evitar que os peões escorreguem, com adequada iluminação, condições de higiene, cabos aéreos protegidos e um ambiente urbano confortável) (PARDAL *et al.*, 1998: 48). Assim a rua é composta pelas seguintes partes:

- ❖ Espaço dedicado ao trânsito de veículos motorizados;
- ❖ Espaço de estacionamento de domínio público;
- ❖ Espaço reservado à circulação de peões;
- ❖ Espaço dedicado para bicicletas.

Em síntese, uma estrada caracteriza-se por possuir faixas de rodagem, exclusivamente dedicadas ao trânsito de veículos, enquanto uma rua é composta por elementos urbanos: passeios, edifícios, passadeiras ou mobiliário urbano, tendo como função essencialmente servir o peão e a cidade no seu todo, a par dos veículos ou outros tipos de circulação, como por exemplo as ciclovias. Caso outros tipos de circulação não possam ser assegurados na rua (p. e. devido ao seu perfil insuficiente para tal) deverá ser o peão o utilizador privilegiado.

Neste sentido há que “garantir que todos os utilizadores da via pública sejam servidos da melhor forma; níveis de segurança elevados; contribuir para uma maior eficiência do sistema de transportes; assegurar condições ambientais de qualidade, através da minimização/eliminação dos impactos; contribuir para um melhor ambiente urbano; respeitar os princípios da acessibilidade e mobilidade” (CARVALHO, 2002: 28).



Figura 2.1 - Exemplo de rua (à esq.) e estrada (à dir.) - Covilhã, 2013

A circulação dentro dos aglomerados urbanos requer várias medidas, de modo a garantir a segurança rodoviária e pedonal e reduzir os efeitos de barreira quer para o trânsito

automóvel quer para o peão. Neste último caso, a existência de vários elementos que obstruem os passeios pode dificultar ou impedir a mobilidade do peão. Estas barreiras arquitetónicas (figura 2.2) incluem situações como o não rebaixamento do lancil do passeio junto à passadeira impedindo a sua utilização, a ocupação temporária ou definitiva do passeio com elementos do mobiliário urbano colocados de forma inadequada na via (cabine telefónica, boca de incêndio, candeeiro, banco, entre outros), impedindo ou dificultando a circulação do peão. Existem também conflitos entre automóveis em circulação e automóveis estacionados indevidamente na faixa de rodagem, impedindo ou dificultando a circulação dos veículos ou conflitos entre os peões e os automóveis quando estes estacionam indevidamente nos passeios.



Figura 2.2 - (1) Efeito de barreira na Rua Marquês de Ávila e Bolama; (2) Efeito de barreira na Rua Avenida do Anil; (3) Efeito de barreira na Rua Dr. Manuel Castro Martins; (4) Efeito barreira na Alameda da Europa, Covilhã, 2013

### 2.2.2 Funções das vias urbanas

LYNCH (1960: 58) define as vias como os canais por onde o observador se move, usual, ocasional ou potencialmente, podendo ser ruas, passeios, linhas de trânsito, canais e caminhos-de-ferro. Para muitos cidadãos, estes são os elementos predominantes na imagem das cidades. As pessoas observam a cidade à medida que se deslocam pelas vias urbanas e os outros elementos que compõem a morfologia urbana, tais como os limites, os bairros, os cruzamentos ou os elementos marcantes (igrejas, torres, monumentos), organizam-se e relacionam-se entre si ao longo destas vias.

O atendimento satisfatório de um sistema de vias (nas suas variadas funções) depende do tipo de necessidades da sociedade que serve. Assim poder-se-ão sistematizar as vias nas seguintes funções principais (CARVALHO, 2002: 26):

- Circulação de peões;
- Trânsito de veículos (automóveis, motorizados, bicicletas, elétricos, entre outros);
- Estacionamento de veículos;
- Suporte de infraestruturas urbanas (rede de água, de esgotos, gás, eletricidade, comunicação, controlo de tráfego, entre outras);
- Alinhamento de árvores e jardins;
- Locais de convívio e vivências urbanas;
- Locais de colocação de elementos do mobiliário urbano (publicidade, esplanadas e quiosques, locais de paragem temporária, paragens de autocarro e cargas e descargas).

De acordo com PARDAL *et al.* (1990: 132), o meio urbano é estruturado como um sistema de comunicações. Consequentemente, as funções relativas ao trânsito de veículos e de pessoas podem ser divididas em três classes, consoante ocorram dentro ou fora do aglomerado urbano:

- ❖ Circulação interna com origem e destino dentro do aglomerado urbano;
- ❖ Circulação com origem ou destino dentro do aglomerado urbano;
- ❖ Circulação com origem e destino fora do aglomerado urbano.

Um dos processos de organizar as vias urbanas é o estabelecimento de uma hierarquia entre elas. A organização desta rede urbana inclui o estabelecimento de vários níveis de vias, desde as avenidas com múltiplas faixas de rodagem ao serviço do trânsito rápido localizadas no centro da via incluindo ainda faixas de rodagem laterais ao serviço do trânsito local, até aos arruamentos residenciais ou aos percursos exclusivamente pedonais (PARDAL *et al.*, 1990: 141).

De acordo com alguns autores (Instituto Mobilidade de Transportes Terrestres (2011: 5); CARVALHO, 2002: 27), a hierarquia da rede viária assume uma enorme importância no urbanismo correspondendo à classificação das vias segundo a função que desempenham. O papel de uma via é caracterizado por três parâmetros: funções de transporte, acessibilidade e social. Estas funções são descritas na figura 2.3, sendo ilustrada na figura 2.4 as funções em termos espaciais (IMTT, 2011: 4).

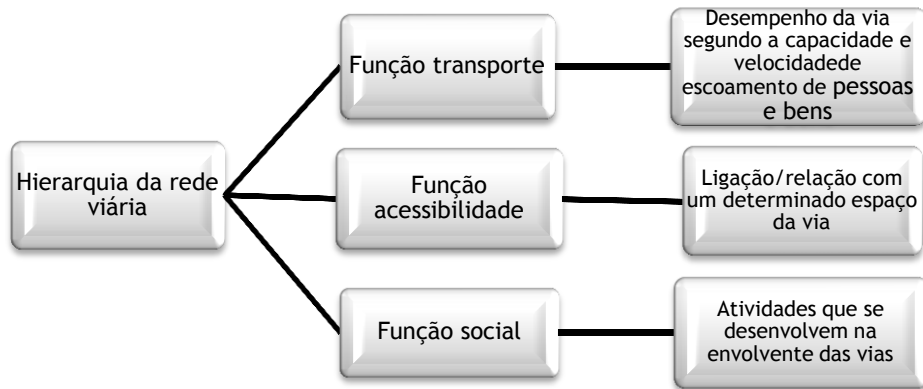


Figura 2.3 - Descrição da hierarquia da rede viária (Fonte: IMTT, 2011: 4)



Figura 2.4 - Função das vias em termos espaciais (Fonte: IMTT (2011: 5) através de Cahier TEA n°8 - *Les voiries urbaines*, 1995)

SECO *et al.* (2008a: 18) expõe três princípios básicos para a hierarquização viária em meios urbanos, sendo estes a coerência, a preservação e a sustentabilidade. A aplicação destes princípios terá influência no sistema de transportes de uma cidade, em especial na sua rede e, por conseguinte, nas vias e ruas que a constituem.

O **Princípio da Coerência** define que certas utilizações de um dado espaço urbano só são possíveis ou desejáveis na ausência de outras utilizações. E certas utilizações só são possíveis ou desejáveis na presença de outras. Assim um espaço é localizado onde for desejável.

O **Princípio da Preservação** define a preservação dos espaços urbanos consolidados, principalmente os centros das cidades e as zonas históricas.

O **Princípio da Sustentabilidade** defende a existência de redes em que a sua estruturação seja baseada em critérios de sustentabilidade: favorecendo a implementação de medidas que passem pela adoção de modos e utilizadores das ruas mais sustentáveis; fomentando a mobilidade através do modo pedonal, de bicicletas e transportes coletivos; preterindo a realização de deslocamentos através de automóveis individuais.

## 2.3 Critérios de classificação das vias urbanas

A classificação da rede viária pode ser baseada em fatores geométricos, de tráfego ou funcionais. Sendo que, no processo de planeamento de uma rede viária, esta é classificada inicialmente pelo fator funcional, pois é a partir deste, que decorre a adoção de critérios operacionais que permitem a integração em sistemas homogêneos e coerentes das diversas componentes destes sistemas (COSTA, 2008: 12).

A classificação das vias urbanas não é universal entre os diversos autores (SECO *et al.* (2008a), COSTA (2008), RIBEIRO (2005) e CARVALHO (2002) e PARDAL *et al.* (1990)), varia em função de determinados critérios. Consequentemente, resultam classificações diferentes de acordo com as diferentes fontes analisadas.

De acordo com PARDAL *et al.* (1990: 208), as vias são classificadas e hierarquizadas em relação às funções que desempenham no sistema viário, mesmo que as características de cada via não estejam devidamente adaptadas às funções que desempenham. Assim, as vias nos meios urbanos podem ser classificadas nas seguintes redes:

- ❖ Rede de Estradas Urbanas (a definir em Plano Diretor Municipal/PDM à escala do concelho): autoestradas urbanas e vias rápidas urbanas;
- ❖ Rede de Arruamentos Principais (a definir em Plano de Urbanização à escala do aglomerado urbano): avenidas e arruamentos estruturantes do sistema urbano;
- ❖ Rede Secundária de Arruamentos (a definir em Plano de Pormenor à escala local): vias distribuidoras e vias de acesso local.

A referência o PDM de Lisboa; bastante detalhado nesta matéria; poderá servir de base comparativa para classificar as vias de outras cidades. Este plano urbanístico classifica as vias em quatro níveis (PDM de Lisboa, 2012: 70):

- ❖ 1º Nível: Rede Estruturante - ligações de atravessamento do concelho e deslocações de maior extensão;
- ❖ 2º Nível: Rede de Distribuição Principal - deslocação de maiores fluxos de tráfego internos ao concelho, percursos médios e acesso à rede estruturante;
- ❖ 3º Nível: Rede de Distribuição Secundária - vias internas que encaminham os fluxos de tráfego para as vias de nível superior;
- ❖ 4º Nível: Rede de Distribuição Local - vias estruturantes à escala do bairro, dando maior importância ao peão;
- ❖ 5º Nível: Rede de Acesso Local - acesso rodoviário ao edificado, devendo possuir as condições necessárias para a circulação pedonal.

Quadro 2.1 - Hierarquia da rede viária urbana (revisão PDM Lisboa) (Fonte: PDM de Lisboa, 2012)

	1º Nível - Rede Estruturante	2º Nível - Rede de Distribuição Principal	3º Nível - Rede de Distribuição Secundária	4º Nível - Rede de Distribuição Local	5º Nível - Rede de Acesso Local
<b>Missão</b>	Deve assegurar os atravessamentos principais da cidade, assim como os percursos mais longos no seu interior	Deve assegurar a distribuição dos maiores fluxos de tráfego da cidade, assim como os percursos médios e o acesso à rede de 1º nível	Deve assegurar a distribuição próxima, assim como o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior	Deverá ser constituída por vias estruturantes dos bairros, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o peão é o principal	Deverá garantir o acesso ao edificado, reunindo condições privilegiadas para a circulação pedonal
<b>Características físicas</b>	Mínimo de 6 vias, com separação obrigatória de sentidos de circulação	Mínimo de 4 vias, sendo desejável a separação de sentidos de circulação	Mínimo de 2 vias num sentido e 1+1 vias em dois sentidos, sendo facultativa a separação de sentidos de circulação	Mínimo de 1 via num sentido e 1+1 vias em dois sentidos, evitando a separação de sentidos de circulação	Mínimo de 1 via num sentido e 1+1 vias em dois sentidos, sendo proibida a separação de sentidos de circulação
<b>Acessos</b>	Intersecções desniveladas que permitem ligações com vias do mesmo nível ou adjacente	Intersecções desniveladas que permitem ligações com vias do mesmo nível ou adjacente. Intersecções de nível ordenadas e com regulação semafórica	Intersecções de nível ordenadas e com regulação semafórica	Intersecções de nível ordenadas e com regulação semafórica. Livre	Livre
<b>Atributos Operacionais</b>	Velocidade de 80-120 km/h. Estacionamento e cargas e descargas interditos	Velocidade de 50-80 km/h. Cargas e descargas interditas e estacionamento autorizado com regulamentação própria, sujeito a restrições operacionais da via	Velocidade de 30-50 km/h. Cargas e descargas reguladas e estacionamento autorizado com regulamentação própria, sujeito a restrições operacionais da via	Velocidade de 30-50 km/h. Estacionamento autorizado com regulamentação própria. Cargas e descargas reguladas	Velocidade de 30-50 km/h. Estacionamento autorizado com regulamentação própria. Cargas e descargas excecionais
<b>Transporte Coletivo</b>	Permitidos corredores BUS, devendo as paragens ser proibidas	Permitidos corredores BUS, devendo as paragens ter sítio próprio	Permitidos corredores BUS, sendo as paragens desejavelmente em sítio próprio	Não são desejáveis corredores BUS, devendo as paragens ter sítio próprio ou banal	Corredores BUS não aplicável
<b>Circulação pedonal e de Velocípedes</b>	Interdita	Segregado	Segregado	Segregada ou Livre	Livre

Atendendo às várias funções que cada elemento numa rede viária desempenha (ARAÚJO, 1998: 19), a classificação das vias poder-se-á dividir em dois grandes conjuntos (ver organograma na figura 2.5): as vias estruturantes ao serviço da função de circulação, constituídas pelas vias coletoras ou arteriais e vias distribuidoras principais, ligadas predominantemente à função de circulação e vias de acesso com funções de acesso e vivência local; as vias distribuidoras locais e de acesso local, ligadas predominantemente à função de circulação (SECO *et al.*, 2008a: 7).

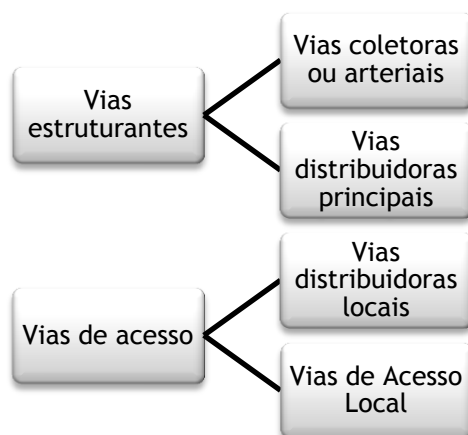


Figura 2.5 - Classificação das vias urbanas

## 2.3.1 Vias estruturantes

### 2.3.1.1 Vias coletoras ou arteriais

Este tipo de vias representa a classe ao serviço das deslocações de média e longa distância de ligação entre as zonas urbanas. Deste modo, devem ser dimensionadas e geridas de forma a garantir bons níveis de serviço, caracterizados por adequados níveis de fluidez, rapidez e segurança para a circulação motorizada (SECO *et al.*, 2008a: 9; COSTA, 2008: 13; RIBEIRO, 2005: 37-38; VILAÇA, 2009: 7).

Este tipo de vias deverá possuir as seguintes características (SECO *et al.*, 2008a: 9; COSTA, 2008: 13):

- Comportar exclusivamente veículos motorizados;
- Formar uma rede contínua que permita uma ligação entre todos os pontos servidos;
- Proibir ou condicionar o acesso direto às propriedades confinantes;
- Proibir o estacionamento automóvel;
- Número limitado de cruzamentos, com traçados que não conflituem com a fluidez e rapidez dos fluxos de tráfego.

As características anteriormente descritas para as vias coletoras ou arteriais são ilustradas através de um perfil transversal tipo apresentado na seguinte figura.

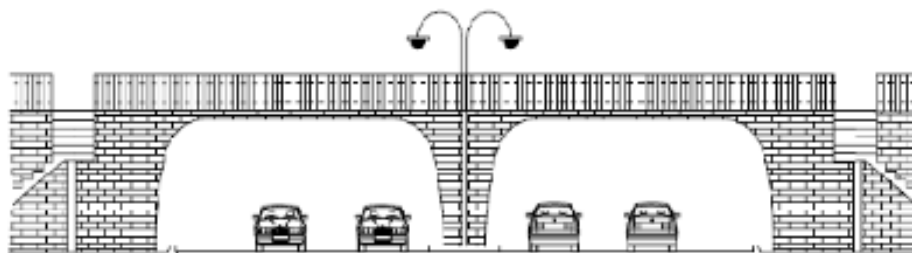


Figura 2.6 - Perfil transversal tipo de uma via coletora ou arterial (Fonte: SECO *et al.*, 2006: 10)

### 2.3.1.2 Vias distribuidoras principais

As vias distribuidoras principais têm como função estabelecer a ligação das vias coletoras ou arteriais às redes de vias locais. No entanto, têm de servir as necessidades de acessibilidade das atividades urbanas que se desenvolvem nos espaços adjacentes. Devem ser dimensionadas e geridas de modo a garantir bons níveis de segurança e pelo menos, níveis razoáveis de fluidez e rapidez para a circulação motorizada, adotando soluções geométricas que evitem o congestionamento e permitam a circulação a velocidades adequadas (SECO *et al.*, 2008a: 10; COSTA, 2008: 14; RIBEIRO, 2005: 37-38; VILAÇA, 2009: 7).

Este tipo de vias deverá possuir as seguintes características (SECO *et al.*, 2008a: 10; COSTA, 2008: 15):

- Permitir a circulação de veículos não motorizados, como sejam as bicicletas, podendo incluir troços de ciclovias segregadas sempre que os fluxos de tráfego motorizados e/ou de bicicletas assim o requeiram;
- Permitir o acesso direto às propriedades confinantes acautelando situações de proximidade a cruzamentos que possam afetar o seu desempenho;
- Permitir a existência de faixas para o estacionamento de veículos preferencialmente longitudinal à via e afastado (25/50 metros) de cruzamentos, de modo a garantir o seu desempenho e as condições de escoamento e segurança do tráfego;
- Contemplar trajetos pedonais formais adjacentes à via e de atravessamento da mesma, recorrendo a passarelas, semaforização, lancis de passeios rebaixados ou outros elementos de acalmia de tráfego como sejam as rotundas, lombas ou a escolha de materiais a utilizar nos pavimentos adequados a este requisito;
- Contemplar cruzamentos com características que garantam os níveis necessários de capacidade rodoviária, segurança e conforto quer para os peões quer para os veículos;

Estas características associadas às vias distribuidoras principais são ilustradas através de um perfil transversal tipo apresentado na seguinte figura.

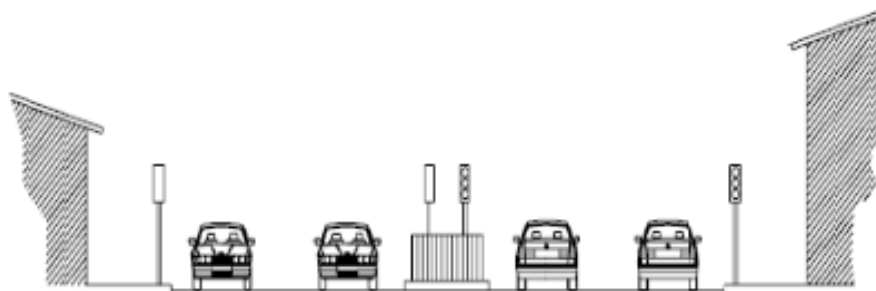


Figura 2.7 - Perfil transversal tipo de uma via distribuidora principal (Fonte: SECO *et al.*, 2006: 11)

## 2.3.2 Vias de acesso

### 2.3.2.1 Vias distribuidoras locais

As vias distribuidoras locais têm como função canalizar e distribuir o tráfego com destino e origem nas vias estruturantes (coletoras ou arteriais e distribuidoras principais) e nas vias de acesso local e garantir a acessibilidade aos espaços adjacentes. Tal deverá ser feito de forma a que não ponham em causa a qualidade ambiental nem a capacidade de servir as vivências urbanas. Devem ser dimensionadas e geridas de forma a garantir bons níveis de segurança, principalmente para os peões e níveis razoáveis de fluidez através de velocidades moderadas (SECO *et al.*, 2008a: 11; COSTA, 2008: 16; RIBEIRO, 2005: 37-38; VILAÇA, 2009: 7).

Este tipo de vias deverá possuir as seguintes características (SECO *et al.*, 2008a: 12; COSTA, 2008: 16):

- Circulação conjunta de tráfego motorizado e não motorizado com faixas próprias que segreguem ambas as funções;
- Criar um conjunto de redes contínuas pedonais associado a cada espaço local que poderão ou não ter ligações entre si;
- Permitir o acesso direto às propriedades confinantes;
- Existência de faixas para estacionamento automóvel mesmo na proximidade de cruzamentos, desde que garanta as condições de segurança;
- Existência de trajetos pedonais formais adjacentes à via e de atravessamento (através de passadeiras) em número razoável destinados a servir os peões, podendo dispensar a existência de semaforização;
- Importância da segurança e conforto associados à vivência local e aos movimentos pedonais recorrendo à utilização de medidas de acalmia de tráfego mais impositivas, como sejam lombas, materiais utilizados nos pavimentos das faixas de rodagem.

Estas características são ilustradas através de um perfil transversal tipo apresentado na seguinte figura.



Figura 2.8 - Perfil transversal tipo de uma via distribuidora local (Fonte: SECO *et al.*, 2006:12)

### 2.3.2.2 Vias de acesso local

As vias de acesso local para além de assegurarem as atividades associadas às vivências locais (residência, comércio ou serviços, entre outras) destinam-se a servir o acesso direto aos espaços adjacentes quer para automóveis quer para peões e os movimentos pedonais. Devem ser dimensionadas e geridas de modo a garantir bons níveis de segurança e conforto, principalmente para os peões e condições mínimas de fluidez do tráfego através de velocidades muito moderadas (SECO *et al.*, 2008a: 12; COSTA, 2008: 17; RIBEIRO, 2005: 37-38; VILAÇA, 2009: 7).

Este tipo de vias deverá possuir as seguintes características (SECO *et al.*, 2008a: 13; COSTA, 2008: 18):

- Criar redes de continuidade urbana;
- Garantir o acesso às propriedades confinantes;
- Articular os locais de estacionamento com as respetivas atividades sociais ou lúdicas.

Estas características são ilustradas através de um perfil transversal tipo apresentado na seguinte figura.

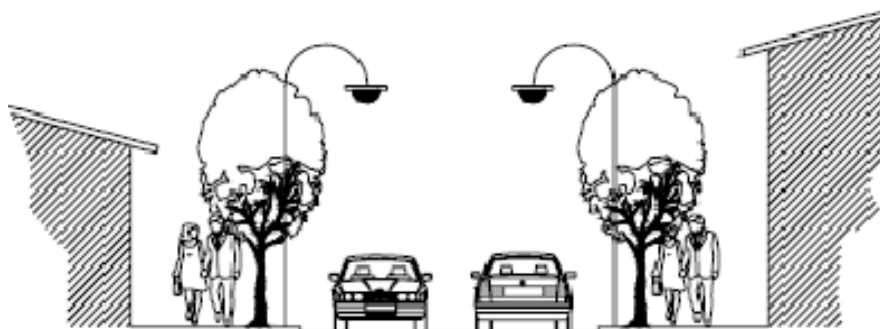


Figura 2.9 - Perfil transversal tipo de uma via de acesso local (Fonte: SECO *et al.*, 2006: 13)

Sendo que a representação em perfil transversal possibilita uma melhor compreensão na classificação das vias, uma outra forma de representar a hierarquia entre elas é em planta. Assim, na figura 2.10 apresenta-se uma visualização do que pode ser a aplicação integrada dos conceitos atrás apresentados para cada tipo de via de um território (SECO *et al.*, 2008a: 13; RIBEIRO, 2008: 43).

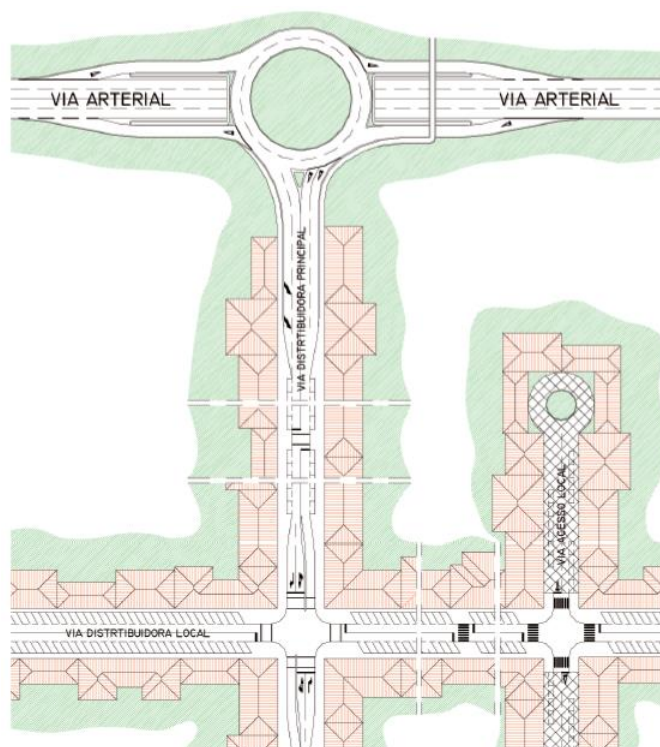


Figura 2.10 - Ilustração de uma sequência hierárquica de vias (Fonte: SECO *et al.*, 2008a: 13)

Por outro lado CARVALHO (2002: 28), para além de classificar as vias em coletoras e distribuidoras principais, as quais têm a função de servir o tráfego; distribuidoras locais e de acesso local, que têm a função de servir as atividades que se desenvolvem nos arruamentos acrescenta ainda as vias de ligação. Estas à semelhança das coletoras e distribuidoras principais visam servir o trânsito automóvel, estabelecendo a ligação entre as coletoras e as distribuidoras. Ora o número de classes a adotar na hierarquia viária, depende ainda de fatores como a dimensão da zona urbana, a densidade populacional ou o número de veículos em circulação.

Em síntese os critérios para a classificação e hierarquização das vias urbanas como se pôde observar na análise apresentada neste capítulo são variados.

## 2.4 Morfologia e composição das ruas

Como se pretendeu demonstrar com a análise nos pontos prévios, a rua é um elemento estruturante do tecido urbano que estabelece uma comunicação entre as atividades que a marginam e lhe conferem uma vivência urbana. Assim, a sua morfologia e composição i.e. as partes que as constituem são variadas. Ora, a seleção dos perfis transversais tipo a adotar em cada eixo rodoviário poderá ser baseada na avaliação coordenada de vários aspetos, tais como (SECO *et al.*, 2008a: 44):

- Classificação funcional como enquadramento das funções a servir (trânsito automóvel, estacionamento de veículos e circulação pedonal e ciclovia);
- Níveis e tipologia específicos da procura previsível da via (velocidades, fluxos de projeto e composição do tráfego motorizado ou nível de procura do tráfego ciclista);
- Morfologia urbana (espaço canal disponível “livre” ou “condicionado” ou tipologia de ocupação do edificado envolvente).

As ruas podem apresentar (figura 2.11) uma compartimentação da superfície em faixas ou corredores, tais como: faixa de rodagem; faixas laterais de serviço; faixas centrais de atravessamento; corredores laterais de paragem e estacionamento; separadores de faixas de rodagem; passeios; atravessamento de faixas de rodagem por peões e dos passeios por veículos, em acesso a garagens e armazéns (PARDAL *et al.*, 1998: 94). Assim, as ruas para além de assegurarem o trânsito e a acessibilidade de viaturas e pessoas aos edifícios são também um espaço de suporte das redes de infraestruturas, de convívio, de comércio ou de trabalho. Vários elementos poderão incluir-se na composição das vias, tais como o mobiliário urbano, a iluminação e a sinalética, de modo a contribuírem para o seu bom funcionamento da via, assim como a vegetação localizada no domínio público (JAEGER, 1995: 104), ao longo dos passeios.

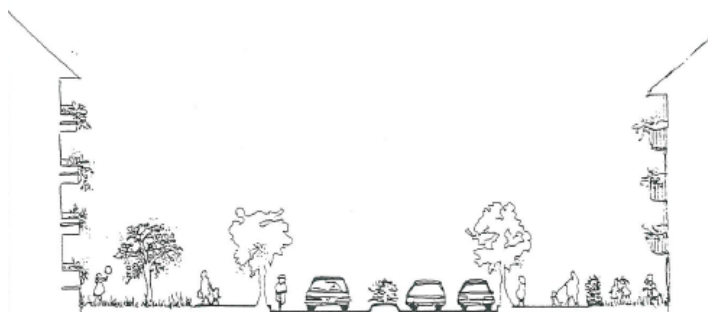


Figura 2.11 - Espaços componentes de uma via urbana (Fonte: JAEGER, 1995: 104)

## 2.4.1 Faixa de rodagem

Como já referido, a faixa de rodagem corresponde à parte da rua destinada ao trânsito de veículos, pelo que variam em número. Assim, algumas não possuem faixa de rodagem, outras possuem uma faixa de rodagem em apenas um sentido outras ainda em cada direção e outras possuem múltiplas faixas de rodagem em ambas as direções. As vias que possuem múltiplas faixas de rodagem na mesma direção.

Em Portugal, o termo faixa de rodagem é utilizado para designar a porção de via de comunicação destinada à circulação de veículos, enquanto o termo via de trânsito poderá corresponder às subdivisões que a faixa de rodagem apresenta.

Quadro 2.2 - Parâmetros de dimensionamento para os arruamentos aplicável às novas urbanizações  
(Fonte: Portaria n.º 216-B/2008: 1372-(5))

Tipo de Ocupação:	Infraestruturas - Arruamentos
Habitação a. c. hab. > 80% a. c.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil tipo <math>\geq 9,7</math> m</li> <li>• Faixa de rodagem = 6,5 m</li> </ul>
Habitação (se a. c. hab. < 80%), comércio e ou serviços	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil tipo <math>\geq 12</math> m</li> <li>• Faixa de rodagem = 7,5 m</li> </ul>
Quando exista indústria e ou armazéns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil tipo <math>\geq 12,2</math> m</li> <li>• Faixa de rodagem = 9 m</li> </ul>

No contexto da urbanização i.e. das operações de loteamento exigem-se os seguintes parâmetros mínimos de dimensionamento quanto ao perfil dos arruamentos (ver quadro 2.2). Pelo que se pode observar, o perfil das ruas varia em função das atividades que nela se localizam. Assim se a função residencial for predominante (correspondendo a uma área de construção para a habitação superior a 80% da área total de construção do loteamento) a rua poderá ser um pouco mais estreita i.e. 9,7 metros como perfil mínimo. Entende-se neste caso que o movimento e a vivência do local são essencialmente promovidas pelos residentes, pelo que haverá menos movimento. No caso das atividades não residenciais assumam maior domínio, entre elas o comércio ou os serviços, então, o perfil da rua é mais exigente, correspondendo pelo menos a 12 metros. Entende-se que nesta situação mais movimento e pessoas e provenientes de outros locais se deslocarão nestas ruas, nomeadamente para se dirigirem às atividades do setor terciário.

## 2.4.2 Passeio

Em todos os tipos de deslocações existirá sempre uma componente pedonal pois os utilizadores de qualquer meio de transporte são também peões. Em meio urbano as ruas devem estar dotadas de passeios de ambos os lados. Assim, o passeio é a superfície da via

pública, em geral sobrelevada em relação à faixa de rodagem, especialmente destinada à circulação de peões e que a ladeia (SILVA). Esta solução, nem sempre é mais aconselhável, pois implica que o passeio seja rebaixado através do lancil adequado junto às passeadeiras, de modo a assegurar a continuidade na circulação pedonal. Ora este requisito nem sempre existe, resultando numa barreira arquitetónica. Consequentemente, a alternativa seria que o passeio e a faixa de rodagem se desenvolvessem ao mesmo nível, quer rebaixando o passeio ao nível da faixa de rodagem quer sobre-elevando a faixa de rodagem ao nível do passeio.

A gestão das infraestruturas pedonais engloba três fatores fundamentais: segurança, facilidade de mobilidade e comodidade para os seus utilizadores. Sendo os percursos pedonais espaços reservados exclusivamente a peões, devem possuir os níveis mínimos de qualidade de circulação (conforto e velocidade) e a segurança pessoal. Ora um dos requisitos para assegurar estes níveis mínimos de qualidade é o perfil do passeio, nomeadamente a sua largura, como se irá detalhar mais adiante.

Nos últimos anos, muitas ações de reabilitação urbana nos centros históricos, normalmente com uso terciário e muito movimentadas durante o dia (SILVA) têm vindo a caracterizar-se por transformar algumas ruas em zonas de circulação exclusivamente pedonal. O facto de os habitantes preferirem fazer as suas deslocações quotidianas a pé e com conforto possui um peso significativo nestas medidas. Assim, o planeamento urbanístico tem uma grande responsabilidade em proporcionar e estimular os percursos pedonais (PARDAL *et al.*, 1990: 142).

Os materiais a utilizar na pavimentação nos passeios, devem apresentar a qualidade antiderrapante e a estereotomia. Quanto mais macio e regular for o piso dos percursos pedonais, mais confortável se torna. Para superfícies com pendentes acentuados, não são recomendados pavimentos em cubos de calcário, pois tornam-se escorregadios com o desgaste. Assim como, as calçadas portuguesas em pedra irregular se tornam desconfortáveis para andar a pé (PARDAL *et al.*, 1998: 95).

Um “passeio completo”, representado na figura seguinte, é composto pelas seguintes partes:

- ❖ Espaço de folga junto ao lancil;
- ❖ O alinhamento das árvores (caso existam) ajuda a qualificar e a diferenciar o ambiente do passeio relativamente à faixa de rodagem, contribuindo também para neutralizar a imagem de maus planos de fachada, enfatizar aqueles que têm maior qualidade e conferir unidade a ruas com desequilíbrios arquitetónicos;
- ❖ Espaço de estadia sob a copa das árvores, propício à pausa ao longo do percurso, aos encontros e a breves estadias;
- ❖ Corredor central - corresponde ao espaço dinâmico utilizado para o percurso pedonal propriamente dito;

- ❖ Zona de paragem, encontro e contemplação de montras e de acesso aos edifícios.

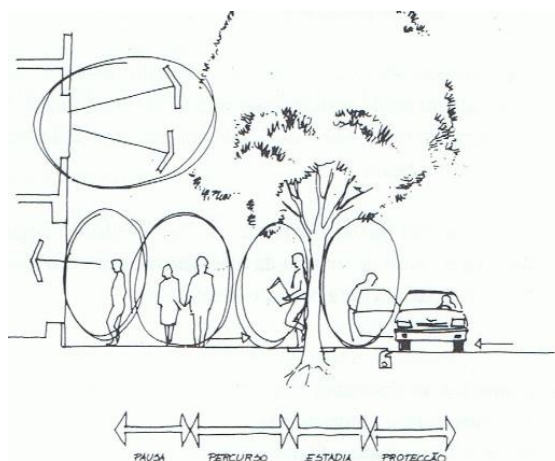


Figura 2.12 - Espaços componentes de um passeio completo (Fonte: PARDAL *et al.*, 1998: 96)

Quanto aos parâmetros mínimos de dimensionamento do perfil dos passeios (ver quadro 2.3), exigido em novas urbanizações este varia de acordo com dois critérios. Quando a função residencial (correspondendo a uma área de construção para a habitação superior a 80% da área total de construção do loteamento) e para a indústria e ou armazéns, o passeio deverá ter 1,6 metros, um em cada lado da faixa de rodagem. No caso das atividades residenciais (correspondendo a uma área de construção para a habitação inferior a 80% da área total de construção do loteamento), a par do comércio e dos serviços, então, o perfil do passeio corresponderá a um dimensionamento mais exigente, de 2,25 metros, em ambos os lados. Em qualquer circunstância, a existência de árvores ao longo do passeio corresponde ao acréscimo de um metro na sua largura.

Quadro 2.3 - Parâmetros de dimensionamento para os arruamentos pedonais aplicável às novas urbanizações (Fonte: Portaria n.º 216-B/2008: 1372-(5))

Tipo de Ocupação:	Infraestruturas - Passeios
Habitação a. c. hab. > 80% a. c.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passeio = 1,6 m (x 2)</li> <li>• Caldeiras para árvores = [(1 m) (x 2)] (opcional)</li> </ul>
Habitação (se a. c. hab. < 80%), comércio e ou serviços	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passeio = 2,25 m (x 2)</li> <li>• Caldeiras para árvores = [(1 m) (x 2)] (opcional)</li> </ul>
Quando exista indústria e ou armazéns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passeio = 1,6 m (x 2)</li> <li>• Caldeiras para árvores = [(1 m) (x 2)] (opcional)</li> </ul>

### 2.4.3 Estacionamento

O automóvel passa mais tempo imobilizado do que em andamento (SECO *et al.*, 2008b: 5), ocupando quer o espaço público quer o privado. Contudo poder-se-á referir que a ocupação

do espaço privado pelo automóvel é essencialmente imobilizado (estacionado em estrutura edificada ou à superfície) enquanto ao nível do espaço público ocupa ambas as funções. Consequentemente é necessário definir os locais próprios para estacionar o automóvel quer privados quer públicos, pois a sua inexistência poderá desencadear situações de conflito pelo estacionamento em locais indevidos. Assim os estacionamentos são uma componente fulcral no meio urbano que não deve ser esquecida. Também ao nível dos transportes e da circulação, o estacionamento constitui um elemento fundamental em meio urbano em particular devido à crescente utilização do automóvel como transporte individual, nomeadamente numa cidade como a Covilhã onde a rede de transportes públicos é mais débil. Por outro lado, o espaço destinado ao estacionamento não é alheio à procura potencial das áreas de serviço, habitação, comércio e distribuição (SILVA). Representa pois um papel importante para a circulação urbana, dadas as deslocações de transporte individual que requerem a utilização de locais de estacionamento.

Quadro 2.4 - Parâmetros de dimensionamento para o estacionamento aplicável às novas urbanizações  
(Fonte: Portaria n.º 216-B/2008: 1372-(4))

Tipo de Ocupação:	Estacionamento
<b>Moradias unifamiliares</b>	• 1 lugar/fogo com a.c. < 120 m <sup>2</sup>
	• 2 lugar/fogo com a.c. entre 120 m <sup>2</sup> e 300 m <sup>2</sup>
	• 3 lugar/fogo com a.c. > 300 m <sup>2</sup>
<b>Habitação coletiva</b>	O nº total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20% para estacionamento público.
	• 1 lugar/fogo: T0 e T1; ou para a.m.f. < 90 m <sup>2</sup>
	• 1,5 Lugares/fogo: T2 e T3; ou para a.m.f. entre 90 m <sup>2</sup> e 120 m <sup>2</sup>
	• 2 Lugares/fogo: T4, T5 e T6; ou para a.m.f. entre 120 m <sup>2</sup> e 300 m <sup>2</sup>
	• 3 Lugares/fogo > T6; ou para a.m.f. > 300 m <sup>2</sup> O nº total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20% para estacionamento público.
<b>Comércio</b>	• 1 lugar/30 m <sup>2</sup> a. c. com. para establ. < 1000 m <sup>2</sup> a. c.
	• 1 lugar/25 m <sup>2</sup> a. c. com. para establ. de 1000 m <sup>2</sup> a. c. a 2500 m <sup>2</sup> a. c.
<b>Serviços</b>	• 1 lugar/15 m <sup>2</sup> a. c. com. para establ. > 2500 m <sup>2</sup> a. c. + 1 lugar de pesado/200 m <sup>2</sup> a. c. com.
	• 3 lugares/100 m <sup>2</sup> a. c. serv. para establ. ≤ 500 m <sup>2</sup>
	• 5 lugares/100 m <sup>2</sup> a. c. serv. para establ. > 500 m <sup>2</sup> O nº total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 30% para estacionamento público.
<b>Indústria e/ou armazéns</b>	• 1 lugar/75 m <sup>2</sup> a. c. ind./armaz.
	Pesados: 1 lugar/500 m <sup>2</sup> a. c. ind./armaz., com um mínimo de 1 lugar/lote (a localizar no interior do lote). O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20% para estacionamento público.

a.c. - à área de construção; a. c. com. - a área de construção para comércio; a. c. serv. - área de construção para serviços; a. m. f. - área média do fogo

Em termos de planeamento urbanístico existem critérios regulamentares que impõem um número mínimo de lugares de estacionamento em função das características do local, do tipo de ocupação ou atividade ou ainda da tipologia dos fogos. Uma dessas fontes regulamentares aplica-se às novas urbanizações ou seja às novas operações de loteamento (quadro 2.4). Neste caso estabelecem-se parâmetros mínimos que variam consoante o tipo de atividade; habitação, comércio, serviços ou indústria ou armazéns. Assim, no caso da habitação o número mínimo de lugares exigido varia para as moradias unifamiliares em função da sua área de construção (a.c). No caso da habitação coletiva são estabelecidas duas hipóteses para o cálculo: a primeira é função da tipologia do fogo, por exemplo, por cada T0 e T1 deverá existir pelo menos um lugar; ou em função da área média de cada fogo, um lugar para fogos até 90 m<sup>2</sup>, 1,5 lugares para fogos entre 90 e 120 m<sup>2</sup> e assim sucessivamente. Estes valores correspondem a estacionamentos privados ou seja no interior de cada lote, em estrutura edificada ou à superfície (logradouros) aos quais se deverá acrescentar 20% em número de lugares para estacionamentos na via pública (longitudinal i.e. paralelos à faixa de rodagem, perpendicular ou oblíquo) (ver figura 2.13).

Por outro lado, estabelece-se também a dimensão que cada lugar privado deverá observar, sendo de 20 m<sup>2</sup> para veículos ligeiros estacionados à superfície e 30 m<sup>2</sup> em estrutura edificada. Quanto aos pesados exigem-se 75 m<sup>2</sup> por lugar à superfície e 130 m<sup>2</sup> em estrutura edificada. Refira-se ainda que em meio urbano dever-se-ão contemplar também, para além dos estacionamentos para ligeiros e pesados, os estacionamentos para deficientes.

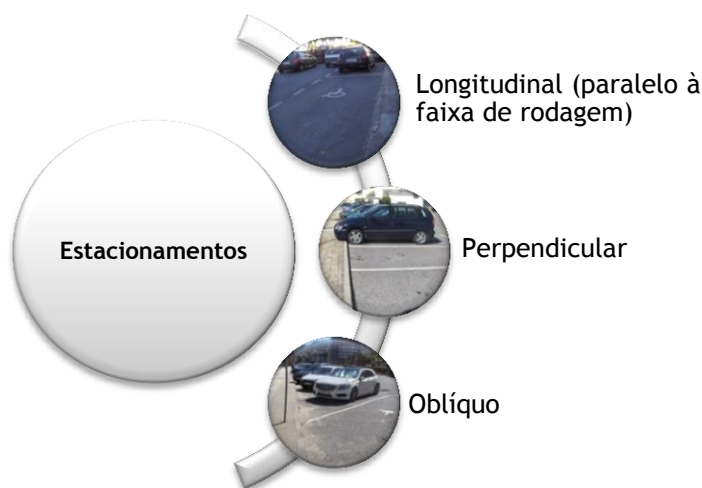


Figura 2.13 - Tipos de estacionamento

Em zonas predominantemente residenciais, os estacionamentos agrupados num único sítio em vez de distribuídos ao longo das ruas, poderão causar situações de conflito pois as pessoas tendem a querer estacionar o mais próximo da sua área de residência. Em zonas mais terciárias poder-se-á estacionar mais longe de modo a libertar as ruas para a circulação

pedonal, privilegiando o peão, em seguida o trânsito automóvel e só depois o estacionamento.

## 2.5 Síntese das funções das vias urbanas

Neste capítulo, pretendeu-se dar a conhecer o processo de caracterização das vias, desde as funções que desempenham, passando pela hierarquização que estabelece a classificação dos arruamentos, de forma a garantir que estes ofereçam bons níveis de serviço e desempenho face aos diferentes tipos de utilizações. Quanto à morfologia urbana, concluiu-se pela análise do ponto 2.4 que cada rua deverá incluir outros elementos como o passeio e o estacionamento, para além da tradicional faixa de rodagem.

De acordo com a bibliografia analisada, verificou-se que alguns autores classificam as vias urbanas de diferentes perspetivas. Assim, como se verificou no ponto 2.3. alguns autores (SECO *et al.*, 2008a; VILAÇA, 2009) classificam as vias urbanas recorrendo ao mesmo critério, isto é, em quatro tipos: coletoras ou arteriais, distribuidoras principais, distribuidoras locais e de acesso local. A critérios hierárquicos semelhantes (COSTA, 2008; RIBEIRO, 2005; SECO *et al.*, 2008a), acrescentam-se outros diferentes (PARDAL *et al.*, 1990) classificando as vias em meio urbano em três tipos de redes: estradas urbanas, arruamentos principais e secundários.

Como se pôde observar os critérios utilizados para a classificação das vias urbanas não são unânimes. Alguns autores distinguem as vias coletoras das distribuidoras principais (PARDAL, 1990) outros autores (SECO *et al.*, 2008a; VILAÇA, 2009) agrupam-nas num conjunto, outros ainda adicionam um novo tipo de vias, neste caso as de ligação (VILAÇA, 2009).

Complementarmente, como se demonstrou com o exemplo do PDM de Lisboa a classificação das vias urbanas pode depender de critérios à escala concelhia, utilizando-se uma metodologia diferente da dos referidos autores.

Unânime entre as variadas perspetivas analisadas quanto às funções e tipos de vias urbanas é o facto de estas serem elementos imprescindíveis à escala da cidade, das quais depende o seu bom funcionamento. Para tal é necessário que garantam um bom desempenho e conforto para os utentes, nomeadamente utilizando os materiais de pavimentação mais adequados a cada tipo de circulação.

Em síntese importa reter que qualquer que seja o critério utilizado para a classificação das vias urbanas, o estabelecimento de uma hierarquia entre elas ajuda a clarificar e a perceção que os utilizadores (residentes ou utentes) têm da sua cidade i.e. a facilidade com que entendem no seu sistema de valores o significado das partes que a constituem. Sob o ponto de vista de várias pessoas este aspeto é relevante, pois estabelece uma forma de distinção entre as ruas segundo a sua importância na cidade. Além disso, esta classificação contribui para clarificar a diferença entre a rua e a estrada, analisada no ponto 2.2.1.



## CAPÍTULO 3 - Estudo de caso: Alameda da Europa, Covilhã

Neste capítulo analisa-se um caso concreto de uma via urbana, a Alameda da Europa, na cidade da Covilhã. Pretende-se verificar a composição desta via em termos de morfologia, as funções que nela ocorrem e os materiais utilizados na camada superficial dos pavimentos. Esta escolha justifica-se no facto de esta rua ser de elevada densidade construtiva e populacional no contexto da cidade, caracterizada por edifícios com cêrceas entre os 6 e 10 pisos. Por outro lado a análise dos materiais resultou na carotagem *in situ* de modo a comparar os pavimentos existentes em termos de porosidade, permeabilidade e perda por desgaste com a mistura que se irá desenvolver em laboratório no Capítulo 5.

### 3.1 Localização da área em estudo

O troço da via em estudo, designada por Alameda da Europa, localiza-se na cidade da Covilhã no distrito de Castelo Branco. Esta rua é uma das mais movimentadas da cidade, pois nela se situam vários serviços e comércio como o centro comercial e as escolas (Pêro da Covilhã e Palmeiras), para além dos edifícios de habitação coletiva. Estabelece a ligação com a Rua Dr. Manuel Castro Martins a norte, a Avenida da Anil a nascente e a Alameda Pêro da Covilhã a poente, como se pode comprovar pelas figuras 3.1 e 3.2.



Figura 3.1 - Localização geográfica da área de estudo (Fonte: Googlemaps\_2013)

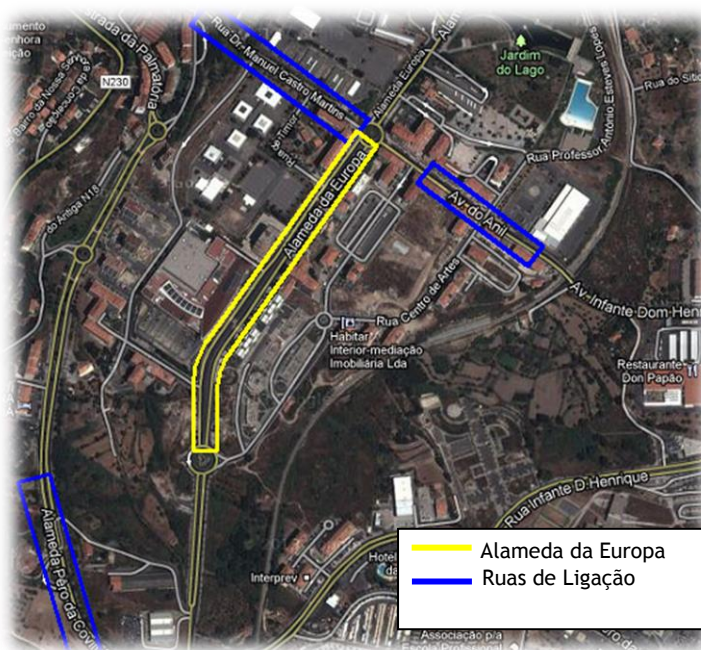


Figura 3.2 - Localização da Alameda da Europa e das ruas com as quais estabelece ligações (Fonte: Googlemaps\_2013)

## 3.2 Caracterização morfológica da via em estudo

### 3.2.1 Funções, composição e perfil

O troço da Alameda da Europa (figura 3.3) em análise tem uma extensão aproximada de 570 m, contabilizada entre a rotunda norte e a rotunda sul (ver figura 3.4). É constituído por passeios com árvores e estacionamentos (em espinha) de ambos os lados, pequenas faixas de espaços verdes ao centro e lateralmente, duas faixas de rodagem (com quatro vias, duas em cada sentido) e vários elementos do mobiliário urbano (candeeiros de iluminação pública, gradeamentos de proteção, bocas de incêndio, ecopontos, bancos). Os edifícios ao longo desta via são de elevada densidade construtiva (entre 6 a 10 pisos). Caracteriza-se pela grande diversidade funcional, quer pela presença de equipamentos de utilização coletiva como as escolas já referidas e acima de tudo pela sua dinâmica atividade no setor terciário (serviços e comércio) que nela se localizam. Este facto atrai muitos utentes para além da população residente tornando-a numa das mais movimentadas vias da cidade.

De acordo com a hierarquia e as funções atribuídas pelos vários autores às vias urbanas (analisadas no Capítulo 2), esta via caracteriza-se por conjugar as funções de transporte com grandes fluxos de pessoas e bens, de acessibilidade permitindo diversos tipos de utilização (peões, automóveis e transportes públicos) e também de cariz social pela diversidade funcional já referida.



Figura 3.3 - Visualização fotográfica da Alameda da Europa, Covilhã, 2013



Figura 3.4 - Demarcação do troço em estudo

Ainda que este dado requeira proceder a um estudo de tráfego mais detalhado, pela observação *in loco* das vivências, poder-se-ão referir dois tipos de circulações: interna e externa. A circulação interna (de acordo com a análise do ponto 2.2.2. do Capítulo 2) tem origem e destino em deslocações dentro do aglomerado urbano. Pelo que é necessário garantir a segurança quer do trânsito automóvel quer da circulação pedonal. Contudo, o facto de nela se localizarem diversos estabelecimentos de serviços (a exemplo das inúmeras agências bancárias) e o Serra *Shopping* atrai circulações com origem fora da cidade.

Relativamente à classificação estudada e apresentada sob o ponto de vista de alguns autores (no ponto 2.3.1 do Capítulo 2), a Alameda da Europa pode-se classificar segundo PARDAL *et al.* (1990) como pertencente à rede de arruamentos principais. Esta classificação justifica-se pelo fato de constituir uma avenida estruturante do sistema urbano, no sentido norte - sul em concordância com a topografia deste local.

De acordo com SECO *et al.* (2008a), também citado por COSTA (2008) e RIBEIRO (2005), VILAÇA (2009) e CARVALHO (2002) esta via poderá inserir-se na classificação das distribuidoras locais dada a circulação conjunta de tráfego motorizado e não motorizado com faixas próprias; garantir um conjunto de redes contínuas pedonais; permitir o acesso direto às propriedades confinantes; contemplar a existência de faixas de estacionamento automóvel;

bem como de trajetos pedonais de atravessamento garantidos pelas passarelas e respetivos semáforos. Quando classificada à luz do PDM de Lisboa (analisado no ponto 2.3.1 do Capítulo 2), pode ser designada por pertencer à rede de distribuição principal, dado que assegura a deslocação de grandes fluxos de tráfego interno à escala do concelho, atraídos pela forte presença do setor terciário.

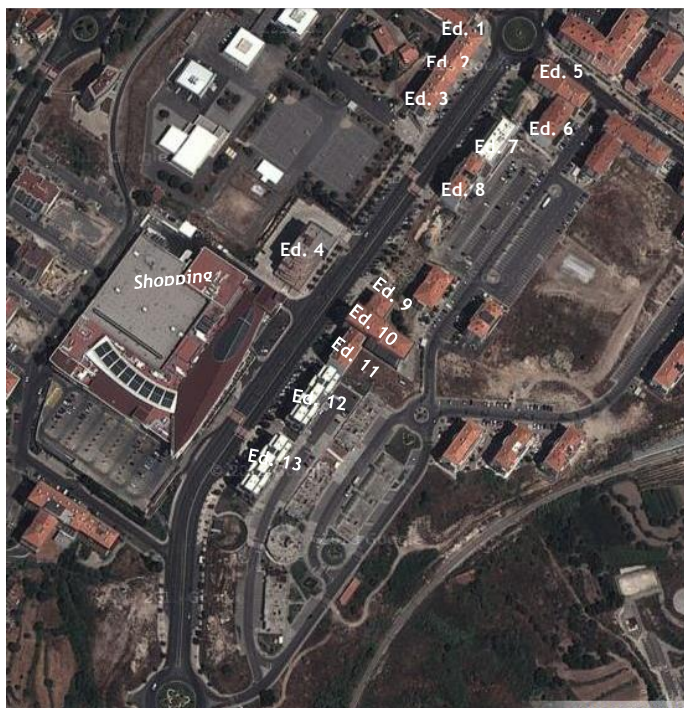


Figura 3.5 - Identificação dos edifícios

Como se pode observar no quadro 3.1 e na figura 3.6, a diversidade funcional da área de estudo distribui-se pela habitação, comércio e serviços. Estima-se que a função residencial represente cerca de 53% da área total de construção correspondente a 38.446,28 m<sup>2</sup>. Os serviços e o comércio correspondem a 47% o equivalente a 33.707,14 m<sup>2</sup> da área de construção estimada. Como se pôde observar no ponto 2.4 o perfil exigido para as ruas depende do peso da habitação face às demais atividades. Assim, na Alameda da Europa, como a área total de construção para a habitação é inferior a 80% da área total de construção, confirma-se o peso representativo no terciário, pelo que deverá corresponder a um perfil mais exigente. Tal perfil requer uma largura mínima de 12 metros (7,5 para a faixa de rodagem e 2,25 para os passeios). Este requisito é totalmente observado na Alameda da Europa cujas faixas de rodagem correspondem a 7,5 e os passeios a 4 e 4,35 metros.

Quadro 3.1 - Área de implantação dos edifícios

Nº do edifício	A <sub>o</sub> (m <sup>2</sup> ) Área de implantação do edifício	j (nº de pisos)	Atividades por piso	A <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> ) Área de construção do edifício
1	366,03	8	1 - comércio 2 a 8 - habitação	2928,28
2	365,75	8	1 a 2 - serviços e comércio 3 a 8 - habitação	2925,99
3	365,61	8	1 - serviços 2 a 8 - habitação	2924,84
4	556,11	10	1 - serviços 2 a 10 - habitação	5561,12
5	370,17	8	1 a 8 - habitação	2961,37
6	425,38	6	1 - serviços 2 a 6 - habitação	2552,27
7	389,9	8	1 - serviços 2 a 8 - habitação	3119,17
8	447,64	8	1 - serviços 2 a 8 - habitação	3581,15
9	320,11	6	1 - serviços 2 a 6 - habitação	1920,67
10	482,92	10	1 - serviços 2 a 10 - habitação	4829,16
11	375,49	6	1 - serviço e comércio 2 a 6 - habitação	2252,96
12	735	6	1 - serviços 2 a 6 - habitação	4410,00
13	735	6	1 - serviços 2 a 6 - habitação	4410,00
Shopping	6944,11	4	1 a 4 - comércio	27776,45
<b>Total</b>	<b>4989,10</b>			<b>72153,42</b>

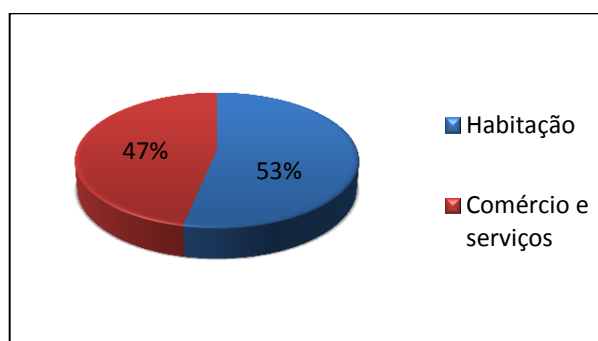


Figura 3.6 - Distribuição das atividades em percentagem

Dado o perfil variável ao longo do troço em análise, a escolha do local junto à rotunda norte (ver figura 3.7) para traçar o perfil transversal da Alameda da Europa, deve-se à diversidade das funções neste ponto (trânsito automóvel, estacionamento de veículos, circulação pedonal, espaço verde no separador central e numa faixa junto aos edifícios). Assim sendo, a via é composta por passeios com pequenos espaços verdes, estacionamentos e 13 edifícios, para além do Serra *shopping* em ambos os lados; duas faixas de rodagem com duas vias cada e um separador central (ver figura 3.5).

Na figura seguinte, apresenta-se uma aerofotogrametria parcial da via em estudo, com a localização do perfil transversal representado na figura 3.8.



Figura 3.7 - Levantamento aéreo da via em estudo, nomeadamente o perfil transversal realizado (Fonte: Divisão das Obras públicas, Câmara Municipal da Covilhã, 2013)

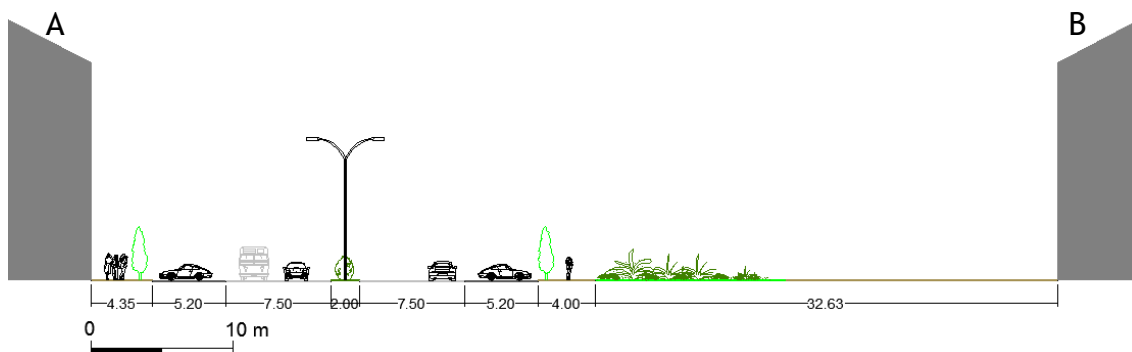


Figura 3.8 - Perfil transversal da Alameda da Europa (adimensional)

Como se analisou no ponto 2.2.1 uma rua difere de uma estrada também pela existência de elementos do mobiliário urbano. Ora, o mobiliário urbano é o conjunto de elementos que mediante instalação total ou parcial na via pública, se destine a satisfazer uma necessidade social ou a prestar um serviço, a título sazonal ou precário.

Considera-se como mobiliário urbano as esplanadas, quiosques, bancas, pavilhões, cabines, vidrões, palas, toldos, sanefas, estrados, vitrinas, expositores, guarda-ventos, bancos, papelarias, sanitários amovíveis, coberturas de terminais, pilaretes, balões, relógios, focos de luz, suportes informativos, abrigos, corrimões, gradeamento de proteção e equipamentos diversos utilizados pelos concessionários de serviço público e outros elementos congéneres (CML, 1991, Art. 3º: 9-10). Estes elementos deverão ser adequados, quer na sua conceção, quer na sua localização, à envolvente urbana, de forma a evitar a ocupação excessiva ou inadequada dos espaços de circulação provocando um efeito barreira (CML, 1991, Art. 5º: 10).

Observa-se que nesta rua, os elementos do mobiliário urbano estão em geral bem colocados não constituindo um obstáculo à circulação. Na figura seguinte, apresentam-se algumas imagens do mobiliário urbano que se encontram na rua em estudo. Nesta rua todos os passeios são rebaixados no acesso às passadeiras de atravessamento permitindo a adequada circulação dos peões.



Figura 3.9 - Exemplos de imagens de mobiliário urbano - Covilhã, Alameda da Europa, 2013

### 3.2.2 Pavimentos

Os pavimentos utilizados na faixa de rodagem e nos passeios influenciam a deslocação dos utentes, pelo que devem possuir condições favoráveis de segurança e conforto. É necessário que apresentem um bom desempenho a nível estrutural e para tal que possuam adequados materiais na sua estrutura, nomeadamente na camada superficial, pois é a que está sujeita à ação dos veículos, pessoas e ambiente.

A superfície de pavimentos (avaliada num total de 15359 m<sup>2</sup>) estimada deste arruamento é a seguinte (ver figura 3.10):

- ❖ Os passeios representam 31% da superfície total. Um deles tem 4,35 m de largura e o outro 4 m ( $4,35 \times 570 + 4 \times 570 = 4760 \text{ m}^2$ ).
- ❖ Os estacionamentos representam 13% da superfície total. Existem de ambos os lados numa extensão total de 394 m com 5,2m de largura ( $5,2 \times 394 = 2049 \text{ m}^2$ ).
- ❖ As faixas de rodagem representam 56% da superfície total. Com uma largura de 7,5 m em ambos os lados ( $2 \times 7,5 \times 570 = 8550 \text{ m}^2$ ).

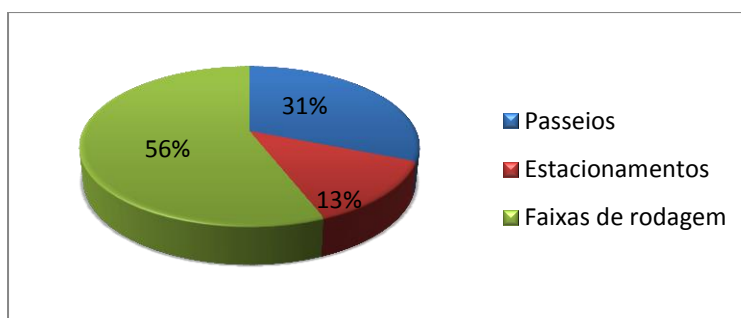


Figura 3.10 - Superfície dos pavimentos em percentagem

Relativamente aos materiais, verifica-se que nesta faixa de rodagem e nos estacionamentos é utilizada uma mistura betuminosa convencional impermeável e nos passeios uma argamassa, também esta impermeável. Na figura seguinte apresentam-se a faixa de rodagem, o estacionamento e o passeio, existentes atualmente no troço em estudo.

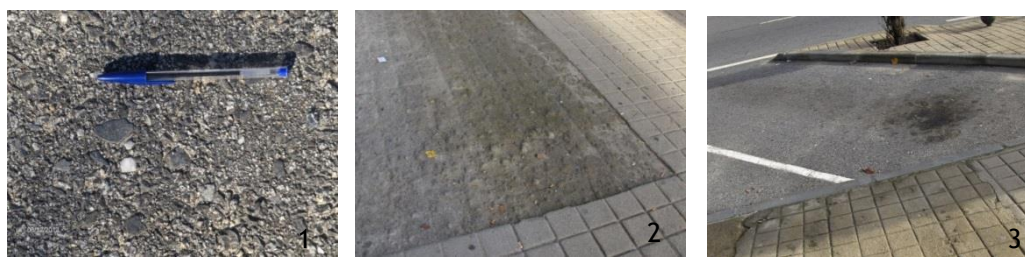


Figura 3.11 - (1) Imagem do pavimento da faixa de rodagem; (2) Imagem do pavimento do passeio da; (3) Imagem do estacionamento

Na figura 3.12 pode-se observar num dia de chuva, como a água fica armazenada à superfície, comprovando, assim a sua impermeabilidade. Na figura 3.12 observa-se os pavimentos numa época de pluviosidade.



Figura 3.12 - Rede viária (à esq.) e passeio (à dir.) num dia chuvoso



Figura 3.13 - Alameda da Europa em época de pluviosidade, Covilhã 2012

Na figura 3.14, pode-se observar que o separador central apresenta uma tela impermeabilizante e, por cima desta possui partículas de esponja e folhas secas, o que o torna impermeável.



Figura 3.14 - Impermeabilização no separador central

Os espaços verdes, também possuem maioritariamente uma tela impermeabilizante, encontrando-se com pedras de forma a transmitir uma imagem estética ao espaço verde, como se pode verificar na figura 3.15, assinalado. Posto isto, o espaço não será totalmente impermeável.



Figura 3.15 - Tela de impermeabilização nos espaços verdes

Na impossibilidade de realizar a carotagem na Alameda da Europa, pois o facto de ser uma das mais movimentadas da cidade não permitia a interrupção do trânsito, a extração decorreu na rua Centro de Artes (ver figura 3.16). A escolha desta rua justifica-se pelo facto de os materiais nela utilizados serem os mesmos utilizados na rua Alameda da Europa. Extraiu-se uma porção do material utilizado no pavimento dos passeios e outra da faixa de rodagem e do estacionamento. Consistiu na extração de três carotes no eixo da faixa de rodagem e três no passeio, de modo a serem analisadas e comparadas as suas propriedades face à mistura produzida em laboratório (Capítulo 5).



Figura 3.16 - Localização geográfica da rua Centro de Artes, Covilhã (Fonte: Googlemaps\_2013)

### 3.3 Síntese

Neste capítulo pretendeu-se dar a conhecer o troço da via urbana em análise na cidade da Covilhã, a Alameda da Europa, que estabelece ligação entre a Avenida da Anil, a rua Dr. Manuel Castro Martins e a Alameda Pêro da Covilhã.

Como se verificou na camada de desgaste, é utilizada uma mistura betuminosa densa nas faixas de rodagem e estacionamento e uma argamassa nos passeios.

Por outro lado a via revelou alguns problemas ao nível dos pavimentos e espaços verdes. Tais como os materiais utilizados que dificultam a permeabilização das águas resultantes da pluviosidade, demonstrando assim a sua impermeabilidade. Situação esta, agravada pelos poucos espaços verdes apresentarem uma tela impermeabilizante, impedindo o auxílio na diminuição deste problema. Todos estes fatores contribuem para acelerar a degradação e o desgaste dos pavimentos. Ora a utilização de uma mistura betuminosa mais porosa poderia contribuir para minorar estes inconvenientes.



## CAPÍTULO 4 - Mistura betuminosa drenante

Neste capítulo será feito um enquadramento teórico do tema em estudo referente às misturas betuminosas drenantes.

### 4.1 Aspetos gerais das misturas betuminosas

Os pavimentos flexíveis são os mais usuais em Portugal, sendo a sua estrutura constituída e principalmente condicionada por misturas betuminosas. Estas são constituídas por vários materiais granulares doseados de forma ponderal ou volumétrica e misturados na central com uma quantidade de ligante previamente determinada. O comportamento das misturas betuminosas depende de cada um dos elementos que as compõem, pois é essencial que os agregados e o ligante betuminoso sejam bem caracterizados de forma a não comprometer o comportamento e o desempenho dos pavimentos (MENEZES, 2008: 7).

As misturas betuminosas aplicadas na camada de desgaste desempenham funções estruturais e funcionais, sendo que as características funcionais são as mais influentes na formulação destas misturas. Para isso têm sido desenvolvidas misturas betuminosas especiais para camadas de desgaste, tais como as misturas drenantes ou misturas rugosas, de elevada textura e excelente comportamento em vias rápidas e em presença de água (CEPSA, 2007: 101; MENEZES, 2008: 7; PEREIRA, 2012: 13).

O comportamento de uma mistura betuminosa depende do desempenho global do pavimento. Na fase de formulação duma mistura betuminosa deve-se ter em atenção a estrutura do pavimento onde a camada desta será aplicada, assim como as ações do tráfego e do clima que atuam sobre o pavimento (DUARTE, 2010: 6).

A camada de desgaste deve garantir: um bom coeficiente de atrito pneu/pavimento, quer em condições de piso seco, quer quando molhado; um nível de ruído pneu/pavimento dentro dos limites exigidos, bem como adequadas características óticas; uma superfície regular, que possibilite a circulação em condições de conforto, economia e segurança e uma adequada macrotextura para permitir o escoamento das águas (MENEZES, 2008: 6-7).

Em Portugal, as misturas betuminosas em que são aplicados os betumes modificados para a camada de desgaste são o Betão Betuminoso drenante, o Betão betuminoso Rugoso e o Microbetão Betuminoso Rugoso (MENEZES, 2008: 5-6).

No que respeita à porosidade, as misturas betuminosas podem-se classificar em três tipos: densas, rugosas e drenantes, como se pode verificar na figura 4.1.

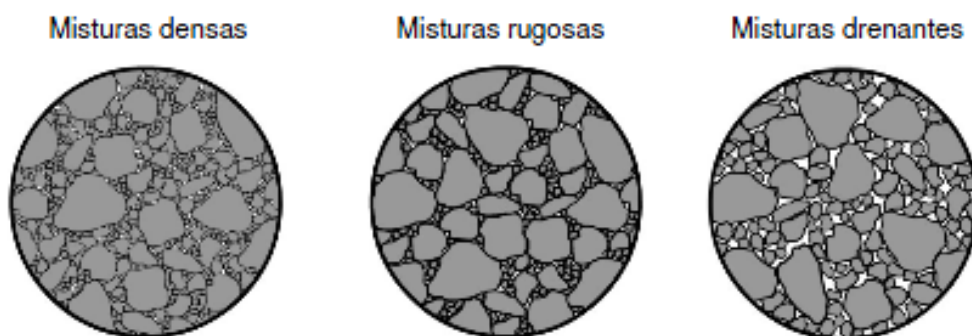


Figura 4.1 - Tipos de misturas betuminosas (Fonte: PEREIRA, 2009: 23)

As misturas densas apresentam uma curva granulométrica contínua e têm como uma das funções principais, impedirem a penetração da água para as camadas subjacentes. As misturas drenantes apresentam uma curva granulométrica descontínua e têm como função permitir a infiltração da água na mistura. As misturas rugosas são um meio-termo entre estas duas misturas, que apesar de permitirem a entrada de água, não o fazem com a mesma facilidade das misturas drenantes (PEREIRA, 2009: 23).

## 4.2 Mistura betuminosa drenante

A mistura betuminosa drenante (figura 4.2) também pode ser designada por betão betuminoso drenante (BBd) ou por asfalto poroso, que advém da tradução em inglês como é designado (*porous asphalt - PA*). É uma mistura que possui características especiais para a sua aplicação na camada de desgaste, conferindo maior segurança e comodidade de circulação aos utentes, principalmente em períodos de chuva, reduzindo a possibilidade de aquaplanagem e ruído de rolamento, contudo possuem uma menor resistência aos efeitos abrasivos do tráfego. Em locais com baixa pluviosidade e onde se acumule sujidade, não é aconselhável a aplicação deste tipo de misturas, pois podem colmatar-se (PEREIRA, 2012: 14; CEPSSA, 2007: 101).



Figura 4.2 - Mistura betuminosa drenante (Fonte: Google, 2013)

O betão betuminoso drenante é utilizado em muitos países europeus, principalmente com o intuito de reduzir o ruído de tráfego e aumentar a capacidade da estrada. A sua estrutura aberta reduz o ruído de tráfego, drena a água da superfície da estrada e reduz a condutividade térmica (ELVIK e GREIBE, 2005).

Atualmente, têm vindo a ser desenvolvidas uma segunda geração de superfícies drenantes, as misturas betuminosas em borracha e as duplas camadas porosas (*Twinlayer*) (SANTOS, 2007: 75).

O betão betuminoso drenante consiste numa mistura betuminosa a quente, constituída por agregados de tamanho uniforme, fíler e ligante betuminoso modificado por polímeros SBS (estileno-butadieno-estileno). Esta mistura difere da mistura betuminosa convencional pelo seu esqueleto mineral, devido aos elevados índices de vazios, com uma percentagem superior a 20%, sendo suscetível à colmatação causada pelo próprio ligante, o que faz com que seja necessário trabalhar na base da continuidade da película de ligante, de forma a assegurar a coesão do conjunto (RIBEIRO, 1995: 1). Se o ligante for muito fluido ou a união agregado-ligante for fraca, o ligante betuminoso poderá escorrer progressivamente da superfície do revestimento através dos poros e acumular-se dentro da estrutura de forma a contribuir para a segregação das partículas da superfície (VIRGILIIS, 2009: 48).

O revestimento drenante, pela sua elevada porosidade, tem como função permitir a infiltração da água da chuva através dos poros (figura 4.3), escoando pela superfície do suporte até à berma ou sistemas drenantes associados (PAVIDREN), de forma a evitar a sua permanência sobre a superfície do pavimento. Para que a mistura betuminosa apresente a característica porosa, deve possuir uma curva granulométrica descontínua diferindo das curvas granulométricas das misturas densas (AFNOR, 1991 citado por SILVEIRA, 2003: 21; PEREIRA, 2009: 23).

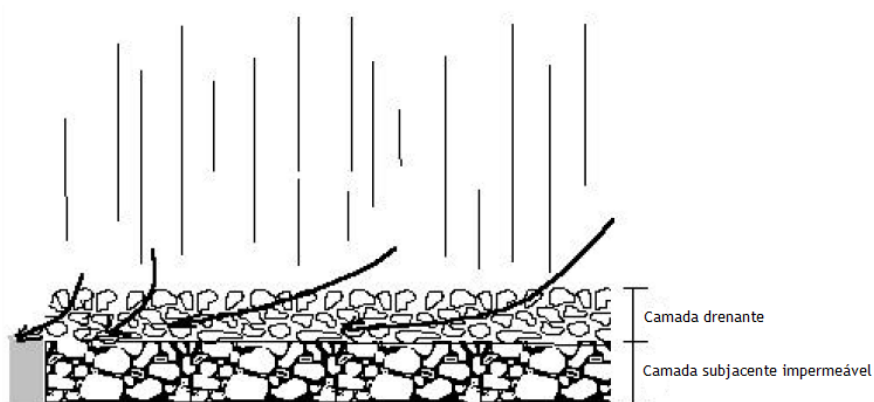


Figura 4.3 - Mistura betuminosa drenante sobre a camada impermeável (Fonte: ROJAS e RODRIGO, 1999)

Na figura 4.4 pode-se observar o comportamento da camada drenante vs. camada convencional.

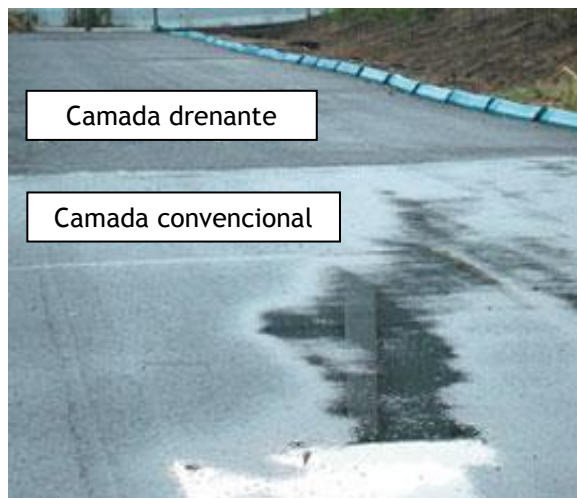


Figura 4.4 - Camada drenante vs. camada convencional (Fonte: Google\_2013)

Os pavimentos com camadas drenantes são os mais utilizados, apresentando uma espessura que pode variar de 3 a 5 cm, sendo mais frequente a aplicação de 4 cm (PAVIDREN). Estes são formados por uma mistura betuminosa drenante, incorporada com betume modificado, que absorve parte do ruído. A percentagem de vazios deve ser superior a 20% (FEHRL, 2006 citado por SANTOS, 2007: 69).

As camadas drenantes, caracterizada por uma elevada percentagem de espaços vazios, permitem drenagem vertical e horizontal da água, sendo que as camadas de pequena espessura (2 a 2,5 cm) só permitem a drenagem horizontal. A porosidade destas camadas permite a passagem da água através dos seus poros, facilitando o contacto entre as duas superfícies superiores. A utilização destas camadas consiste na diminuição da aquaplanagem. Esta, por sua vez resulta de uma película de água entre o pneu e o pavimento, levando à perda de aderência. Os pavimentos drenantes diminuem a existência desta película, pois possuem porosidade e permeabilidade elevadas que absorvem a água, permitindo que esta se escoe dentro da estrutura do pavimento através dos poros até à berma. Estes são classificados de acordo com a figura 4.5 e representados esquematicamente na figura 4.6.

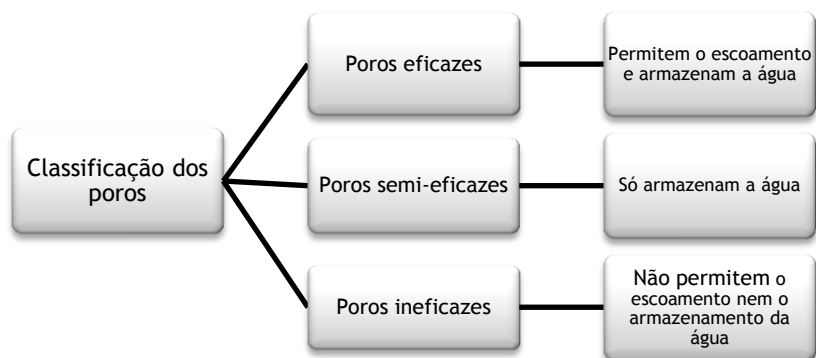


Figura 4.5 - Classificação dos poros (Fonte: RIBEIRO, 1995: 2)

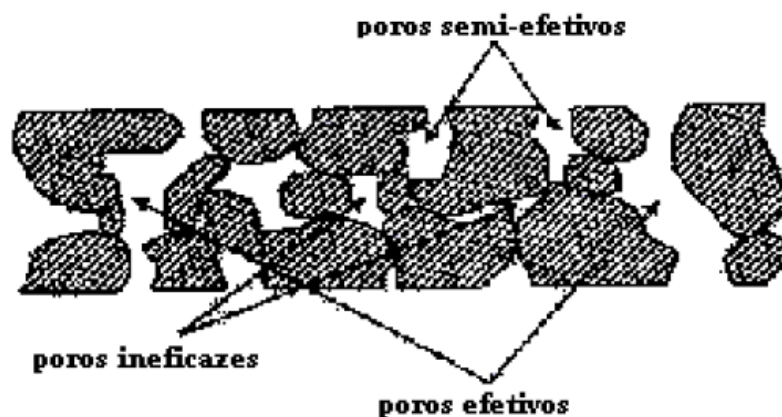


Figura 4.6 - Tipos de poros da mistura drenante (Fonte: Associação das Rodovias do Japão, 1996 por OLIVEIRA, 2003: 23)

A porosidade elevada leva a um maior contacto do betume com a água e o ar, o que leva a um rápido processo de envelhecimento do ligante e à perda de aderência entre os agregados e o betume. Para tal, a escolha dos agregados e betume deve ser feita corretamente, assim como a sua dosificação, de forma a envolver convenientemente os agregados (RIBEIRO, 1995: 1-6).

As camadas de desgaste drenantes possuem uma superfície lisa, sem ressaltos, mas com várias cavidades. Estas cavidades, interligadas entre si, conferem ao pavimento uma elevada macrotextura, da ordem de 1,5 a 2,5 mm de profundidade, medida pelo ensaio da mancha de areia. Esta macrotextura faz com que os pavimentos mantenham aderência do pneu-pavimento a altas velocidades (RECASENS, 2006: 7).

#### 4.2.1 Experiências estrangeiras da mistura drenante

Foi nos Estados Unidos na década de 30, onde foram desenvolvidas as primeiras experiências referentes a misturas betuminosas drenantes com a finalidade de resolver problemas de aderência nos pavimentos. Estas misturas receberam várias designações, ficando oficialmente conhecida como *open-graded friction course* (OGFC). Segundo as experiências de campo, em 1974, o *Federal Highway Administration* (FHWA) implementou especificação de serviço visando a aplicação de OGFC para áreas de tráfego pesado (Takahashi e Partl, 1999 citado por OLIVEIRA, 2003: 18).

A partir da década de 80, o Brasil teve as suas primeiras experiências com as misturas drenantes, com a aplicação em aeroportos (Petrobrás, 2001 citado por OLIVEIRA: 2003: 17).

Na Europa, as camadas drenantes foram desenvolvidas pelo *Transportation Research Laboratory* (TRL) no final dos anos 50, tendo sido nos anos 60 testadas em estradas públicas. A primeira superfície permeável foi aplicada em 1967 na M40, no Reino Unido (FEHRL, 2006 citado por SANTOS, 2007: 74).

Na Holanda, as primeiras aplicações dos pavimentos drenantes foram em 1972, levando, inicialmente à sua implementação com o objetivo de melhorar a segurança, tendo em conta o clima chuvoso do país. Mais tarde, nos anos 80, a implementação deste tipo de pavimento deveu-se à redução do ruído de tráfego. Em 1990 já existiam 4500 km de pavimentos drenantes na rede nacional, sendo 2000 km em autoestradas (OLIVEIRA, 1995: 47).

A França, no ano de 1977, foi um dos países europeus a utilizar este tipo de misturas. Ora, esta foi aplicada como trecho experimental com uma espessura de 4 cm e uma percentagem de vazios de 20% (Takahashi e Partl, 1999 citado por OLIVEIRA, 2003: 18).

A Bélgica, em 1979 experimentou pela primeira vez a pavimentação drenante, com a execução de um trecho de 2.700 m<sup>2</sup> de uma rede rodoviária em duas pistas com um volume de tráfego de 700 veículos/dia em cada direção (Heystraeten *et al.*, 1990 *apud* Meurer Filho, 2001 citado por OLIVEIRA, 2003: 18).

Em Espanha, construíram-se quatro trechos experimentais entre 1979 e 1980 numa rede rodoviária de tráfego pesado (Kraemer, 1997 *apud* Meurer Filho, 2001 citado por OLIVEIRA, 2003: 18).

Na Suíça, desde 1982 que têm sido executados pavimentos drenantes monitorizados constantemente de forma avaliar a durabilidade dos mesmos (Takahashi e Partl, 1999 citado por OLIVEIRA, 2003: 18).

Na Áustria, o primeiro trecho experimental foi executado em 1984, no Tirol (autoestrada A-12) sobre um pavimento de betão de cimento. Em 1989, as camadas drenantes apresentavam uma percentagem de utilização de aproximadamente 10% das camadas superficiais do sistema das autoestradas (camadas antiderrapantes ou betões porosos).

Em Itália, com o objetivo de reduzir o ruído do tráfego, a Sociedade de autoestradas italiana (*Autostrade*) realizou em 1988 uma campanha de observações envolvendo 1.200.000 m<sup>2</sup> de pavimento, de forma a estudar as propriedades acústicas (OLIVEIRA, 1995: 49-50).

No Japão os pavimentos drenantes são aplicados desde 1989. A agência governamental responsável pelas redes rodoviárias do Japão, o *Japan Highway Public Corporation* (JH), acompanha desde 1991 o desempenho destes pavimentos e, em 1998 adotou-se como padrão a utilização do pavimento drenante em todas as rede rodoviárias a serem construídas (Takahashi e Partl, 1999 citado por OLIVEIRA, 2003: 19).

Em Portugal, de acordo com Fonseca (1998) citado por OLIVEIRA (2003: 19), foram aplicados cerca de 6,5 milhões de metros quadrados de misturas betuminosas drenantes nas redes rodoviárias.

Em suma, a Europa, a Bélgica e a Holanda são os países que mais possuem pavimentos drenantes relativamente à rede rodoviária. A Bélgica utiliza bastante o betume puro tendo executado mais de 5 milhões de metros quadrados de pavimentos drenantes. A Holanda executou mais de 13 milhões de metros quadrados de pavimentos drenantes (<http://www.engenhariacivil.com/pavimentos-drenantes-agregados-granito>)

A superfície drenante, inicialmente, foi desenvolvida para reduzir a água superficial e a projeção desta em estradas de alta velocidade, para grandes períodos de pluviosidade, contudo verificou-se que esta superfície oferecia boas vantagens a nível acústico. Mais tarde foram realizadas experiências em várias partes do Mundo. Nas autoestradas dos Países Baixos, a camada drenante tornou-se a camada padrão, sendo que cerca de 60% da rede utiliza esta camada (SANTOS, 2007: 74).

VIRGILIIS (2009: 58) refere que inicialmente, o emprego deste tipo de pavimento era restrito a estacionamentos, passeios para peões e vias locais de pequeno tráfego. Após vários estudos satisfatórios, atualmente a implementação do betão betuminoso poroso é cada vez mais difundida, sendo utilizada em vias de tráfego significativo, como por exemplo, nas vias de contorno da cidade de Bordeaux, na França.

## 4.2.2 Materiais utilizados

### 4.2.2.1 Agregados

Os agregados constituem o esqueleto mineral das misturas betuminosas, pelo que devem ser resistentes à fragmentação e ao desgaste produzido pelo tráfego. Assim sendo, estes devem ser oriundos da britagem de rochas duras, não alteráveis, possuir uma boa forma e ser resistente à rotura e à degradação induzidas pelo efeito de abrasão e de fragmentação do tráfego (MENEZES, 2008: 6; PEREIRA, 2012: 8; CEPESA, 2007: 80). Para além disso, representam um papel fundamental na estrutura dos pavimentos, pois deferem resistência mecânica e flexibilidade à camada de desgaste, devendo apresentar uma elevada resistência ao polimento (CEPSA, 2007: 80). Assim sendo, para que possuem bom desempenho, é essencial que apresentem uma boa granulometria, resistência mecânica e adesão ao ligante betuminoso (FERREIRA, 2009: 51).

O material granular representa cerca de 90% a 95% do peso das misturas betuminosas utilizadas na pavimentação rodoviária (Kandhal *et al.* (1997) citado por BARRÃO, 2011: 30). As misturas drenantes possuem uma elevada percentagem de agregados grossos (75% a 85%) e uma baixa proporção de agregados finos, o que leva a um elevado teor de vazios interligados que proporcionam a capacidade de drenagem (PAVIDREN; ARTÍCULO 40.65: 1).

O fíler é o material que resulta do agregado no processo de peneiração, onde 100% do seu material passa no peneiro nº 25 (0,63 mm), 85% ou mais passa no peneiro nº 100 (0,125 mm) e mais de 70% passa no peneiro nº 200 (0,063 mm) (VELHO *et al.*, (1998) citado por SANTOS, 2010: 21).

Este pode ser natural ou artificial, de origem inorgânica e mineral. O fíler recuperado resulta do processo de fabrico de misturas betuminosas por recuperação dos finos e pode ser de origem mineral. O fíler comercial é produzido industrialmente e deverá ser de natureza calcária. São mais usuais os seguintes tipos de fíler: carbonato de cálcio, cinzas volantes, comercial, recuperado e cal hidráulica, sendo este último mais utilizado para misturas betuminosas drenantes (SANTOS, 2010: 22).

### 4.2.2.2 Ligante betuminoso

A camada de desgaste é a camada que mais está sujeita à carga dos veículos e às ações climáticas, por isso é necessário que a mistura betuminosa seja produzida com betume modificado de forma a assegurar as características funcionais para proporcionar uma circulação com segurança e conforto necessários para os utentes, contribuindo para a melhoria da aderência, regularidade do pavimento, ruído de rolamento e resistência ao

envelhecimento por ação dos agentes atmosféricos. Por vezes é utilizado um betume modificado com polímeros para proporcionar ao betão betuminoso as características de adesão e resistência (MENEZES, 2008: 5).

O uso dos ligantes especiais justifica-se por conferirem uma maior resistência à oxidação, pelo que as misturas drenantes encontram-se mais expostas a este fenómeno devido ao grande número de vazios que possuem. Estes ligantes permitem melhores ligações das partículas dos agregados (GONÇALVES *et al.*, 2000 citado por VIRGILIIS, 2009: 61).

O betume modificado resulta da interação do betume asfáltico tradicional com alguns aditivos. O desenvolvimento e aplicação deste betume surgiu nos anos 70 na Europa e nos anos 90 em Portugal (PESTANA *et al.* (2006) e FONSECA (2006) citados por SANTOS, 2010: 32). Estes aditivos diminuem a suscetibilidade térmica dos betumes, aumentam a sua viscosidade a altas temperaturas para evitar deformações plásticas, diminui a sua fragilidade a baixas temperaturas e aumenta a sua coesão e flexibilidade. Em suma, permitem uma excelente aplicação numa gama de temperaturas maior que a dos betumes tradicionais (CEPSA, 2007: 86). A utilização de betumes modificados para a camada de desgaste, permite reduzir os problemas relativos à utilização de betumes mais duros para esta camada, o que leva ao aumento da resistência à deformação permanente, contribuindo para uma mistura mais frágil, com eventual redução da resistência ao fendilhamento com origem à superfície (MENEZES, 2008: 6)

Na Europa, é muito usual a utilização de betumes modificados por polímeros, sendo, por vezes usados betumes modificados por pó de borracha de pneu e fibras.

Nos Estados Unidos, grande parte dos produtores de misturas betuminosas utilizam betumes convencionais para as misturas drenantes (GONÇALVES *et al.*, 2000 citado por VIRGILIIS, 2009: 61).

Em Portugal, os betumes modificados com polímeros são mais utilizados no fabrico misturas betuminosas drenantes e *Asphalt Concrete for Very Thin Layers* (ACTVL). As suas características devem estar de acordo com a Norma Europeia NP 14023 *Bitumes and Bituminous binders - Framework Specifications for polymer modified bitumens* (EN 14023), que estabelece um quadro de especificações das características e dos métodos de ensaios, destinados à construção e manutenção de pavimentos de estradas, de aeroportos e de outras áreas pavimentadas (ALVES, 2011: 53).

A razão betume/polímero influencia as propriedades finais e também o preço do produto, uma vez que os polímeros possuem preços mais elevados que os betumes. Mas não se pode pensar que o betume modificado quanto mais polímeros tiver melhor, pois a partir dos 8% de

incorporação, pode verificar-se uma inversão de fase, passando o betume a ficar disperso em polímero (SIMÕES, 2008: 7-8).

Todos os polímeros existentes podem ser usados na modificação de betumes tradicionais, sendo que nem todos apresentam resultados satisfatórios. Na figura 4.7 apresenta-se a classificação dos polímeros.

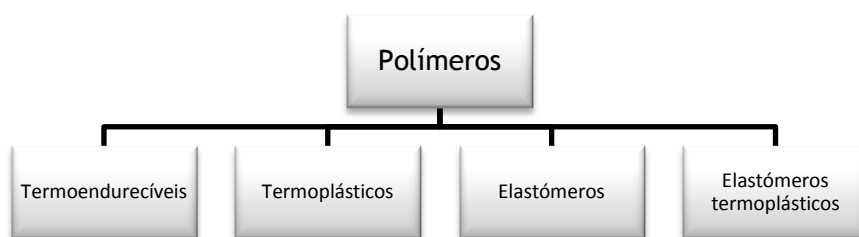


Figura 4.7 - Esquema dos diferentes tipos de polímeros

- **Termoendurecíveis:** Não se fundem, degradam-se numa temperatura limite e endurecem irreversivelmente quando aquecidos a uma temperatura que depende da sua estrutura química (Exemplos: resina epóxi, poliéster, poliuretano, entre outros);
- **Termoplásticos:** Fundem-se, tornando-se maleáveis reversivelmente quando aquecidos, adquirindo características plásticas (Exemplos: polietileno, polipropileno, PVC, entre outros);
- **Elastómeros:** Possuem um comportamento elástico. Quando aquecidos, decompõe-se antes de amolecer (Exemplos: SBR - estireno butadieno);
- **Elastómeros termoplásticos:** A baixas temperaturas, apresentam um comportamento elástico, mas quando aumenta a temperatura passam a apresentar comportamento termoplástico (Exemplos: SBS - estireno butadieno estireno e EVA - etileno acetato de vinila) (JUNIOR, 2008: 31; FILHO, 2009: 37).

Em Portugal, os polímeros mais utilizados são os elastómeros termoplásticos (polímero SBS - estireno-butadieno-estireno) e os termoplásticos (polímero EVA - etileno acetato de vinila). Estes, quando incorporados nos betumes tradicionais originam betumes mais duros e sólidos, com maior temperatura de amolecimento e boa coesão (SIMÕES, 2008: 7).

JAIR (1997) citado por Souza (2008: 13), menciona que em misturas betuminosas drenantes com uma porosidade superior a 25%, é utilizado o polímero SBS. Quando o SBS é misturado com betume, a fase elastomérica do copolímero de SBS absorve as frações de hidrocarbonetos do betume e incha até nove vezes mais do que o seu volume inicial (Isacsson (1995) citado por SENGOZ et al. (2008)).

### 4.3 Formulação da mistura betuminosa drenante

A formulação das misturas drenantes deve ter como parâmetro principal o índice de vazios de forma a obter características de drenagem e redução de ruídos (VIRGILIIS, 2009: 66).

Na formulação deste tipo de misturas devem ser evidenciadas quais as propriedades e características mais importantes que devem ser otimizadas, visando naturalmente obter um bom comportamento a médio e longo prazo, isto é, a resistência à desagregação e a porosidade. Estas duas propriedades são contrapostas, porque um aumento da porosidade supõe, à partida, uma perda de coesão e uma menor resistência à desagregação da mistura. Para tal, é necessário recorrer a ligantes especiais de forma a melhorar as suas propriedades e conseguir, ao mesmo tempo, uma elevada porosidade e uma adequada coesão.

Assim sendo, o ligante betuminoso desempenha um papel fundamental: assegurar a coesão e a estabilidade da mistura e dotar a mistura com a resistência necessária (PAVIDREN).

De forma a obter uma correta dosificação da mistura, os critérios para a determinação da formulação consistem em dosear os vários componentes (agregados e fíler) para obter uma curva granulométrica de trabalho equilibrada de acordo com o fuso granulométrico apresentado no caderno de encargos. Posteriormente, com base na granulometria deve definir-se o teor de ligante, de modo a atingir a porosidade necessária e proporcionar estabilidade estrutural (PAVIDREN; VIRGILIIS, 2009: 66). O mesmo autor refere que os teores mais altos representam películas mais espessas, o que leva a uma maior resistência à oxidação, maior ligação entre os agregados, o que aumenta a durabilidade do revestimento.

O teor de betume depende do tipo de ligante adotado, variando entre 4 a 5% para betume puro e 4,5 a 5,5% para betume modificado por adição de elastómeros (OLIVEIRA, 1995: 58).

### 4.4 Processo de produção, colocação em obra e compactação

A fabricação, a colocação em obra e compactação (figura 4.8) das misturas drenantes não apresentam dificuldades acrescidas em relação às misturas convencionais (MOPU, 1987: 30), uma vez que também são fabricadas em centrais a quente, utilizando espalhadores convencionais e compactação através de cilindros de rasto liso.

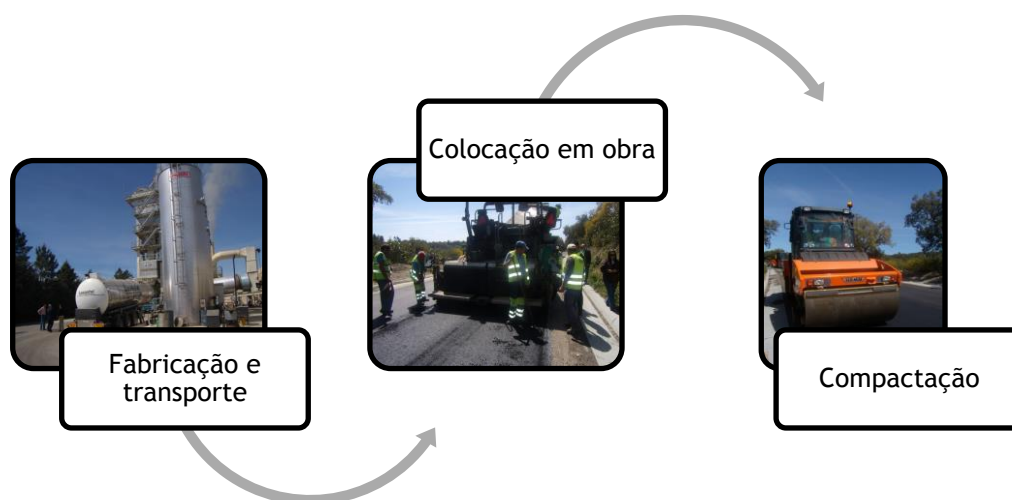


Figura 4.8 - Processo de fabricação até compactação das misturas drenantes

#### 4.4.1 Fabricação e transporte

A mistura betuminosa drenante é fabricada a quente em central. Para obter uma boa regulação na alimentação é conveniente analisar a granulometria real presente nos silos de cada agregado e proceder à correção da dosificação correspondente.

Quando se dosificam as diferentes frações dos agregados deve ter-se em consideração que as misturas drenantes têm menor densidade em relação às convencionais devido à escassez de finos e, conseqüentemente menor peso. No entanto, a temperatura de fabrico deve ser estritamente controlada devido a que estas misturas estão mais suscetíveis ao escorrimento do ligante do que uma mistura convencional (ROJAS e RODRIGO, 1999).

A execução da mistura possui dois fatores importantes: o tempo de espera entre a fabricação e a colocação em obra e a temperatura da mistura. Quando o tempo entre a fabricação e a colocação em obra é considerável (mais de duas horas), leva a que ocorra um escorrimento do ligante para o fundo da caixa do camião. Além disso, as vibrações transmitidas à mistura drenante através do leito do veículo de transporte, também podem aumentar o potencial de escorrimento. Ora, este escorrimento juntamente com o arrefecimento produzido devido ao atraso da colocação, faz com que a mistura não alcance a coesão e a trabalhabilidade adequadas, sendo rapidamente desagregada e levantada pelo tráfego (MOPU, 1987: 30; NCHRP, 2009: 23).

#### 4.4.2 Colocação em obra

A mistura drenante deverá ser colocada em obra sobre uma superfície impermeável livre de fissuras e com um planeamento que assegure a evacuação da água para as bordas laterais.

A colocação em obra em tempo frio, especialmente com vento forte, é pouco aconselhável devido à rapidez com que as misturas drenantes arrefecem. A mistura betuminosa drenante não deve ser colocada em épocas de pluviosidade. Por esta razão deverá evitar-se retoques e reparações localizadas (ROJAS e RODRIGO, 1999).

Quando a colocação da mistura não é uniforme e se produzem imperfeições, estas aparecem menos profundas depois da compactação. De forma a evitar este problema, as imperfeições devem retificar-se manualmente após do espalhamento, levando a uma superfície perfeitamente acabada depois de compactada (MOPU, 1987: 30).

Para que os pavimentos drenantes funcionem perfeitamente, é necessário que a camada subjacente não apresente deformações e seja impermeável. Se esta camada apresentar uma fissuração importante, juntas ou uma forte macrotextura, é recomendável substituir a rega de colagem clássica à base de emulsão, por uma membrana intermédia, constituída por um revestimento espesso, com o objetivo de amenizar a concentração de tensões na vizinhança das discontinuidades e também para garantir a estanqueidade do suporte. Esta membrana intermédia permite ainda melhorar a adesão entre a base e a camada drenante, contribuir para aumentar a longevidade desta última, reduzir o ruído e melhorar o comportamento da estrutura (Lefebvre (1989) citado por OLIVEIRA (1995: 59)).

Ao colocar a camada da mistura drenante, esta deve ser rebaixada na borda. A figura 4.9 apresenta três exemplos de como as margens do pavimento podem ser construídas. Obstruções na borda do pavimento vão impedir que a água escoe através da camada drenante. Além disso, as juntas longitudinais não devem ser pulverizadas com um revestimento de aderência. Mais uma vez, isto impede que o fluxo de água através da camada drenante. Relacionando a deposição, a mistura drenante deve terminar numa região plana da via (NCHRP, 2009: 23).

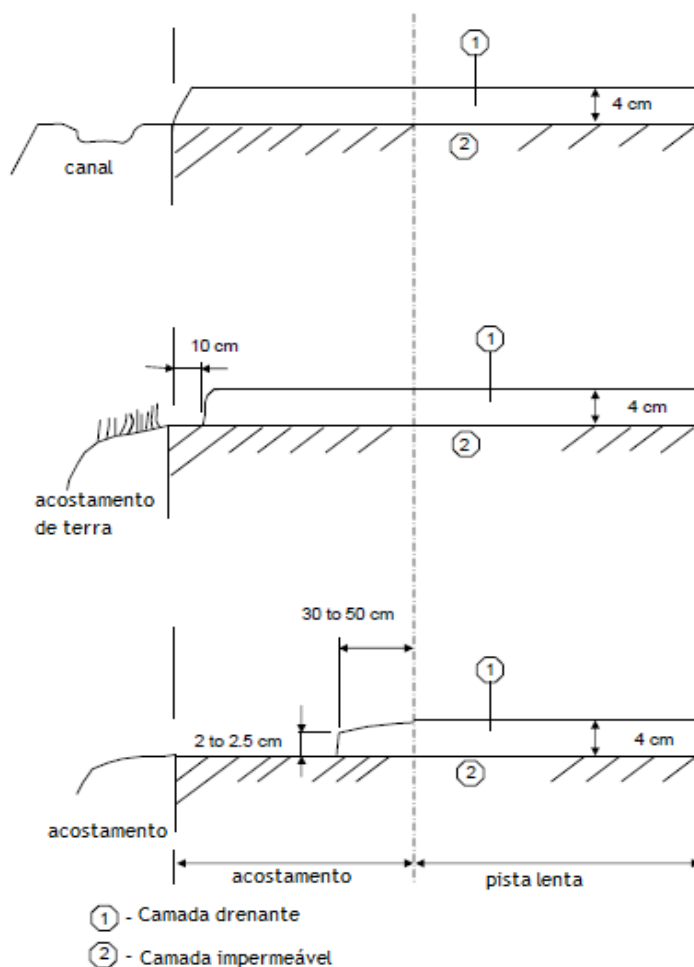


Figura 4.9 - Exemplos de rebaixamento das misturas drenantes (Fonte: NCHRP, 2009: 24)

Estes tipos de pavimentos drenantes são compostos por duas camadas: uma sem função estrutural que representa a camada superficial constituída por betão betuminoso drenante e a outra com função estrutural, que é constituída por betão betuminoso denso convencional.

É necessário um projeto adequado a nível de pavimento, para que a água recolhida seja conduzida, adequadamente, para os dispositivos de drenagem externos. Para tal, a camada drenante (que permite o escoamento das águas pluviais pelos vazios) é colocada sobre uma camada impermeável com um declive transversal apropriado, com o propósito de prevenir que a água atinja a sub-base ou que ocorra a estagnação da mesma no interior do revestimento drenante (HOMEM, 2002: 26). A água ao atingir a camada impermeável escoar devido às inclinações do perfil do pavimento, reduzindo assim a possibilidade de formação de poças de água sobre a superfície do pavimento (OLIVEIRA, 2003: 20).

A figura seguinte representa um perfil de forma ilustrativa do processo de funcionamento de pavimentos com revestimentos drenantes.

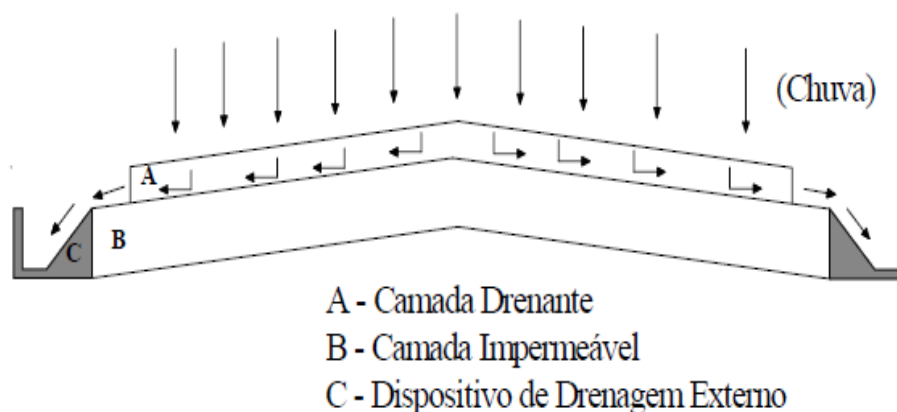


Figura 4.10 - Perfil ilustrativo do processo de funcionamento de um pavimento com camada drenante  
(Fonte: OLIVEIRA, 2003: 20).

### 4.4.3 Compactação

A compactação consiste na redução dos vazios da mistura betuminosa pelo processo mecânico segundo o Instituto Asfalto, (1989). As misturas drenantes são facilmente compactáveis, recorrendo-se a cilindros de rasto liso estáticos que permitem atingir uma excelente regularidade. Ainda que não seja necessária uma elevada energia de compactação, esta deve ser realizada de forma adequada, caso contrário existe risco de uma rápida desagregação da mistura (CEPSA, 2007: 106).

O método mais utilizado para a compactação da mistura drenante na Europa inclui o uso de cilindros metálicos de 10 a 12 toneladas sem vibração, pois a energia produzida pelos compactadores vibratórios pode fraturar os agregados, fazendo 2 a 3 passagens (NCHRP, 2009: 23). Não se deve utilizar compactadores de pneus porque aderem com facilidade à mistura e provocam o desprendimento de material. Além disso, provocam uma redução dos vazios à superfície.

O tempo de compactação das misturas drenantes é menor que o das misturas convencionais. De forma a assegurar um número suficiente de passadas (normalmente o mínimo é quatro), quando a produção esperada é superior a 100 ton/h, usar dois cilindros. Em todo o caso, é recomendado um cilindro de reserva (ROJAS e RODRIGO, 1999).

## 4.5 Vantagens

Os efeitos da camada drenante podem depender da condição da superfície do pavimento. Ao drenar a água da superfície durante a chuva, a camada drenante oferece benefícios de

segurança que incluem a redução/eliminação da aquaplanagem, do deslizamento, dos salpicos e pulverização da água (efeito *spray*), do ruído dentro e fora do veículo e da reflexão da luz devido à melhoria da drenagem, proporcionando uma melhor visibilidade durante a condução com o piso molhado. Por outro lado, a redução da condutibilidade térmica pode levar à menor resistência à derrapagem no inverno (ELVIK e GREIBE, 2005; KHEDOE RN et al. (2006) citado por HAMZAH *et al.* (2011b); HERRINGTON *et al.*, 2005: 9).

#### 4.5.1 Aderência

A aquaplanagem é um dos maiores riscos durante a condução em dias de chuva é a aquaplanagem (figuras 4.11 e 4.12), ou seja, a camada de água que se forma entre o pneu e o pavimento rompe o contacto entre ambos; o pneu “flutua na água” o que leva o condutor a perder o controlo do seu veículo. A evacuação rápida da água da superfície através da mistura drenante impede este fenómeno (ROJAS e RODRIGO, 1999).

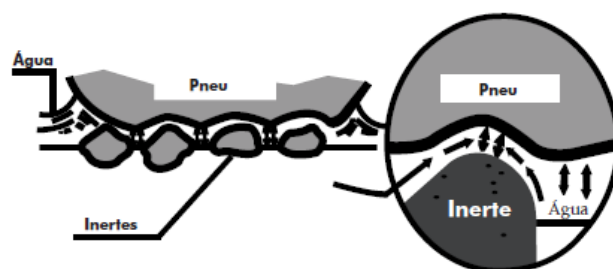


Figura 4.11 - Contacto do pneu-pavimento numa mistura betuminosa densa (Fonte: PAVIDREN)

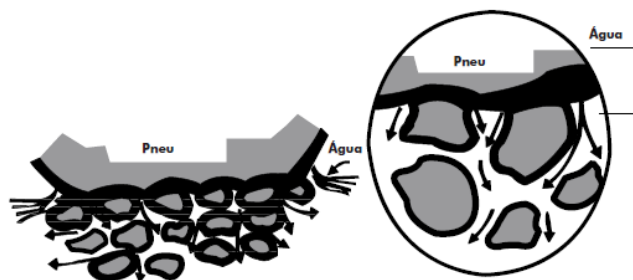


Figura 4.12 - Contacto do pneu-pavimento numa mistura betuminosa drenante (Fonte: PAVIDREN)

Mesmo quando há aquaplanagem a chuva pode reduzir consideravelmente a resistência ao deslizamento da superfície do pavimento. Os revestimentos drenantes podem contrariar este efeito permitindo, devido à sua macrotextura, que exista atrito entre o pneu e a superfície do pavimento de modo a que o veículo realize os movimentos que o motorista deseja, conseguindo assim uma maior segurança (menos distância de travagem) (ROJAS e RODRIGO, 1999; Castro (2005) citado por VIRGILIIS (2009: 59)).

### 4.5.2 Visibilidade

As misturas drenantes permitem manter a superfície do pavimento livre de água quando chove, devido à infiltração da água que se verifica nestas camadas, impedindo que ocorram o levantamento (efeito *splash*) e pulverização (efeito *spray*) da água quando da passagem dos veículos, melhorando consideravelmente a visibilidade e segurança do condutor.

Os condutores que circulam em direção oposta durante a noite são confrontados com o espelhamento devido à reflexão da luz nos pavimentos tradicionais molhados (superfície lisa), no entanto, os pavimentos com revestimento drenante eliminam a película superficial de água, reduzindo assim o fenómeno da reflexão das luzes permitindo ao condutor melhor visibilidade e segurança (ROJAS e RODRIGO, 1999; Castro (2005) citado por VIRGILIIS (2009: 60)).

### 4.5.3 Ruído

As misturas drenantes possuem a capacidade de absorver os ruídos provocados principalmente pelo contacto que se produz entre o pneu e o pavimento quando o veículo se encontra em movimento. Os vazios interligados entre si permitem a passagem do ar, atenuando os efeitos sonoros. Tanto o condutor, como o ambiente são favorecidos por esta redução (ROJAS e RODRIGO, 1999).

As camadas drenantes são naturalmente silenciosas devido à sua elevada porosidade. Alguns estudos realizados em autoestradas a uma velocidade de 110 km/h, determinam que a camada drenante é mais silenciosa do que a de betão betuminoso convencional. Os pavimentos com camada de desgaste em betão betuminoso possuem um nível de ruído de 82 dB e em camadas de betão betuminoso drenante o nível de ruído é de 79 dB (Andersen *et al.* (2006) citado por SANTOS (2007: 69)).

Resultados de ensaios efetuados no Reino Unido, demonstraram que os níveis de ruído provocados pelos veículos podem ser reduzidos até 3-5 dB, em relação às camadas de betão betuminoso convencional (NELSON AND ABBOT (1990) citado por SANTOS (2007: 75)). Uma redução de 3 dB é aproximadamente equivalente à redução atingida quando se diminui o fluxo de tráfego para metade.

## 4.6 Desvantagens

A camada drenante está propícia a dois problemas principais: a colmatação dos vazios e a oxidação do ligante. A colmatação dos poros, o que leva à perda das propriedades principais, drenante e acústica (SANTOS, 2007: 69). Contudo, a oxidação do ligante é o principal fator que limita a vida da camada drenante. A graduação muito aberta leva a uma maior oxidação e uma fragilização do ligante nestas misturas do que nas misturas convencionais. Este problema conduz à perda de material da superfície, sob tensões de cisalhamento de tráfego, tornando-a áspera e desigual (HERRINGTON *et al.*, 2005: 9).

### 4.6.1 Vida útil

A camada drenante possui uma vida de serviço limitada, principalmente devido à perda de agregado da camada de desgaste e à colmatação dos vazios. A perda de agregado da camada de desgaste é uma forma de fadiga que ocorre na camada de superfície do pavimento, normalmente começa depois de 7-9 anos de serviço (KHEDOE RN *et al.* (2006) citado por HAMZAH *et al.* (2011b)).

A reduzida vida de serviço efetivo limita a aplicação da camada drenante em muitos países. A redução dos vazios de ar eficazes ocorre, principalmente, devido à colmatação dos vazios e densificação sob tráfego pesado (SURESHA *et al.* (2010) citado por HAMZAH *et al.* (2011b)). HAMZAH (2011b) menciona que no Japão, segundo NIELSEN *et al.* (2005), a colmatação do pavimento drenante nas vias urbanas ocorre, normalmente, depois de 3-4 anos de construção do mesmo. A perda de permeabilidade é iminente quando os vazios são obstruídos, por partículas como poeiras, borracha de pneus e solos residuais depositados nas rodas dos veículos pesados (Fwa *et al.* (1999) citado por HAMZAH (2011b)).

A porosidade elevada promove também o efeito de oxidação e envelhecimento do ligante, sendo este um dos fatores que contribuem para a redução da sua aderência e as propriedades de coesão (HUBER (2000) citado por HAMZAH *et al.* (2011b)). A deterioração é controlada pelo aumento da espessura do ligante que recobre os agregados e pelo uso do betume modificado com polímeros (Castro (2005) citado por VIRGILIIS (2009: 60)).

A duração desta camada de desgaste, segundo a experiência francesa, é de 8-12 anos, semelhante ao intervalo médio de tempo correspondente às renovações com pavimentos densos; a experiência belga mostra que se podem prolongar a vida útil melhorando as propriedades do ligante e, segundo a experiência espanhola, o comportamento do aglomerado drenante é melhor que o denso (RECASENS, 2006: 14).

### 4.6.2 Económicas

Os revestimentos drenantes são mais caros que os revestimentos convencionais devido à necessidade de utilização de agregados de melhor qualidade, de um ligante modificado por polímeros, de maior consumo da sinalização horizontal que resulta da penetração da tinta nos poros, de uma camada impermeável subjacente e de camadas com espessuras maiores devido à capacidade estrutural ser menor que a do betão betuminoso convencional. Além destes aspetos, a conservação do revestimento drenante é mais cara que a do revestimento convencional (LEFEBVRE (1993) citado por VIRGILIIS (2009: 64)). Estes factos fazem com que o custo do revestimento drenante seja o dobro do revestimento convencional (CAMPOS (1998) citado por VIRGILIIS (2009: 61)).

### 4.6.3 Colmatação

Uma das principais preocupações com a utilização das misturas drenantes é a progressiva colmatação dos seus vazios. Esta é mais lenta quanto maior for a percentagem inicial de vazios. Para conseguir uma boa drenabilidade e que se mantenha com o passar do tempo é necessário utilizar misturas com um mínimo de 20% de vazios (Castro (2005) citado por VIRGILIIS (2009: 60)). A colmatação também se retarda utilizando granulometrias com um tamanho máximo igual ou superior a 11 mm. Quanto maior for o tamanho do agregado maiores são os vazios e maiores os diâmetros dos vasos de comunicação entre os poros, mas, pelo contrário, aumenta o ruído. Assim, ao aumentar o tamanho máximo do agregado utilizado de 8 a 11 mm ou de 11 a 16 mm, produz um aumento de ruído de 2 dB.

Os esforços de sucção do tráfego possuem um efeito descolmatador, mantendo a permeabilidade do pavimento alta quando a poluição não é muito alta, como é o caso das autoestradas. Por outro lado, nas zonas de forte poluição, bermas não pavimentadas e zonas urbanas, produz-se uma forte colmatação que pode inviabilizar a permeabilidade. Nestes casos devem tomar-se certas precauções, como por exemplo, a utilização de máquinas de descolmatação, que são eficazes quando utilizadas de forma preventiva antes que se produza a colmatação total do pavimento (RECASENS, 2006: 10).

### 4.6.4 Drenagem

A mistura deve ser aplicada sobre uma camada impermeável, estruturalmente estável e que tenha um perfil transversal que permita a evacuação da água.

A água que escorre pela mistura drenante deve ser evacuada através de drenos laterais, implicando a construção de canais e obras de arte que sirvam para este efeito (ROJAS e RODRIGO, 1999).

#### **4.6.5 Viabilidade invernal**

A manutenção de inverno nas misturas drenantes requer um maior esforço que as tradicionais, por exemplo necessita uma maior quantidade de sal, para manter os caminhos livres de neve e evitar o seu congelamento. Verifica-se que os veículos com correntes para a neve podem produzir vários danos no pavimento como o arranque superficial das partículas, entre outros (ROJAS e RODRIGO, 1999; RECASENS, 2006: 13)

Quando os pavimentos estão secos, a sua fraca condutividade térmica, devida à sua elevada porosidade, modifica o regime térmico da sua superfície, por comparação com a de um pavimento denso. Assim, um acentuado arrefecimento noturno provoca temperaturas mais baixas nos pavimentos drenantes do que nos pavimentos densos. Se a água contida nos pavimentos drenantes gela, produz um aumento considerável da energia armazenada no pavimento, comparando com um pavimento denso, o que torna mais difícil a fusão desse gelo (Combelles (1990) citado por OLIVEIRA (1995: 76)).

Jiménez (1987) citado por OLIVEIRA (1995: 78), afirma que a formação de gelo não tem nenhuma repercussão mecânica sobre a durabilidade do pavimento, porque o aumento de volume da água ao converter-se em gelo pode realizar-se livremente, sem que se produzam tensões nem pressões sobre a mistura, devido aos poros serem comunicantes. E pelo contrário, os pavimentos drenantes, ao eliminarem a água da superfície, evitam que se formem placas de gelo que são perigosas para a circulação dos veículos.

#### **4.6.6 Comportamento mecânico**

A maioria dos países consideram que as misturas drenantes possuem uma menor capacidade estrutural que as misturas densas, de 50% a 75%, ou seja, uma espessura de 4 cm de uma mistura porosa equivale a 2-3 cm de uma mistura convencional, embora esta relação varie muito, dependendo das condições ambientais (RECASENS, 2006: 13).

### **4.7 Recomendações para a manutenção da camada drenante**

Todos os pavimentos precisam de manutenção constante, contudo a manutenção de revestimentos drenantes é considerada como uma prioridade. Todos os pavimentos estão sujeitos à poluição, mas, para as camadas drenantes, a poluição pode ser o maior agravante, isto porque, como são misturas de granulometria aberta, a poluição bloqueia os vazios reduzindo-os, ou até mesmo anulando o desempenho da função drenante, perdendo a sua vantagem face aos revestimentos convencionais (SILVA, 2005: 24).

BROSSEAUD citado por SILVA (2005: 24) defende que para vias de elevada velocidade, o tráfego desempenha um papel fundamental, no efeito de limpeza da própria via. A manutenção mais utilizada consiste na limpeza e remoção das partículas que bloqueiam os vazios por meio de jatos e aspiração de água.

De acordo com RAZ citado por SILVA (2005: 24), o tempo de manutenção depende de cada tipo de revestimento, mas, geralmente nos revestimentos drenantes o tempo de manutenção pode ser iniciado um ano após a sua construção, estando a superfície limpa ou não. Em algumas situações, a perda da permeabilidade pode ser recuperada 50% no primeiro ano e, se existir uma manutenção apropriada, no ano seguinte pode ser recuperado até 70% da permeabilidade em relação ao ano anterior.

EPA (1999) citado por ACIOLI (2005: 33) propõe que a manutenção dos pavimentos com revestimento drenante deve ser feita por sucção a vácuo dos poros, pelo menos quatro vezes por ano, eliminando todos os detritos e finalizando com injeção de água com mangueira de alta pressão, para manter os poros abertos e limpos.

Para AZZOUT *et al.* (1994) citado por ACIOLI (2005: 33) as vassouras são desaconselháveis na limpeza destes revestimentos, pois empurram os resíduos finos para dentro dos poros.

No inverno, o papel da manutenção consiste em limpar as vias de gelo e neve a um custo aceitável, para que os condutores as possam utilizar quase normalmente, mas excepcional em todas as condições de inverno. Lefebvre indicou que cada país adota métodos de manutenção de inverno diferentes (NCHRP, 2009: 24).

Relativamente à sua reparação e manutenção, as atuações podem ser de âmbito local ou geral. A reparação local, consiste em retirar o material degradado/danificado, cortar-se os bordos verticalmente e aplicar-se uma nova camada de desgaste drenante. As reparações generalizadas, consistem em colocar sobre a camada drenante uma argamassa betuminosa, um microaglomerado, uma mistura densa ou outra camada drenante, dependendo do estado em que se encontra o pavimento, da sua capacidade estrutural e da sua deterioração superficial (RECASENS, 2006: 14).

#### **4.7.1 Inspeção**

Todas as áreas de pavimentos drenantes devem ser inspecionadas duas vezes por mês nos primeiros três meses após a sua construção, e depois anualmente. Devem ser realizadas após grandes tempestades para verificar o estado da superfície que pode indicar colmatção local ou generalizada. Além disso, também é importante inspecionar frequentemente se as áreas

do pavimento se encontram livres de detritos, sedimentos e ervas. É importante também, verificar se as áreas ajardinadas não contêm áreas nuas que podem contribuir com sedimentos que se soltam para a camada drenante. A superfície do pavimento também deve ser inspecionada para determinar a existência de quaisquer fissuras ou buracos.

#### 4.7.2 Manutenção de rotina

Os pavimentos de misturas drenantes podem ter uma vida útil muito mais longa do que o pavimento convencional. Devido à boa drenagem da camada e apoio estrutural profundo dos pavimentos de misturas drenantes, eles tendem a desenvolver menos fissuras e buracos do que o convencional. No entanto, para facilitar uma vida de serviço mais longa que o pavimento drenante deve ser sujeito a operações de manutenção regularmente. As operações de manutenção devem ser realizadas como recomendado seguidamente:

- Mensal: Remover qualquer sedimento ou detrito que podem ficar depositados nas áreas da mistura drenante para minimizar a potencial colmatação dentro deste.
- Trimestral: varredura da superfície da camada drenante num mínimo de 4 vezes por ano. O camião de varrer também pode ser utilizado desde que não existam obstruções da mistura. Segue-se varrendo a vácuo com água de alta pressão para manter os poros abertos.
- Quando necessário: Reparar quaisquer fissuras e buracos que podem ocorrer; estabilizar e/ou vegetar quaisquer áreas a nu que podem contribuir para o sedimento da camada drenante durante uma tempestade de chuva (<http://ahhowland.com/assets/docs/Porous-Asphalt-Maintenance-Handbook.pdf>).

### 4.8 Síntese

Neste capítulo pretendeu-se dar a conhecer as misturas betuminosas drenantes, esclarecendo um pouco mais sobre este tipo de misturas. Para tal, neste enquadramento teórico referente a este tema foi analisada uma bibliografia exaustiva.

Inicialmente mencionou-se as misturas betuminosas num contexto mais generalizado, tendo-se especificado as misturas betuminosas drenantes, nomeadamente a constituição e as suas características principais, entre as quais, devem possuir uma porosidade superior a 25%; devem conter poucos agregados finos, sendo constituídas por 85% de agregados grossos; devem utilizar um ligante betuminoso modificado por polímeros SBS; devem ter uma espessura de 4 cm.

A mistura betuminosa drenante vem sendo utilizada há já alguns anos, apesar de não ser em grande escala, tendo sido utilizadas primeiramente nos Estados Unidos da América na década de 30. Estas misturas chegaram à Europa no final dos anos 50 tendo sido testadas nos anos 60.

Descreveu-se o processo desde a produção em fábrica, transporte, colocação em obra até à compactação.

Estas misturas drenantes são misturas que pelo facto de terem elevada permeabilidade apresentam várias vantagens devido à sua porosidade, relativamente à aderência, à visibilidade e ao ruído. Contudo, como qualquer aspeto positivo, estas misturas apresentam algumas desvantagens, nomeadamente, a sua vida útil, os custos elevados que envolve, a drenagem, entre outros.

Por último, apresentam-se algumas recomendações para a manutenção dos pavimentos com revestimento superficial drenantes.



## CAPÍTULO 5 - Estudo experimental da mistura betuminosa drenante

Neste capítulo pretendeu-se desenvolver uma mistura betuminosa drenante para vias urbanas, pelo que foram feitos vários ensaios para determinar o seu desempenho e permeabilidade. Exposto isto, os ensaios efetuados para determinar as propriedades destas misturas realizaram-se, numa primeira fase, para os agregados em que consistiu na análise granulométrica, massa volúmica, a absorção de água e a resistência à fragmentação. Numa segunda fase, procedeu-se à produção em laboratório das misturas betuminosas drenantes e a análise da composição destas, isto é, a baridade, a baridade máxima teórica e a porosidade, bem como os ensaios da rigidez, da permeabilidade, do desgaste, da deformabilidade e da sensibilidade à água.

Seguidamente são descritos os ensaios realizados de caracterização mecânica e hidráulica das misturas betuminosas drenantes e constituintes.

Para este estudo, foram utilizados os resíduos das escombreyras das Minas da Panasqueira, sendo um dos objetivos deste estudo, a utilização deste material de forma a fazer com que a mistura se torne mais económica, pois os agregados naturais são obtidos em exploração envolvendo vários gastos, enquanto o resíduo não. Relativamente ao ambiente, é uma forma de diminuição do impacto ambiental quer pela redução da extração dos recursos naturais quer pela redução do depósito dos resíduos das Minas da Panasqueira.

Posteriormente, foram recolhidas carotes *in situ* na cidade da Covilhã que foram submetidas a diversos ensaios, de forma a comparar o desempenho e a permeabilidade em relação às misturas produzidas em laboratório.

### 5.1 Caracterização dos materiais utilizados

A caracterização dos materiais utilizados foi realizada através de vários ensaios físicos e mecânicos.

#### 5.1.1 Agregados

Os agregados utilizados para a realização deste trabalho são de origem granítica, provenientes da pedreira Joaquim Bartolomeu, é uma pedreira da região situada na margem esquerda da Ribeira da Meimôa junto à ponte, na Quinta da Caçôa, no concelho do Fundão, distrito de Castelo Branco. Este tipo de agregados são os que mais se utilizam em Portugal na

execução de pavimentos, particularmente na Beira Interior. Trata-se de um granodiorito de textura média fina sem alteração, com uma resistência à compressão de 165 MPa (CASTRO GOMES *et al.*, 2002).

Para a realização deste estudo utilizaram-se as britas graníticas 3/6 e 6/15 e o pó de pedra, apresentam-se os agregados utilizados nas figuras 5.1 e 5.2.

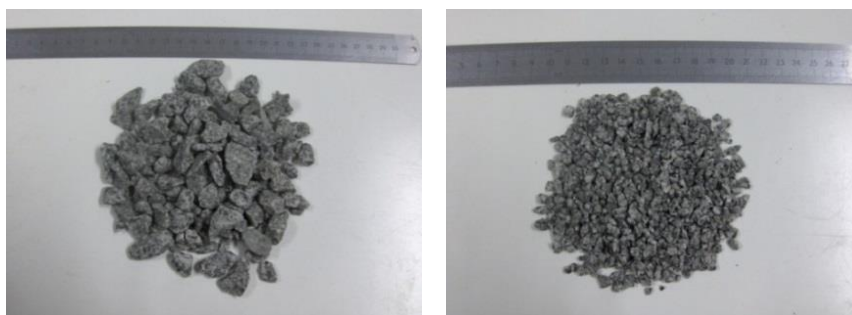


Figura 5.1 - Brita 6/15 (à esq.) e brita 3/6 (à dir.)



Figura 5.2 - Pó de pedra

#### 5.1.1.1 Análise granulométrica

As britas 3/6 e 6/15 e o pó de pedra foram submetidas ao método da peneiração de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 933-1 (NP EN 933-1, 2000).

A análise granulométrica das britas 3/6 e 6/15 e do pó de pedra é expressa pelos valores que se encontram na figura 5.3.

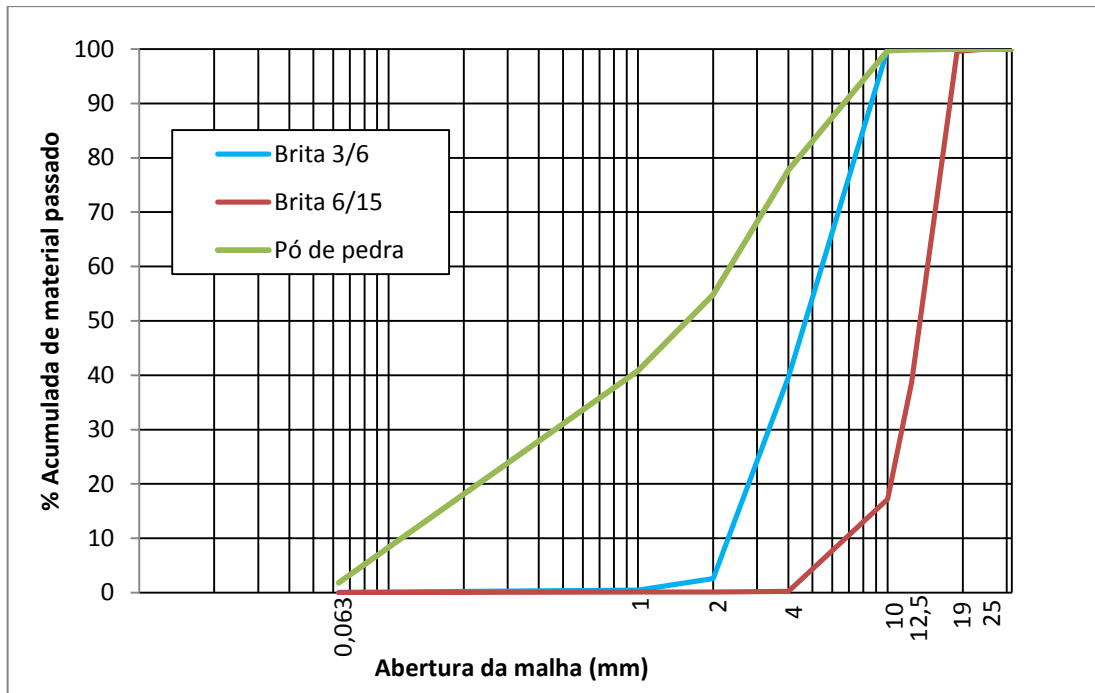


Figura 5.3 - Curva granulométrica das britas 3/6 e 6/15 e do pó de pedra

### 5.1.1.2 Massa volúmica e absorção de água

Os ensaios realizados relativamente à massa volúmica e à absorção de água para as britas 3/6, 6/15 e pó de pedra foram realizados segundo a Norma Portuguesa EN 1097-6 (NP EN 1097-6, 2003). Para obter a massa volúmica das britas foram utilizados dois métodos: o método do cesto de rede metálica para a brita 6/15 e o método do picnómetro para a brita 3/6 e pó de pedra.

A massa volúmica é dada pela seguinte fórmula:

$$\delta = \frac{M1}{M1 + M2 - M3} \times \rho_w \quad (5.1)$$

Onde:

$\delta$  - Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$M1$  - Massa do provete saturado com superfície seca (g);

$M2$  - Massa do cesto de rede vazio imerso (g);

$M3$  - Massa do cesto de rede com o provete imerso (g);

$\rho_w$  - Massa volúmica da água à temperatura de ensaio ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

A absorção de água é dada pela seguinte expressão:

$$A = \frac{(M1 - M4) \times 100}{M4} \quad (5.2)$$

Onde:

A - absorção de água (em percentagem de massa seca) após imersão de 24 horas (%);

M1 - massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g);

M4 - massa no ar do provete seco em estufa (g).

Os resultados obtidos para a massa volúmica e absorção de água para a brita 3/6 e 6/15 são apresentados no quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Massa volúmica e absorção de água das britas 3/6 e 6/15 e do pó de pedra

Agregados	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Absorção de Água [%]
Brita 3/6	2710	0,10
Brita 6/15	2690	0,14
Pó de pedra	2640	3,29

O caderno de encargos das Estradas de Portugal (CE EP, 2012: 59), não possui um valor máximo para a massa volúmica referente aos agregados a utilizar na produção do betão betuminoso drenante. Para a absorção de água estabelece valores inferiores a 1%, pelo que os resultados obtidos para as britas encontram-se dentro deste limite, enquanto os resultados obtidos para o pó de pedra ultrapassam este valor.

### 5.1.1.3 Desgaste na máquina de Los Angeles

A determinação da resistência à fragmentação das britas 3/6 e 6/15 foi realizada pelo ensaio de Los Angeles de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 1097-2 (NP EN 1097-2, 2000).

O resultado do coeficiente de Los Angeles para as britas 3/6 e 6/15 apresenta-se no quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Coeficiente de Los Angeles da brita 6/15

Agregado	Desgaste de Los Angeles (%)
Brita 3/6	28
Brita 6/15	26

O resultado do ensaio de desgaste de Los Angeles, para as britas 3/6 e 6/15, de acordo com o Caderno de Encargos que estabelece uma percentagem máxima de 20%, a brita 3/6 e 6/15 apresentam uma percentagem de desgaste de 28% e 26%, respetivamente, não se encontrando de acordo com o caderno de encargos (CE EP, 2012: 59).

### 5.1.2 Cal Hidráulica

A Cal Hidráulica é um ligante hidráulico em pó constituído fundamentalmente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. É obtida por cozedura de calcário margoso, seguida de moagem. A Cal é utilizada como substituto do fíler nos pavimentos betuminosos normalmente na camada de desgaste.

Sendo a Cal Hidráulica um produto mais compacto em termos granulométricos do que fíler comercial e apresentando ainda características reativas inexistentes no fíler, a substituição deste em valores da ordem dos 2 a 3%, conduz a uma melhoria sensível na qualidade e nas características finais da camada. É adicionada à mistura a quente, reagindo com o betume e melhorando a coesão da mistura betuminosa, evitando a desagregação do pavimento.

A Cal hidráulica (figura 5.4) utilizada neste trabalho é designada por MARTIGANÇA HL5 da SECIL. OS métodos de ensaio da Cal Hidráulica, para avaliar as propriedades que a compõem, foram realizados segundo a NP EN 459-1 (2010) no laboratório da SECIL.



Figura 5.4 - Cal hidráulica

Os requisitos aplicáveis à cal são definidos pela Norma Portuguesa NP EN 459 - *Cal de Construção - Parte1: Definições, especificações e critérios de conformidade*.

### 5.1.2.1 Massa Volúmica

A massa volúmica da Cal Hidráulica foi determinada segundo a Especificação do LNEC E64-1968, E376-1993 e E377-1993. O método utilizado foi o Densímetro de *Le Châtelier*.

Os resultados obtidos apresentam-se no quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Massa volúmica da cal hidráulica

Ligante Hidráulico	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]
Cal Hidráulica	2814

### 5.1.3 Resíduo das escombrelas das Minas da Panasqueira

O Couto Mineiro da Panasqueira (figura 5.5) situa-se no Distrito de Castelo Branco, mais propriamente nos limites dos concelhos da Covilhã, Fundão e Pampilhosa da Serra, com uma área total de 21 km<sup>2</sup>, que associa 42 concessões minerais, a Panasqueira e o Cabeço do Pião as primeiras, juntando-se a estas, posteriormente, as explorações do Vale da Ermida, Vale das Freiras e Barroca Grande. Fica situado em pleno Maciço Hespérico, na Vertente Sul da cordilheira montanhosa da Serra da Estrela (a uma altitude de cerca de 700 metros), mais precisamente no maciço da serra do Açor, a poente da depressão tectónica bem conhecida pela designação de “Cova da Beira”.

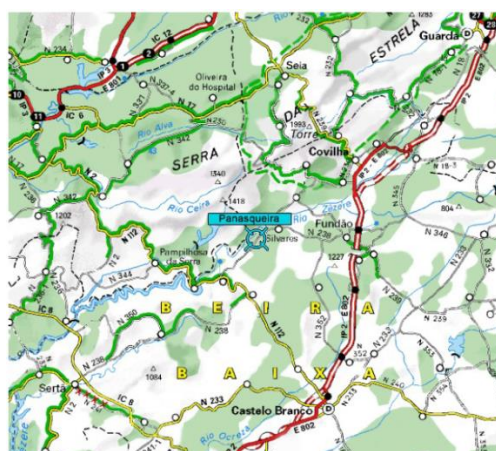


Figura 5.5 - Localização geográfica das Minas da Panasqueira (Fonte: DINIS-ALMEIDA, 2003: 83)

A sul destas minas passa, no sentido Nascente - Poente, o rio Zêzere, principal recetor de todas as linhas de água da região e de onde se retirava toda a água necessária ao tratamento mecânico do minério extraído.

O centro mineiro criado pela *Beralt Tin & Wolfram* situa-se na povoação da Barroca Grande, na freguesia da Aldeia de São Francisco de Assis, onde se concentra toda a atividade mineira. Dista cerca de 50 km da cidade da Covilhã, 30 km da vila do Fundão e 40 km da vila da Pampilhosa da Serra.

As Minas da Panasqueira são as maiores produtoras de concentrados de tungsténio (W) da Europa, sendo ainda explorados, mas em menor proporção, cobre (Cu) e estanho (Sn). Atualmente, por a mina se manter em atividade, tem-se desenvolvido a maior escombreira deste couto mineiro e mesmo do todo nacional, paredes meas com a ribeira do Bodelhão e com o rio Zêzere.

A escombreira da Mina da Panasqueira (figuras 5.6 e 5.7) é constituída por partículas de quartzo, xistos e grauvaques que apresentam granulometria homogénea. Existem rochas de cobertura, encaixantes ou da ganga que normalmente apresentam uma granulometria regular, embora tendencialmente grosseira e com uma distribuição espacial distinta, como consequência da segregação que as partículas sofrem ao serem depositadas em escombreiras e por não estarem alterados; Existem detritos resultantes do tratamento, normalmente com uma granulometria inferior à dos materiais.



Figura 5.6 - Vista das escombreiras das Minas da Panasqueira (Fonte: Google\_2013)



Figura 5.7 - Vista aérea das escombrelras da concessão da Barroca Grande (fonte: Googlemaps\_2013)

Após o abandono da exploração, começaram a ser feitas descargas de materiais nas escombrelras que como se encontram desprovidas de vegetação, são visíveis a grande distância, essa percepção é-nos dada pelas formas angulares da escombrelra e contribui decisivamente para agravar o foco de poluição mesmo no curso do rio (REIS (1971) citado por DINIS-ALMEIDA (2003: 85)).

As concessões que cobrem o respetivo jazigo ocupam uma grande área que se reparte pelos concelhos da Covilhã, Fundão e Pampilhosa da Serra, em região de topografia acidentada e agrupados em dois Coutos Mineiros - O Couto Mineiro da Panasqueira e o Vale da Ermida (DINIS DA GAMA *et al.*, 2002).

Na figura 5.8 apresenta-se o resíduo das escombrelras das Minas da Panasqueira.



Figura 5.8 - Resíduo das escombrelras das Minas da Panasqueira

### 5.1.3.1 Análise Granulométrica

O resíduo das Minas da Panasqueira foi submetido ao método da peneiração de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 933-1 (NP EN 933-1, 2000).

A análise granulométrica do resíduo das Minas da Panasqueira é expressa pelos valores que se encontram na figura 5.9.

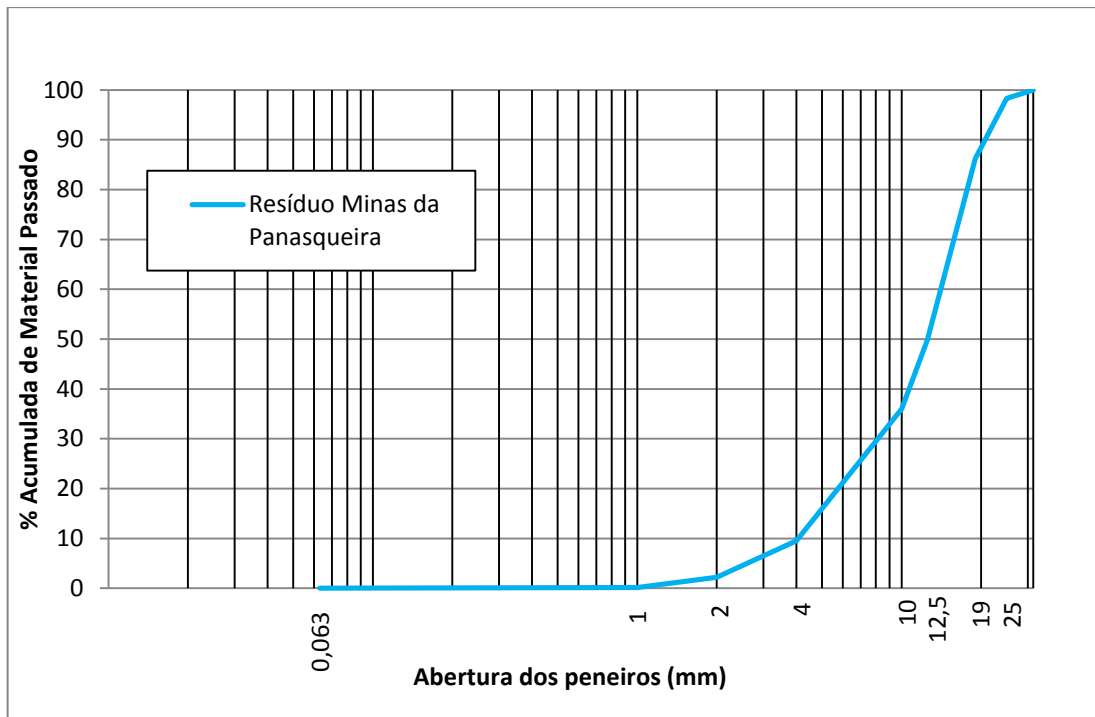


Figura 5.9 - Curva granulométrica do resíduo das Minas da Panasqueira

### 5.1.3.2 Massa volúmica e absorção de água

O ensaio realizado relativamente à massa volúmica e absorção de água para o resíduo das Minas da Panasqueira foi realizado segundo a Norma Portuguesa NP EN 1097-6 (NP EN 1097-6, 2003).

Os resultados obtidos para a massa volúmica e absorção de água para o resíduo das Minas da Panasqueira são apresentados no quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Massa volúmica e absorção de água para o resíduo das Minas da Panasqueira

Agregado	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Absorção de água [%]
Resíduo das Minas da Panasqueira	2700	0,2

O Caderno de Encargos das Estradas de Portugal, não possui um valor máximo para a massa volúmica referente aos agregados a utilizar na produção de betão betuminoso drenante. Para a absorção de água estabelece valores inferiores a 1%, pelo que os resultados obtidos para o resíduo das escombreyras das Minas da Panasqueira encontram-se dentro deste limite (CE EP, 2012: 59).

### 5.1.3.3 Desgaste na Máquina de Los Angeles

A determinação da resistência à fragmentação do resíduo das Minas da Panasqueira foi realizada pelo ensaio de Los Angeles de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 1097-2 (NP EN 1097-2, 2000).

O resultado do coeficiente de Los Angeles para o resíduo das escombreyras das minas da Panasqueira é apresentado no quadro seguinte.

Quadro 5.5 - Coeficiente de Los Angeles do resíduo das Minas da Panasqueira

Agregado	Desgaste de Los Angeles (%)
Resíduo das Minas da Panasqueira	19,2

O ensaio de desgaste de Los Angeles do resíduo das Minas da Panasqueira apresenta um valor 19,2%, encontrando-se em concordância com o Caderno de Encargos que estabelece uma percentagem máxima de 20% (CE EP, 2012: 59).

## 5.1.4 Ligante Betuminoso

### 5.1.4.1 Ligantes utilizados

Pavimentos que usem o betume modificado por polímeros apresentam uma maior resistência à deformação permanente e à fissuração térmica, diminuindo os danos por fadiga, colmatação e a suscetibilidade à temperatura (YILDIRIM, 2005). Pelo que, o betume modificado comporta-se como um material viscoelástico que proporciona estabilidade e flexibilidade aos pavimentos (SENGOZ *et al.*, 2007).

Para a realização das misturas drenantes foram utilizados o betume corrente 35/50 e o betume modificado por polímeros *styrelf* 13/60 (PMB 45/80-60), ambos da CEPESA.

O Betume 35/50 de acordo com as especificações da EN 12591 e o Betume modificado com polímeros, obtido por reação química entre o ligante base e polímeros do tipo elastoméricos, cumpre as especificações da EN 14023.

### 5.1.4.2 Características dos ligantes utilizados

O betume 35/50 tem uma massa volúmica de 1031 kg/m<sup>3</sup> e o betume modificado *styrelf* 13/60 possui uma massa volúmica de 1040 kg/m<sup>3</sup>, ambas foram fornecidas pela CEPESA Portuguesa, S. A.

Os ensaios laboratoriais da caracterização dos ligantes betuminosos utilizados foram feitos no laboratório da CEPESA Portuguesa, S. A. em Matosinhos, apresentando-se as características dos ligantes nos quadros 5.6 e 5.7.

Quadro 5.6 - Características do betume asfáltico 35/50

Ensaio	Método	Resultado	Limites (min-máx)	Unidade
Penetração 25°C, 100gr, 5seg	EN 1426	40	35 - 50	0,1 mm
Ponto de Amolecimento	EN 1427	51,2	50 - 58	°C

Quadro 5.7 - Características do betume modificado por polímeros *styrelf* 13/60

Ensaio	Método	Resultado	Limites (min-máx)	Unidade
Penetração 25°C, 100gr, 5seg	EN 1426	50	45 - 80	0,1 mm
Ponto de Amolecimento	EN 1427	60,4	60 - 0	°C
Recuperação Elástica 25°C; Torção	EN 13398	sup. 50	50 - 0	%

## 5.2 Dosagens dos componentes e fabrico das misturas

### 5.2.1 Estudo da composição das misturas

Os parâmetros da composição do betão betuminoso drenante e requisitos dos materiais constituintes encontram-se na norma europeia 13108-7 (EN 13108-7, 2006).

#### 5.2.1.1 Seleção do fuso granulométrico

A granulometria das misturas foi efetuada de acordo com o fuso granulométrico referente ao betão betuminoso drenante, apresentado no quadro 5.8, indicado no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal, com a designação do tipo de mistura de PA 12,5 (BBd) para camadas de desgaste (CE EP, 2012: 57).

Quadro 5.8 - Fuso granulométrico para betão betuminoso drenante (Fonte: CE EP, 2012: 57)

Abertura das malhas dos peneiros	Fuso granulométrico PA 12,5 (BBd)
20 mm	100
12,5 mm	90 - 100
10 mm	55 - 75
4 mm	12 - 30
2 mm	11 - 18
1 mm	6 - 14
0,063 mm	2 - 5

### 5.2.1.2 Requisitos das misturas drenantes

No quadro 5.9 apresentam-se os requisitos mínimos exigidos para as misturas drenantes estabelecidos no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal.

Quadro 5.9 - Requisitos mínimos das misturas drenantes (Fonte: CE EP, 2012: 60)

Requisitos/Propriedades	Ref <sup>a</sup> normat.	Un.	PA 12,5 (BBd)
Porosidade, V <sub>m</sub>	EN 12697-8	%	V <sub>min22</sub> -V <sub>máx30</sub>
% de ligante, mín.	-	%	B <sub>min4,0</sub>
Sensibilidade à água, ITSR, mín	EN 12697-12	%	Categoria a declarar
Perda de massa, PL	EN 12697-17	%	Categoria a declarar

### 5.2.1.3 Formulação laboratorial das misturas

Para a elaboração deste trabalho, foram realizadas várias misturas betuminosas, utilizando agregados naturais e substituindo estes pelo resíduo das escombreyras das Minas da Panasqueira. Sendo assim, foram desenvolvidas cerca de 10 misturas betuminosas, designadas por PA (“Porous Asphalt” - asfalto poroso).

As misturas foram feitas de forma, a que a curva granulométrica de cada uma cumprisse o fuso granulométrico para misturas drenantes, definido pelo Caderno de Encargos das Estradas de Portugal, apresentado no quadro 5.10. Para tal, foram adotadas as seguintes percentagens de agregados e resíduo para cada mistura. Foram ainda adaptadas algumas composições adotadas por outros autores INIR (InIR, 2009: 10) e RIBEIRO (RIBEIRO, 1995: 38)).

Quadro 5.10 - Percentagem de agregados e resíduo para a formulação das misturas

Misturas	Brita 6/15	Brita 3/6	Pó de Pedra	Cal Hidráulica	Resíduo das Minas	TOTAL
INIR	89	4	5	2	-	100
RIBEIRO	88	5	5	3	-	100
PA_AGA	50	30	16	4	-	100
PA_AGB	89	4	5	2	-	100
PA_REF e PA_AGC	90	5	2	3	-	100
PA_MA	-	30	15	4	51	100
PA_MB	-	-	7	3	90	100
PA_MC	-	-	3	2	95	100
PA_M100	-	-	-	-	100	100

No quadro 5.11 e figura 5.10 apresentam-se as granulometrias das misturas estudadas e, como se pode verificar, em todas as misturas a percentagem de material que passa nos peneiros encontram-se fora do fuso definido pelo caderno de encargos das Estradas de Portugal. Contudo, apesar de não cumprir totalmente o fuso procedeu-se à continuação da formulação das misturas.

Quadro 5.11 - Granulometria das misturas estudadas

Abertura da malha	Fuso PA 12,5 (BBd)	INIR	RIBEIRO	PA_AGA	PA_AGB	PA_AGC e PA_REF	PA_MA	PA_MB	PA_MC	PA_M100
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100	99	98	98	98
19	100	100	100	100	100	100	91	88	87	86
12,5	90-100	45	46	76	45	45	69	55	52	50
10	55-75	26	27	64	26	25	62	42	39	36
4	12-30	8	8	39	8	7	40	17	13	9
2	11-18	5	5	13	5	4	12	9	6	2
1	6-14	4	4	10	4	4	10	6	3	0
0,063	2-5	2	2	5	2	3	5	3	2	0

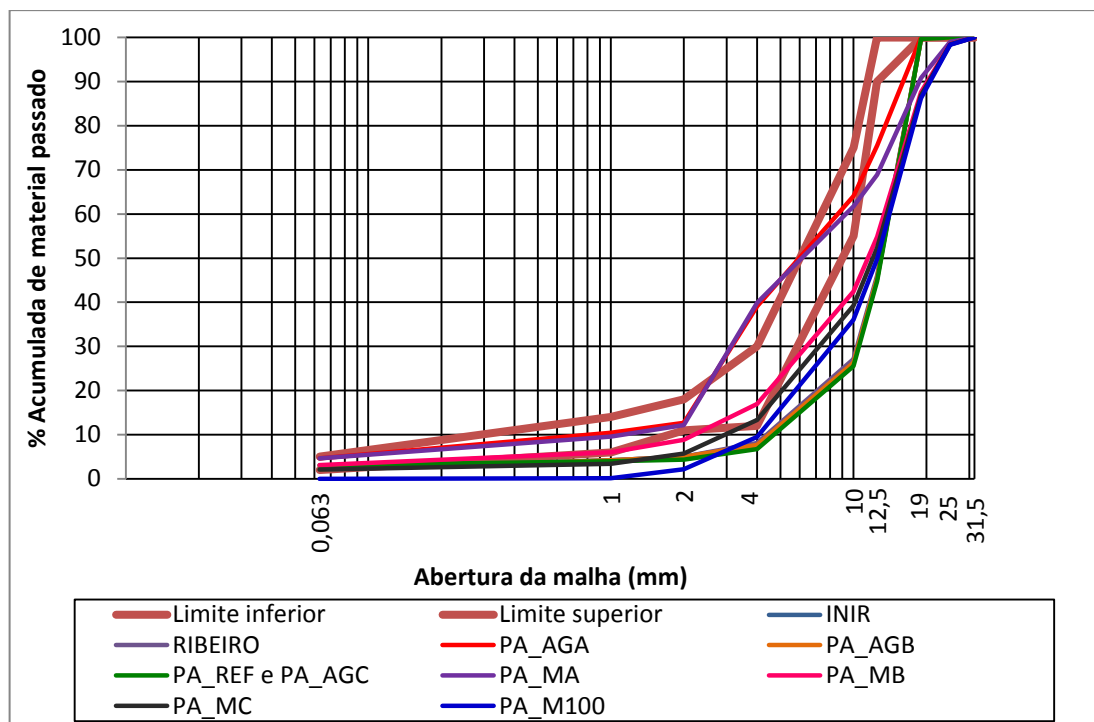


Figura 5.10 - Curva granulométrica da mistura de agregados na formulação das várias misturas

Após determinadas as percentagens dos agregados a utilizar e a obtenção das curvas granulométricas, procedeu-se à determinação da quantidade de ligante.

#### 5.2.1.4 Determinação da quantidade de ligante

A quantidade de betume foi determinada com base numa expressão empírica de cálculo da superfície específica, obtendo-se uma estimativa da percentagem de betume total na mistura ( $P_b$ ), através da seguinte expressão:

$$P_b = 0,035 \times A + 0,045 \times B + K \times C + F \quad (5.3)$$

Onde:

$P_b$  - percentagem de betume em relação ao peso total da mistura;

$A$  - percentagem de agregados retidos no peneiro 2,36 mm;

$B$  - percentagem de agregados que passa no peneiro 2,36 mm e fica retido no peneiro 0,075 mm;

$C$  - percentagem de agregados que passa no peneiro 0,075 mm;

$K$  - constante, função da quantidade de material que passa no peneiro 0,075 mm. Pode

$K = 0,15$  para 11-15% passados no peneiro 0,075 mm

$K = 0,18$  para 6-10% passados no peneiro 0,075 mm

$K = 0,2$  para  $\leq 5\%$  passados no peneiro 0,075 mm

*F* - fator de absorção dos agregados (entre 0 e 2%). Na falta de informação  $F = 0,7\%$ .

No quadro 5.12 apresentam-se as quantidades de ligante obtidas para as diferentes misturas estudadas.

Quadro 5.12 - Quantidades de betume para as diferentes misturas estudadas

Misturas	Percentagem de Betume
INIR	4,4 %
RIBEIRO	5,02 %
PA_AGA	5,1 %
PA_AGB	4,6 %
PA_REF	4,7 %
PA_AGC	4,2 %
PA_MA	5,1 %
PA_MB	4,5 %
PA_MC	4,0 %
PA_M100	4,0 %

### 5.2.2 Fabrico dos corpos de prova

As misturas betuminosas drenantes foram produzidas consoante as percentagens de agregados adotadas no quadro 5.11 e as quantidades de betume apresentadas no quadro 5.12.

Foram realizadas misturas com cerca de 1100 g de agregados e utilizados o betume 35/50 e o betume modificado por polímeros STYRELF 13/60 da CEPISA.

Inicialmente colocaram-se os agregados, o betume e o molde na estufa a uma temperatura a 180°C, durante uma hora. Ao fim desse tempo, foram pesadas as quantidades de agregados e de betume para cada corpo de prova que foram colocados num recipiente. Posto isto, procedeu-se à mistura dos componentes manualmente durante 60 segundos até se apresentar uma mistura homogénea e os agregados se encontrarem totalmente revestidos pelo betume, como se pode observar na figura 5.11.

Previamente retirou-se o molde (composto por colar, molde e placa de base) da estufa e untou-se com óleo e colocou-se um filtro de papel no fundo do molde para impedir que a mistura se agarre à base do molde e verteu-se a mistura. Com a ajuda de uma espátula espalhou-se a mistura aplicando 15 golpes na periferia e 10 no centro. Colocou-se outro filtro de papel em cima. No fim, colocou-se o conjunto do corpo de prova no compactador de impacto e procedeu-se à compactação de acordo com a norma EN 12697-30 (*Specimen preparation by impact compactor*). Colocou-se o corpo de prova no suporte de fixação e aplicaram-se 50 pancadas em cada face do corpo de prova.

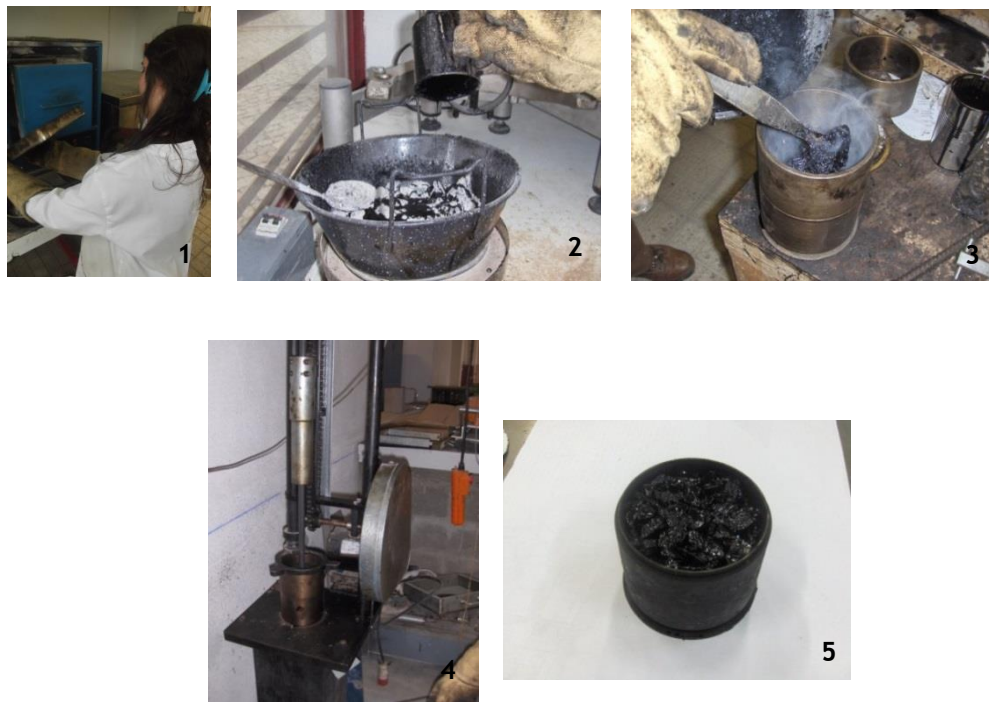


Figura 5.11 - Processo de preparação dos provetes: (1) Colocação dos agregados no recipiente; (2) Adição do betume na mistura de agregados; (3) Colocação no molde; (4) Compactador de impacto; (5) Provete final no molde

Após a fabricação dos corpos de prova e da desmoldagem procedeu-se à sua caracterização, relativamente à baridade e à porosidade.

## 5.2.3 Caracterização dos corpos de prova

### 5.2.3.1 Baridade

A baridade foi determinada de acordo com a norma europeia 12697-6 (EN 12697-6, 2003), procedimento C (Bulk Density - Sealed specimen). Os provetes foram selados com uma película de PVC e fita-cola.

A baridade calculou-se pela seguinte expressão:

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{(m_2 - m_3 / \rho_w) - (m_2 - m_1 / \rho_{sm})} \quad (5.4)$$

Onde:

$\rho_{bsea}$  - densidade aparente selada, (Kg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  - massa da amostra seca, (g);

$m_2$  - massa seca da amostra selada, (g);

$m_3$  - massa da amostra selada submersa, (g);

$\rho_w$  - densidade da água à temperatura do ensaio, (Kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_{sm}$  - densidade do material de vedação à temperatura do ensaio, (Kg/m<sup>3</sup>).

A figura 5.12 demonstra a determinação da baridade.



Figura 5.12 - Determinação da baridade das misturas drenantes

Os resultados obtidos das baridades dos provetes encontram-se no quadro seguinte.

Quadro 5.13 - Baridades médias das misturas

Provetes	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
INIR	2005**
RIBEIRO	1926**
PA_AGA	2170*
PA_AGB	1894**
PA_REF	1882**
PA_AGC	1880***
PA_MA	2104*
PA_MB	2034**
PA_MC	1958**
PA_M100	1896***

\* Média de 5 valores      \*\* Média de 3 valores      \*\*\* Média de 11 valores

### 5.2.3.2 Baridade máxima teórica

A baridade máxima teórica foi obtida pelo procedimento matemático de acordo com a norma europeia 12697-5 (EN 12697-5, 2002), sendo expressa pela seguinte expressão:

$$\rho_{mc} = \frac{100}{\left(\frac{p_{ai}}{\rho_{ai}}\right) + \left(\frac{p_b}{\rho_b}\right)} \quad (5.5)$$

Onde:

$\rho_{mc}$  - baridade máxima teórica da mistura, (Kg/m<sup>3</sup>);

$p_{ai}$  - percentagem de cada agregado na mistura com aproximação de 0,1%;

$\rho_{ai}$  - Massa volúmica de cada agregado, (Kg/m<sup>3</sup>);

$p_b$  - percentagem de betume na mistura com aproximação de 0,1%;

$\rho_b$  - massa volúmica do betume a 25 °C, (Kg/m<sup>3</sup>);

$p_{ai} + p_b = 100,0\%$  (m/m).

No quadro 5.14 apresenta-se os resultados obtidos para a baridade máxima teórica.

Quadro 5.14 - Baridade máxima teórica das misturas preparadas

Mistura	Baridade máxima teórica (kg/m <sup>3</sup> )
INIR	2512
RIBEIRO	2488
PA_AGA	2487
PA_AGB	2503
PA_REF	2500
PA_AGC	2522
PA_MA	2502
PA_MB	2518
PA_MC	2538
PA_M100	2538

### 5.2.3.3 Porosidade

A porosidade foi determinada de acordo com a norma europeia 12697-8 (EN 12697-8, 2003). É dada pela seguinte expressão:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \quad (5.6)$$

Onde:

$V_m$  - índice de vazios de ar da mistura, (%);

$\rho_m$  - densidade máxima da mistura, (Kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_b$  - densidade aparente da amostra, (Kg/m<sup>3</sup>).

Os resultados obtidos para a porosidade dos provetes encontram-se resumidos no quadro 5.15 e na figura 5.13.

Quadro 5.15 - Porosidade dos provetes

Provete	Porosidade (%)
PA_AGA	12,8*
PA_MA	15,9*
INIR	20,2**
RIBEIRO	22,6**
PA_REF	24,7**
PA_AGB	24,3**
PA_MB	19,2**
PA_MC	22,9**
PA_AGD	25,5***
PA_M100	25,3***

\* Média de 5 valores      \*\* Média de 3 valores      \*\*\* Média de 11 valores

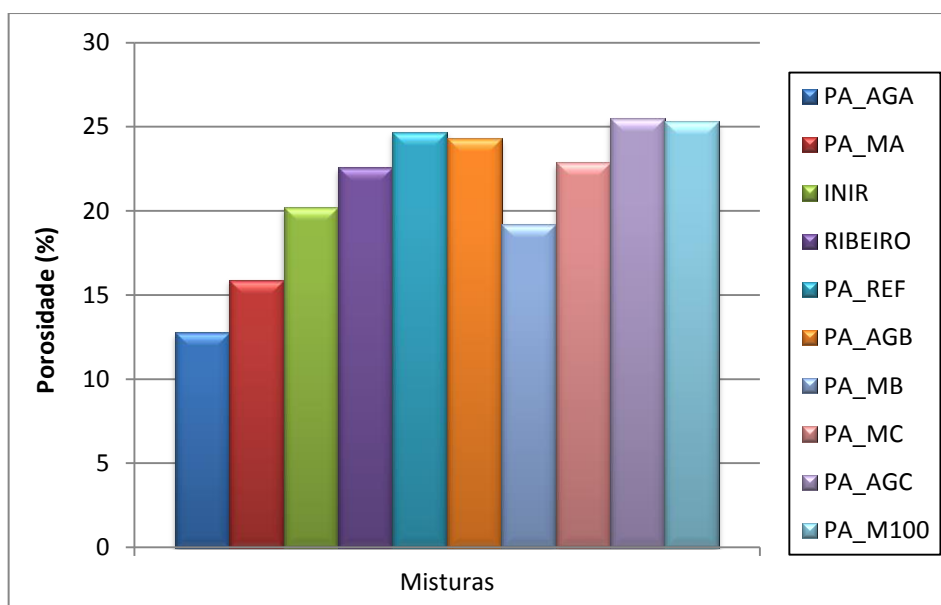


Figura 5.13 - Representação gráfica das porosidades

O caderno de encargos das Estradas de Portugal estabelece, para o betão betuminoso drenante, uma porosidade entre 22 a 30% (CE EP, 2012: 60). Contudo, neste trabalho estabeleceu-se que as misturas tenham uma porosidade superior a 25%.

Assim, as misturas PA\_AGA (com agregados naturais e betume 35/50) e PA\_MA (com resíduo das minas da Panasqueira e betume 35/50), produzidas inicialmente, obtiveram porosidades muito reduzidas, não cumprindo o caderno de encargos, sendo classificadas como uma mistura impermeável. Seguidamente produziram-se as misturas sugeridas pelos autores INIR

(InIR, 2009: 10) e RIBEIRO (RIBEIRO, 1995: 38) adaptando o tipo de agregado utilizado, uma vez que estes autores utilizaram agregados 5/10 e 10/15 e neste estudo foi utilizado um agregado 6/15 em substituição dos anteriores. Em ambas, utilizou-se um betume tradicional 35/50. Estas duas misturas serviram de base na obtenção da porosidade pretendida, tendo-se obtido valores ligeiramente mais baixos que os inicialmente estabelecidos.

A mistura PA\_REF obteve um valor satisfatório com uma porosidade aproximadamente de 25% pelo que esta foi utilizada como mistura de referência. Já a mistura PA\_AGB obteve um valor próximo da porosidade pretendida. Ambas estas misturas utilizaram agregados naturais e betume 35/50.

As misturas PA\_MB e PA\_MC utilizam resíduo das minas da Panasqueira em substituição dos agregados e betume modificado styrelf 13/60, obtiveram baixas porosidades. Assim sendo, decidiu-se produzir uma mistura utilizando só resíduo das minas da Panasqueira e betume modificado styrelf 13/60, resultando na mistura PA\_M100 que obteve uma porosidade satisfatória de 25,3%.

Após estes resultados, foram produzidas as misturas betuminosas drenantes utilizadas neste estudo.

A mistura PA\_AGC apresenta a seguinte composição (percentagem total na mistura):

- Brita granítica com dimensão 6/15 mm - 86,2%
- Brita granítica com dimensão 3/6 mm - 4,8%
- Pó de Pedra - 1,9%
- Cal Hidráulica - 2,9%
- Betume *styrelf* 13/60 - 4,2%

A mistura PA\_M100 apresenta a seguinte composição (percentagem total na mistura):

- Resíduo das Minas da Panasqueira - 96%
- Betume *styrelf* 13/60 - 4%

Estas misturas obtiveram porosidades pretendidas. Assim sendo, procedeu-se à realização de diferentes ensaios de modo a determinar as suas propriedades, tais como, ensaio do módulo de rigidez, ensaio de permeabilidade, ensaio da perda por desgaste e ensaio da sensibilidade à água.

## 5.3 Ensaios para determinar as propriedades dos provetes

### 5.3.1 Ensaio do Módulo de Rigidez (ITSM)

O ensaio do módulo de rigidez foi realizado de acordo com a norma europeia 12697-26 Anexo C (EN 12697-26, 2004), onde se determinou através do ensaio de tração indireta em compressão diametral utilizando o equipamento *Nothingham Asphalt Tester* (NAT) (figura 5.10).



Figura 5.14 - Equipamento NAT do ensaio do módulo de rigidez (DECA - UBI)

Este equipamento (figura 5.15) é constituído por um sistema de apoio do provete e transdutores, um sistema pneumático de carregamento do provete, constituído por célula de carga, atuador de válvula, uma câmara climatizada com controlo de temperatura, um sistema regulador de pressão e reservatório de ar comprimido e uma interface digital de entrada de dados e saída de resultados para um computador (DINIS-ALMEIDA, 2010: 79).

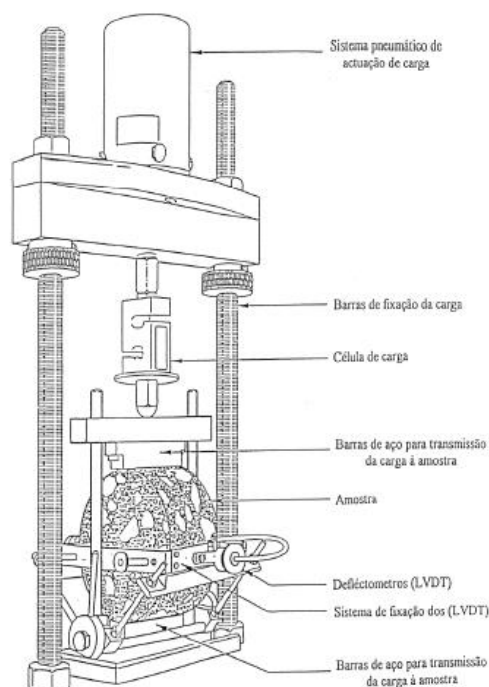


Figura 5.15 - Equipamento para determinação do módulo de rigidez (Fonte: INTEVIAL: 11)

Para este ensaio utilizaram-se os provetes cilíndricos, produzidos em laboratório, com cerca de 101,6 mm de diâmetro e altura variável.

Este ensaio é caracterizado pela atuação de uma carga cíclica, consistindo na aplicação repetitiva de ciclos de carregamento comprimindo diametralmente o provete, medindo os deslocamentos horizontais perpendiculares à aplicação da carga através de defletómetros do tipo LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) (FALCÃO, 2007 citado por FAUSTINO, 2009: 34).

O equipamento permite a aplicação de uma carga de modo a que a máxima tensão de tração horizontal no centro do provete esteja compreendida entre 50 e 700 kPa, tendo-se adotado um valor de 100 kPa para determinar o módulo de rigidez. Para o tempo de crescimento de carga ou *Rise time* utilizou-se um valor de 124 milissegundos.

O módulo de rigidez é obtido através da aplicação de 5 cargas repetidas, antecedidas de um pré-carregamento que tem como objetivo ajustar o sistema de aplicação de carga ao provete. Cada provete foi ensaiado em duas direções diametrais e ortogonais (DINIS-ALMEIDA, 2010: 127-128). Após as cinco aplicações de carga, o *software* do equipamento obtém os valores estatísticos associados ao cálculo do módulo de rigidez do provete. Seguidamente, este é rodado 90° para efetuar um segundo teste, no diâmetro oposto ao primeiro, ficando o eixo ensaiado anteriormente na horizontal (INTEVIAL: 12).

No cálculo do estado de tensão do provete, para avaliação da carga que lhe é aplicada o programa admite: o provete é submetido a um estado de tensão plana; o comportamento é elástico linear; o material é homogéneo e isotrópico; o coeficiente de *Poisson* é constante e conhecido (0,35 para uma temperatura de ensaio de 20 °C); o carregamento aplicado corresponde a uma carga de “cutelo” (Baptista, 2004 citada por DINIS-ALMEIDA, 2010: 128)

Na Figura 5.16, apresentam-se os resultados dos módulos de rigidez obtidos para as misturas realizadas. Cada um dos valores resulta de uma média de 5 provetes para cada uma das misturas PA\_AGA e PA\_MA, 3 provetes para cada uma das misturas INIR, RIBEIRO, PA\_REF e PA\_AGB e 5 provetes para a mistura PA\_AGD e PA\_M100.

Face aos resultados obtidos e de acordo com o Figura, observa-se que todas as misturas do primeiro ao sétimo dia aumentaram a sua rigidez, exceto a mistura PA\_AGA que diminuiu.

Tendo em conta o betume utilizado, as misturas que possuem betume modificado *styrelf* 13/60 (PA\_AGD e PA\_M100) apresentam valores médios inferiores a 2000 MPa, sendo observado que passados sete dias da sua produção o módulo de rigidez diminuiu. Já as misturas que possuem betume tradicional 35/50 apresentam valores médios superiores a 2000 MPa, verificando-se que o módulo de rigidez aumentou em sete dias.

Relativamente, à análise das duas misturas em estudo, verificou-se que a PA\_AGD (constituída por agregados, cal hidráulica e betume modificado) apresentou valores médios ao primeiro dia de 1596 MPa e ao sétimo dia de 1709 MPa e a PA\_M100 (constituída só por resíduo das minas e betume modificado) apresentou valores médios ao primeiro dia de 1057 MPa e ao sétimo dia de 1146 MPa. Sendo assim, a mistura PA\_AGD apresenta um módulo rigidez superior à mistura PA\_M100. Esta situação é devida ao facto que a mistura com agregados possui fíler (cal hidráulica) melhorando a coesão da mistura e, conseqüentemente, oferecendo-lhe maior resistência.

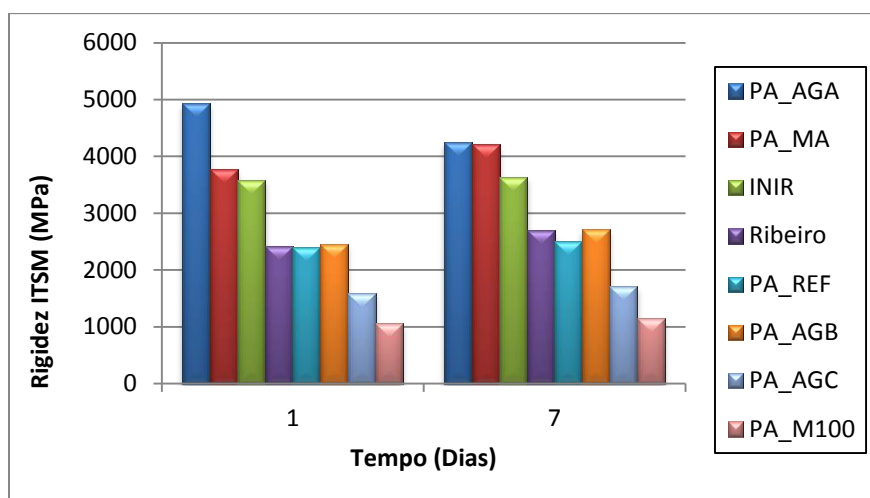


Figura 5.16 - Módulo de rigidez para as misturas produzidas

Dado que as misturas PA\_AGD e PA\_M100 apresentaram um módulo de rigidez mais baixo comparativamente com as outras misturas, foram produzidas as mesmas misturas, mas utilizando percentagens de betume diferentes: as misturas PA\_AGC3,2%, PA\_AGC 5,2%, PA\_M100 3,0% e PA\_M100 5,0%.

De acordo com a figura 5.17, as misturas produzidas com agregados (PA\_AG) apresentam valores superiores às misturas com resíduo das minas (PA\_M). Contudo, as misturas que apresentam uma menor percentagem de betume (PA\_AGC 3,2% e PA\_AGC 3,0%) apresentam valores elevados de acordo com as outras percentagens, isto porque quanto menor for a quantidade de betume, maior é a rigidez verificada. A mistura PA\_REF é a que possui maiores valores face às outras, obtendo valores da ordem de 2396 MPa e 2505 MPa, para o primeiro e sétimo dias, respetivamente.

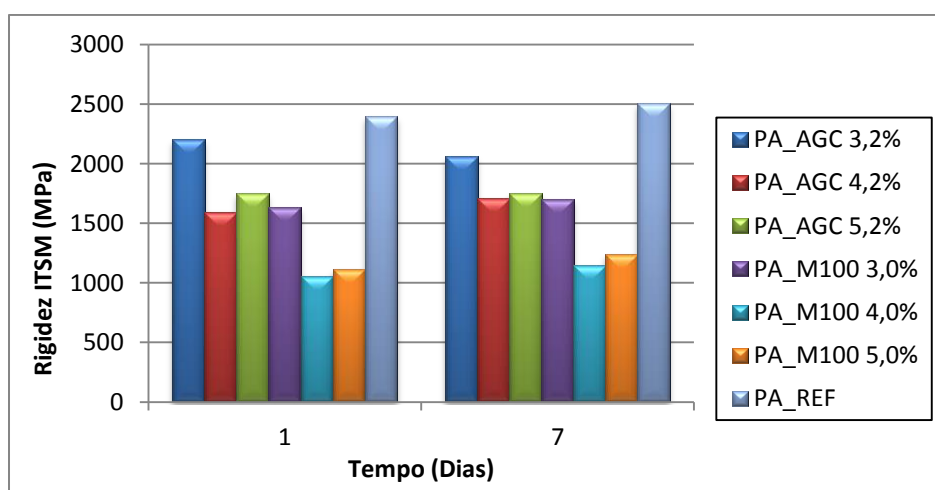


Figura 5.17 - Módulo de rigidez para misturas com diferentes teores de betume

Foi também determinada a porosidade para estas misturas obtendo-se os valores apresentados no quadro 5.16. Apesar dos valores obtidos para a rigidez as misturas escolhidas para estudo foram as PA\_AGC 4,2% e PA\_M100 4,0%, uma vez que apresentaram porosidades mais desejadas. Também, é possível aferir com o quadro seguinte, que quanto maior for a percentagem de betume menor será a porosidade.

Quadro 5.16 - Porosidade das misturas com diferentes percentagens de betume

Mistura	Porosidade (%)
PA_REF	24,7*
PA_AGC 3,2%	26,1*
PA_AGC 4,2%	25,5**
PA_AGC 5,2%	21,4*
PA_M100 3,0%	25,3*
PA_M100 4,0%	24,1**
PA_M100 5,0%	23,2*

\* Média de 3 valores    \*\* Média de 11 valores

### 5.3.2 Ensaio de Permeabilidade

O ensaio mais corrente no nosso país para determinar a permeabilidade de misturas drenantes, em obra, é baseado no permeâmetro LCS, desenvolvido em Espanha pelo Laboratório de *Caminos de Santander*. Trata-se de um permeâmetro com carga variável, onde a permeabilidade da mistura drenante é medida pelo tempo que demora a escoar um dado volume de água, através da mistura drenante (OLIVEIRA, 1995: 123).

Este ensaio foi determinado com base na norma europeia 12697-19 (EN 12697-19, 2004) e na norma espanhola NLT327/00 com algumas adaptações. Contudo, para determinar a permeabilidade das misturas compactadas em laboratório, utilizou-se um dispositivo de carga variável, semelhante ao permeâmetro LCS, utilizado em Espanha.

Foram determinados dois tipos de permeabilidade: a permeabilidade horizontal e a permeabilidade vertical. A permeabilidade horizontal representa as condições de escoamento ocorridas durante uma chuvada, em que toda a camada é exposta à água, havendo uma dispersão uniforme desta no seu interior. A permeabilidade vertical representa um escoamento unidirecional vertical (DINIS-ALMEIDA, 2003: 121). Ambas as permeabilidades são representadas esquematicamente na figura 5.18.

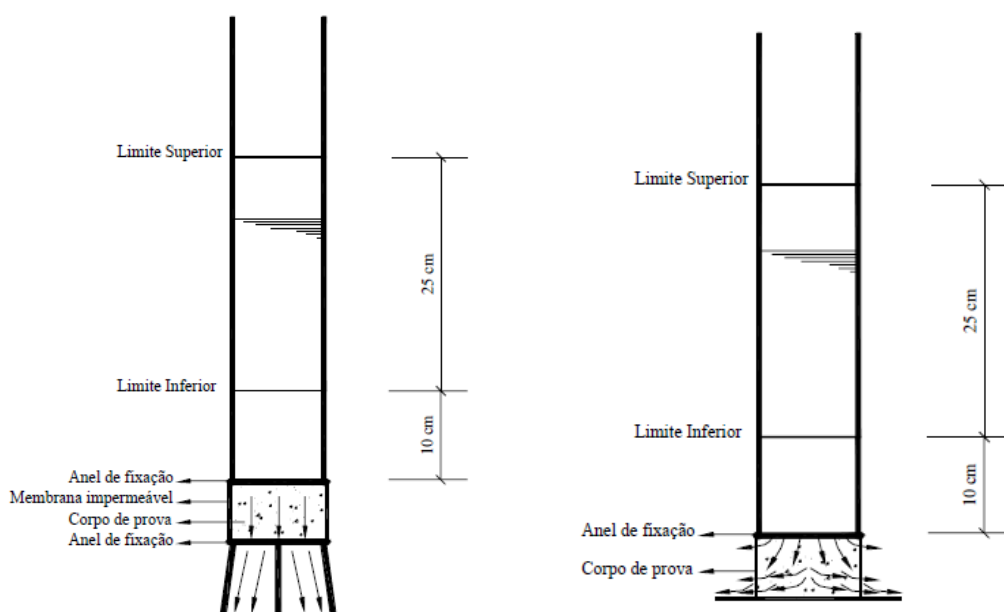


Figura 5.18 - Equipamento da permeabilidade vertical (à esq.) e permeabilidade horizontal (à dir.)

Para a determinação da permeabilidade vertical, colocou-se o provete no permeâmetro e vedando-se lateralmente, tendo a face inferior livre. Seguidamente encheu-se com água e deixou-se escoar para saturar o provete. Voltou-se a encher com água, até acima da marca superior, e cronometrou-se o tempo (em segundos) que a água demorou a descer desde a marca superior até à marca inferior, isto é, o tempo necessário para escoar um volume necessário de  $1735 \text{ cm}^3$ .

$$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times \left(\frac{9.4}{2}\right)^2 \times 25 = 1735 \text{ cm}^3 \quad (5.7)$$

Onde:

$V$  - volume de escoamento, ( $\text{cm}^3$ );

$r$  - raio interno do tubo, (cm);

$h$  - altura do tubo, (cm);

A permeabilidade horizontal foi determinada da mesma forma que a permeabilidade vertical, mas o provete foi vedado na superfície inferior e determinou-se o tempo de escoamento (em segundos) necessário para escoar o mesmo volume de água que o anterior.

A figura 5.19 demonstra o ensaio.



Figura 5.19 - (1) Permeabilidade vertical; (2) permeabilidade horizontal; (3) Cronometração do tempo de escoamento

O coeficiente de permeabilidade foi determinado pela Lei de *Darcy* através da expressão seguinte:

$$k = 2,303 \frac{a.h}{A.t_v} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (5.8)$$

Sendo:

$k$  - Coeficiente de permeabilidade, (cm/s);

$a$  - Área da secção do permeâmetro, (cm<sup>2</sup>);

$A$  - Área da secção do corpo de prova, (cm<sup>2</sup>);

$h$  - Altura do corpo de prova, (cm);

$t_v$  - Tempo de escoamento de 1735 cm<sup>3</sup>, (s);

$h_1$  - Altura de água da face inferior do corpo de prova no início do ensaio, (cm);

$h_2$  - Altura de água da face inferior do corpo de prova no fim do ensaio, (cm).

Há autores que têm procurado relacionar a permeabilidade medida com o permeâmetro LCS com o “coeficiente de permeabilidade” de Darcy, o qual é mais corretamente determinado por medições feitas com um escoamento unidirecional (OLIVEIRA, 1995: 124).

A equação 5.8 foi desenvolvida com base na lei de Darcy, baseada nas hipóteses de que a amostra foi saturada, enquanto o fluxo era homogéneo laminar. Assim justifica-se a aplicabilidade da lei de Darcy para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, no contexto da mistura drenante (Bear J. (1972) citado por HAMZAH *et al.* (2011a)).

Para os ensaios realizados, adotaram-se os seguintes valores para o permeâmetro utilizado.

$$a = \frac{\pi}{4} \times 9,4^2 = 69,40 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times 10,16^2 = 81,07 \text{ cm}^2$$

$$h_1 = 35 + h \text{ cm}$$

$$h_2 = 10 + h \text{ cm}$$

Logo obtém-se

$$k = 1,956 \times \frac{h}{t_v} \times \log\left(\frac{35+h}{10+h}\right) \quad (5.9)$$

Com altura do corpo de prova (cm) e tempo de escoamento de 1735 cm<sup>3</sup> (s).

Para cada mistura, as permeabilidades resultaram numa média de três leituras para cada provete referente a cada uma delas. Os resultados do ensaio da permeabilidade encontram-se no quadro seguinte e representados graficamente na figura 5.20.

Quadro 5.17 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas estudadas

Mistura	Tempo de escoamento		Coeficiente de Permeabilidade		Porosidade (%)
	t <sub>v</sub> (s)	t <sub>h</sub> (s)	k <sub>v</sub> (cm/s)	k <sub>h</sub> (cm/s)	
PA_REF*	10,4	4,8	0,53	1,15	24,7
PA_AGC 3,2%*	8,7	4,0	0,62	1,37	26,1
PA_AGC 4,2%**	9,4	5,1	0,57	1,08	25,5
PA_AGC 5,2%*	16,6	6,5	0,36	0,84	21,4
PA_M100 3,0%*	7,3	3,9	0,72	1,35	24,1
PA_M100 4,0%**	6,9	3,8	0,83	1,46	25,3
PA_M100 5,0%*	7,1	4,2	0,76	1,30	23,2

\* Média de 3 provetes    \*\* Média de 5 provetes

No Caderno de Encargos das Estradas de Portugal não estão preconizados valores para o ensaio da permeabilidade para as camadas de desgaste (CE EP, 2012: 60). Jimenez (1981) citado por OLIVEIRA (1995: 139) sugere valores entre 0,1x10<sup>-2</sup> cm/s e 20x10<sup>-2</sup> cm/S. Numa Jornada Técnica sobre misturas drenantes em 1987 em Pamplona (Jimenez (1987) citado por OLIVEIRA (1995: 139)), o mesmo investigador sugere critérios de projeto limites mínimo de

$1 \times 10^{-2}$  cm/s e desejável de  $5 \times 10^{-2}$ . Contudo menciona valores entre 35 e  $40 \times 10^{-2}$  cm/s medidos em trechos experimentais.

Pelos resultados obtidos observa-se que a permeabilidade vertical apresentou tempos de escoamento mais elevados em relação à permeabilidade horizontal, isto porque o escoamento horizontal processava-se mais rapidamente que o vertical. Logo, quanto maior for o tempo de escoamento menor é o coeficiente de permeabilidade, isto é, o tempo de escoamento é inversamente proporcional ao coeficiente de permeabilidade, pelo que as misturas com resíduo apresentam valores mais altos de  $k_v$  em relação às misturas com agregados, o mesmo se verifica para o  $k_h$ , com exceção da mistura com agregados PA\_AGC 3,2% que possui um  $k_h$  superior às misturas PA\_M100 3,0% e PA\_M100 5,0%.

A mistura PA\_REF, com uma porosidade de 24,7%, apresenta um valor de  $k_v$  superior à PA\_AGC 5,2% e inferior a todas as outras, já o  $k_h$  é superior às misturas PA\_AGC 4,2% e PA\_AGC 5,2% e inferior às restantes.

Perante as recomendações apresentadas anteriormente, por Jimenez (1981) citado por OLIVEIRA (1995), os valores obtidos no presente estudo são claramente satisfatórios.

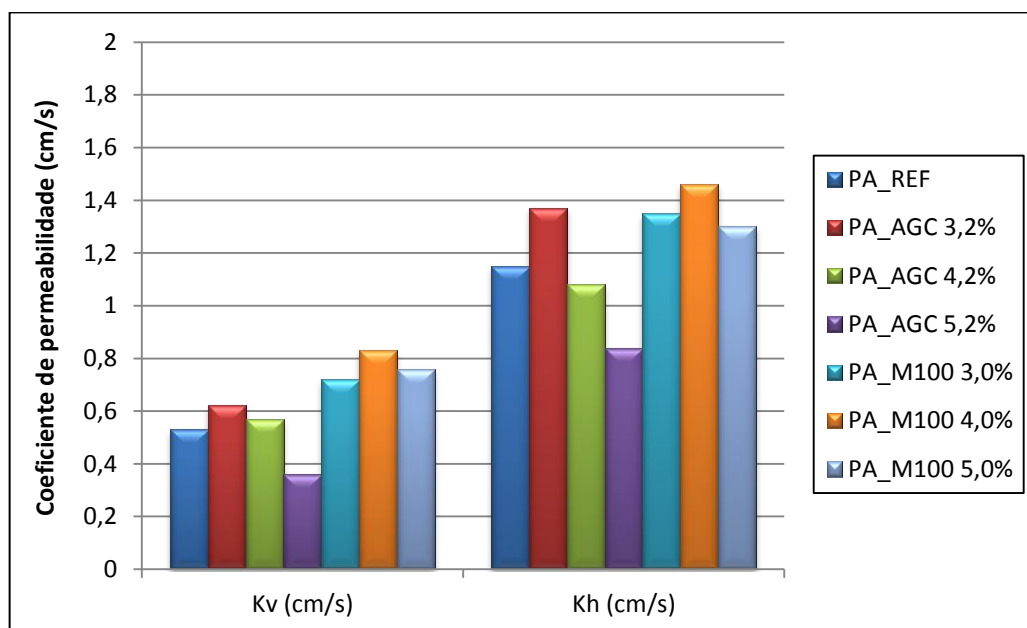


Figura 5.20 - Coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal das misturas estudadas

### 5.3.3 Ensaio da Perda por Desgaste

A perda por desgaste das partículas foi determinada pelo ensaio de Cântabro seco, de acordo com a norma europeia 12697-17 (EN 12697-17, 2004).

Este ensaio consiste em determinar a resistência à desagregação da mistura, isto é, na perda de massa desta, perante a ação abrasiva do tráfego, fornecendo a indicação sobre a coesão das misturas (OLIVEIRA, 1995: 144).

Na figura 5.21 observa-se o tambor de Los Angeles, onde foi realizada a perda por desgaste.



Figura 5.21 - Ensaio da perda por desgaste com o tambor de Los Angeles

A perda por desgaste é calculada pela seguinte expressão:

$$PL = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (5.10)$$

Onde:

$PL$  - valor da perda de partículas, (%);

$W_1$  - massa da amostra inicial, (g);

$W_2$  - massa final da amostra, (g).

Os resultados obtidos para a perda por desgaste das misturas drenantes encontram-se no seguinte quadro e representados graficamente na figura 5.22.

Quadro 5.18 - Ensaio da perda por desgaste dos provetes

Misturas	Perda por Desgaste (%)
PA_REF	63,1*
PA_AGC 3,2%	47,9*
PA_AGC 4,2%	40,7**
PA_AGC 5,2%	26,3*
PA_M100 3,0%	89,8*
PA_M100 4,0%	93,7**
PA_M100 5,0%	78,5*

\* Média de 3 provetes    \*\* Média de 5 provetes

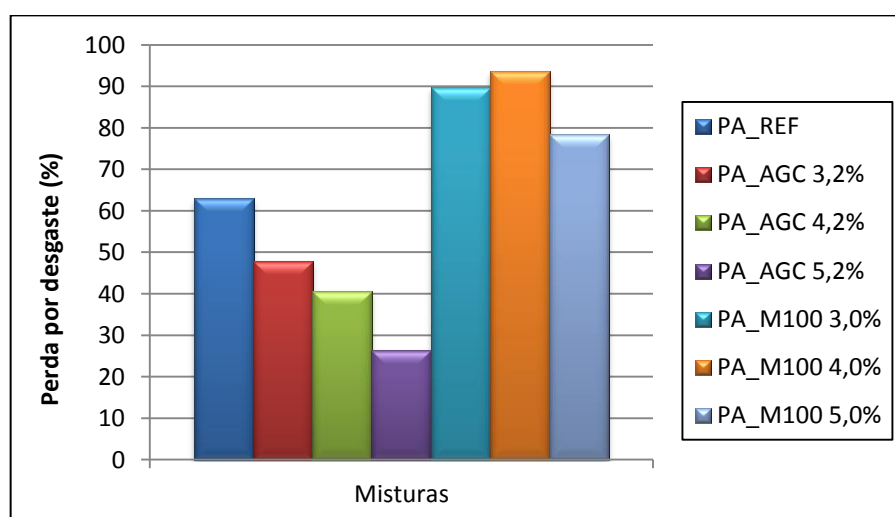


Figura 5.22 - Perdas por desgaste obtidas das misturas estudadas

Neste ensaio os provetes foram submetidos ao impacto e forças abrasivas entre a superfície destes e as paredes do tambor de Los Angeles, indicando a força de ligação entre o ligante e o agregado (ALVAREZ *et al.*, 2006 citado por HAMZAH *et al.*, 2011).

O Caderno de Encargos das Estradas de Portugal, não estipula um valor máximo, tendo a categoria por declarar (CE EP, 2012: 60).

De acordo com HAMZAH *et al.* (2011: 108-113), COLONNA (1996) sugeriu uma perda de abrasão máxima permitida de 30%, 25% ou 20% para ensaios realizados à temperatura de 18 °C, 20 °C ou 25 °C, respetivamente.

RECASENS (2006: 20) diz que para misturas drenantes fabricadas com betume modificado, é conveniente realizar o ensaio de cântabro a temperaturas inferiores a 25 °C. Pelo que,

baixando a temperatura para 18 ou 10 °C, a resposta dos betumes convencionais é mais frágil, a sua resistência à abrasão é menor, apresentando assim perdas por desgaste superiores. Ora, para verificar as melhorias devidas ao betume modificado, este ensaio deve ser realizado a 18 ou 10 °C. A estas temperaturas, as perdas por desgaste no ensaio de cântabro não devem ser superiores a 25% para 18 °C, nem superiores a 35% para 10 °C. De acordo com estes autores quanto maior for a temperatura de ensaio menor será a perda por abrasão.

As misturas betuminosas produzidas em laboratório utilizadas nesta dissertação foram submetidas a este ensaio a uma temperatura de aproximadamente 18 °C (temperatura ambiente), pelo que estas deverão apresentar uma perda de desgaste inferior a 30%.

Na figura 5.23 é possível verificar o provete antes e após submetido ao ensaio da perda por desgaste.

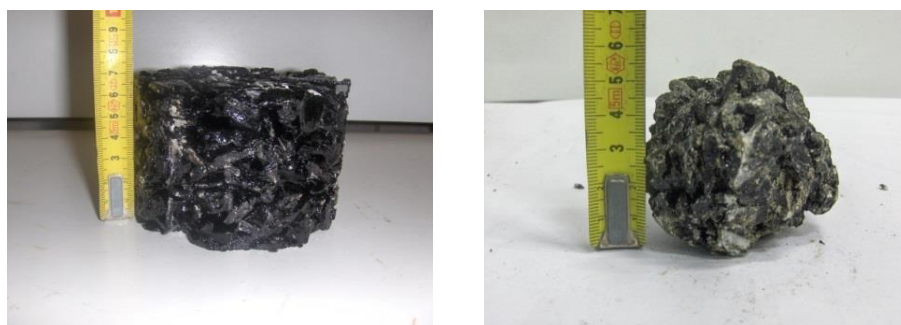


Figura 5.23 - Provete antes (esq.) e após (dir.) o ensaio da perda por desgaste

Observando os valores obtidos, a mistura de referência PA\_REF obteve uma perda de massa de 63,1%, enquanto as misturas PA\_AGC 4,2% e PA\_M100 4,0% obtiveram uma perda de massa de 40,7% e 93,7%, respetivamente. Relativamente a estas duas últimas misturas, ambas possuem betume modificado, a mistura PA\_M100 4,0% obteve uma perda de massa muito superior face à mistura PA\_AGC 4,2%, pois a mistura só possui resíduo das minas e betume modificado o que torna mais difícil a coesão e a ligação por apresentarem um forma lamelar e alongada e não possui nenhum fíler de forma a melhorar a adesividade entre estes. DINIS-ALMEIDA (2003: 136) obteve para misturas semelhantes onde utilizou como ligante 6,0% de emulsão betuminosa, valores de desgaste de 80% para uma porosidade de 23%.

Relacionando a mistura de referência PA\_REF formulada com o betume tradicional e a mistura PA\_AGC 4,2% formulada com betume modificado, verifica-se que a primeira teve maior desgaste, o que seria de esperar, visto que o betume modificado confere maior coesão e resistência às misturas. Contudo, esperava-se um comportamento melhor ao desgaste no ensaio cântabro, principalmente para as misturas PA\_AGC 4,2% e PA\_M100 4,0%, apesar da primeira apresentar um valor mais satisfatório face à segunda.

### 5.3.4 Ensaio da sensibilidade à água

O ensaio da sensibilidade à água foi realizado de acordo com a norma europeia EN 12697-12 método A (EN 12697-12, 2003). Este ensaio consiste na determinação do efeito da saturação e do condicionamento acelerado em água na resistência à tração indireta de provetes cilíndricos de misturas betuminosas (DUARTE, 2010: 62).

Inicialmente, foram preparados 6 provetes cilíndricos de cada mistura, com um diâmetro de  $100 \pm 3$  mm. Separaram-se os provetes em dois grupos de três provetes cada um, o grupo “seco” e o grupo “imerso”.

O primeiro grupo de provetes foi acondicionado ao ar a  $20 \pm 5$  °C. O segundo grupo foi colocado em água e submetido a vácuo (figura 5.24) a uma temperatura de  $20 \pm 5$  °C, por um período de  $30 \pm 5$  min.



Figura 5.24 - Provetes do segundo grupo submetidos a vácuo

Seguidamente, os provetes foram colocados num banho de água a uma temperatura de  $40 \pm 1$  °C durante 72 horas.

A norma EN 12697-12 recomenda que seja adotada uma temperatura de ensaio de 25°C, de forma a obter influência máxima da adesividade do ligante e para minimizar a influência dos agregados partidos na linha de rotura do provete. Contudo a norma EN 13108-20 (EN 13108-20, 2006), norma relativa aos ensaios tipo iniciais para marcação CE de misturas betuminosas, recomenda uma temperatura de 15 °C (Batista *et al.*, 2008 citado por DINIS-ALMEIDA, 2010: 123; PEREIRA, 2009: 59).

Passadas as 72 horas, o grupo “seco” foi colocado à temperatura de 15 °C durante 2 horas e o grupo “submerso” foi colocado num banho de água à temperatura de 15 °C durante 2 horas.

No final, os provetes foram ensaiados à compressão diametral, para determinar a resistência à tração indireta (figura 5.25), através da aplicação de uma carga com velocidade constante de  $50 \pm 2$  mm/min, de acordo com o preconizado na norma EN 12697-23. A norma europeia EN 12697-12 sugere que após o ensaio se visualize o tipo de rotura sofrida pelo corpo de prova, podendo ser classificada em tração indireta evidente; por deformação; ou combinada. Também deve ser verificado se existe revestimento de ligante na superfície do agregado exposto e a existência ou não de agregado fraturado ou esmagado (PEREIRA, 2009: 63).



Figura 5.25 - Ensaio de tração indireta

A resistência conservada em tração indireta *ITSR* (*Indirect Tensile Strenght Ratio*), consiste na razão entre a resistência à tração indireta média do grupo de provetes acondicionados em água ( $ITS_w$ ) e do grupo de provetes secos ( $ITS_d$ ) (FERREIRA, 2009: 65), sendo determinada pela seguinte expressão:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (5.11)$$

Onde:

$ITSR$  - Resistência conservada em tração indireta, (%);

$ITS_w$  - resistência média à tração indireta dos provetes imersos, (KPa);

$ITS_d$  - resistência média à tração indireta dos provetes secos, (KPa).

As resistências à tração em compressão diametral foram determinadas pela seguinte expressão:

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH} \quad (5.12)$$

Onde:

*ITS* - resistência à tração indireta, (GPa);

*P* - resistência máxima média, (KN);

*D* - diâmetro do provete, (mm);

*H* - altura do provete, (mm).

Os resultados do ensaio da sensibilidade à água encontram-se expressos no quadro seguinte e na figura 5.26.

Quadro 5.19 - Ensaio da sensibilidade à água (EN 12697-12 - Método A), a 15 °C

Identificação da Mistura	Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20 °C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈72h a 40 °C
PA_AGC	$P_{ITS}$ (KN)	3,910	4,097
	$ITS_m$ (KPa)	230	360
	ITSR (%)	100	
PA_M100	$P_{ITS}$ (KN)	3,423	2,393
	$ITS_m$ (KPa)	310	210
	ITSR (%)	68	

$P_{ITS}$  - Valor médio da resistência máxima;  $ITS_m$  - Valor médio da resistência à tração indireta; ITSR - Resistência conservada em tração indireta.

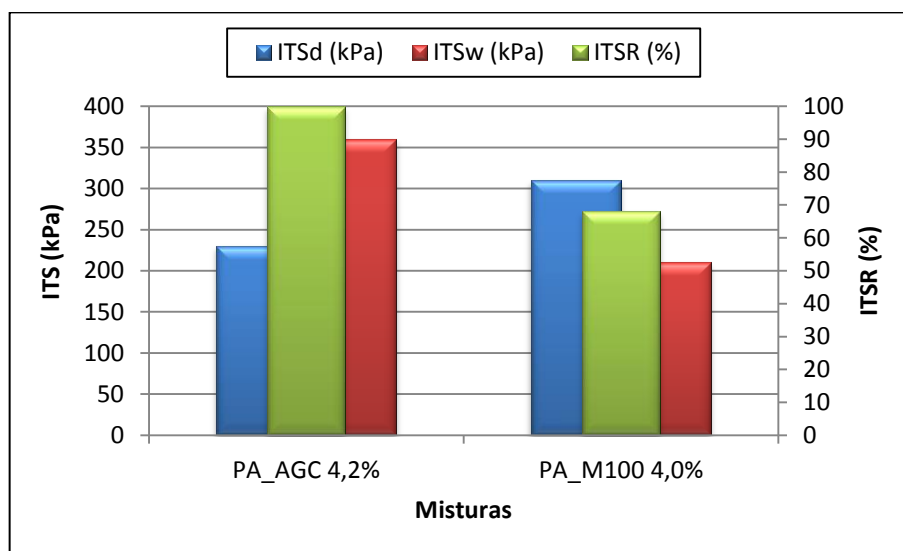


Figura 5.26 - Sensibilidade à água

No Caderno de Encargos das Estradas de Portugal não estão preconizados valores para a sensibilidade à água (ITSR) para as camadas de desgaste (CE EP, 2012: 60).

Os resultados apresentados no quadro anterior demonstram que a resistência à tração em compressão diametral (ITS) para o grupo submerso tem uma variabilidade reduzida, de 210 kPa, em relação à ITS a seco, 310 kPa, o que condicionou a dispersão do resultado da sensibilidade à água com 68% para a mistura com resíduo das minas. A mistura PA\_AG 4,2% possui uma resistência à tração em compressão diametral para o grupo seco superior ao submerso, o que levou a uma dispersão de 100%.

As misturas drenantes (constituídas por agregados de frações 10/14, 5/10 e 0/5, cal hidráulica com uma percentagem de 4% e betume modificado *styrelf* 13/60) utilizadas para o ensaio da sensibilidade à água realizado pelo INIR foram preparadas por cinco laboratórios diferentes. Estas obtiveram valores variados da resistência conservada em tração indireta (ITSR) entre 71% a 93%, para porosidades da ordem dos 19% (INIR, 2009: 13). O autor refere ainda que para betão betuminoso tradicional é provável que seja obtida uma menor dispersão de resultados do que para o betão betuminoso drenante.

Comparando com os resultados obtidos neste trabalho, para porosidades de 25% obtiveram-se valores de ITSR de 100% para a mistura PA\_AG, enquanto a mistura PA\_M100 obteve um valor de 68%, apresentando uma percentagem de ITSR inferior às misturas do INIR.

No final, classificou-se o tipo de rotura de cada provete. No quadro 5.20, apresentam-se os resultados obtidos verificando-se que os provetes apresentaram um tipo de rotura combinada, não se verificando qualquer tipo de rotura no revestimento de ligante na superfície do agregado exposto nem na presença de agregado fraturado ou esmagado.

Quadro 5.20 - Tipo de rotura dos provetes

Identificação da Mistura	Tipo de provete	Identificação do provete	Tipo de rotura (tração indireta evidente, por deformação, combinada)	Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto	Presença de agregado fraturado ou esmagado
PA_AGC	Provetes "a seco"	IV	comb.	NA	NA
		V	comb.	NA	NA
		VI	comb.	NA	NA
	Provetes "imersos"	I	comb.	NA	NA
		II	comb.	NA	NA
		III	comb.	NA	NA
PA_M100	Provetes "a seco"	IV	comb.	NA	NA
		V	comb.	NA	NA
		VI	comb.	NA	NA
	Provetes "imersos"	I	comb.	NA	NA
		II	comb.	NA	NA
		III	comb.	NA	NA

comb. - rotura combinada; NA - Nada a assinalar.

## 5.4 Carotagem *in situ*

### 5.4.1 Caracterização das carotes

Após a extração das carotes *in situ* na faixa de rodagem (figuras 5.27) e no passeio (figura 5.28), procedeu-se à regularização da superfície (figuras 5.29 e 5.30) para providir à sua caracterização, relativamente a baridade máxima teórica, a baridade e a porosidade.



Figura 5.27 - Carotagem *in situ* na faixa de rodagem



Figura 5.28 - Carotagem *in situ* no passeio



Figura 5.29 - Carotes da faixa de rodagem com superfícies regularizadas



Figura 5.30 - Carotes do passeio com superfícies regularizadas

#### 5.4.1.1 Baridade

A baridade foi determinada de acordo com a norma europeia 12697-6 (EN 12697-6, 2003), procedimento B (Bulk Density - Saturated surface dry (SSD)).

A baridade é calculada pela seguinte expressão:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w \quad (5.13)$$

Onde:

$\rho_{bssd}$  - massa volúmica aparente (SSD), (Kg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  - massa da amostra seca, (g);

$m_2$  - massa da amostra com água, (g);

$m_3$  - massa da amostra de superfície seca saturada, (g);

$\rho_w$  - densidade da água, à temperatura de ensaio, (Kg/m<sup>3</sup>).

Na figura 5.31 apresentam-se as várias etapas da determinação da baridade das carotes.

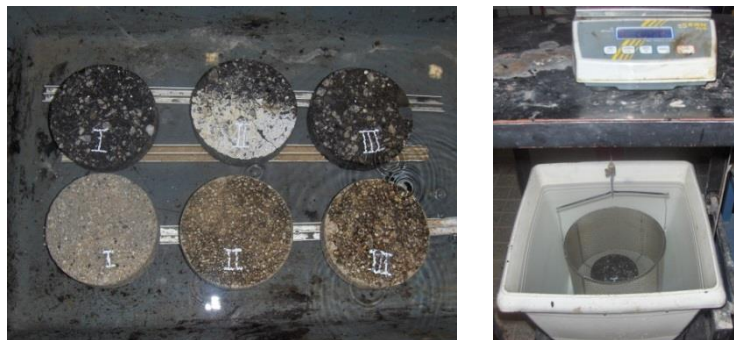


Figura 5.31 - Baridade das carotes da faixa de rodagem e do passeio

Os resultados obtidos das baridades das carotes encontram-se no quadro seguinte.

Quadro 5.21 - Baridade das carotes

Carotes	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
Faixa de rodagem	2249
Passeio	1931

Pelos resultados obtidos, observou-se que as carotes da faixa de rodagem apresentam uma baridade superior às carotes do passeio.

### 5.4.1.2 Baridade Máxima Teórica

A baridade máxima teórica foi obtida de acordo com a norma europeia EN 12697-5 (EN 12697-5, 2002), Procedimento A - volumétrico.

A baridade máxima teórica foi determinada pela seguinte expressão:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w} \quad (5.14)$$

Onde:

$\rho_{mv}$  - densidade máxima teórica da mistura betuminosa, (kg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  - massa do picnómetro vazio com tampa, (g);

$m_2$  - massa do picnómetro com a amostra seca e com a tampa, (g);

$m_3$  - massa do picnómetro com a amostra, tampa e com água, (g);

$V_p$  - Volume do picnómetro, (m<sup>3</sup>);

$\rho_w$  - massa volúmica da água, (kg/m<sup>3</sup>).

Os resultados da baridade máxima teórica das misturas retiradas da faixa de rodagem e do passeio encontram-se no seguinte quadro.

Quadro 5.22 - Baridade máxima teórica das carotes

Carotes	Baridade máxima teórica (kg/m <sup>3</sup> )
Faixa de rodagem	2445
Passeio	2167

### 5.4.1.3 Porosidade

A porosidade das carotes foi determinada de acordo com a norma europeia 12697-8 (EN 12697-8, 2003).

O quadro seguinte apresenta os resultados da porosidade das carotes.

Quadro 5.23 - Porosidades das carotes

Carotes	Porosidade (%)
Faixa de rodagem	8,0
Passeio	8,7

Como se pode observar, as carotes da estrada e do passeio possuem porosidades muito baixas relativamente às determinadas nas misturas produzidas em laboratório.

Após a caracterização das carotes procedeu-se à realização de diferentes ensaios de modo a determinar as suas propriedades, tais como o ensaio de permeabilidade e o ensaio da perda por desgaste.

## 5.5 Ensaios para determinar as propriedades das Carotes

### 5.5.1 Ensaio da Permeabilidade

Este ensaio foi determinado com base na norma europeia 12697-19 (EN 12697-19, 2004) e na norma espanhola NLT327/00 com algumas adaptações.

Este ensaio revelou-se difícil de realizar para as carotes uma vez que estas apresentavam baixa permeabilidade, impedindo a passagem da água, como se pode comprovar na figura 5.32 onde se apresenta o ensaio para a permeabilidade vertical para uma carote da faixa de rodagem e do passeio comprovando-se a sua impermeabilidade, pois não se vê qualquer saída de água.



Figura 5.32 - Permeabilidade vertical de uma carote da faixa de rodagem e do passeio

Os resultados obtidos no coeficiente de permeabilidade das carotes são expressos no quadro seguinte.

Quadro 5.24 - Coeficientes de permeabilidade das carotes

Carotes	Tempo de escoamento		Coeficiente de Permeabilidade		Porosidade (%)
	$t_v$ (s)	$t_h$ (s)	$K_v$ (cm/s)	$K_h$ (cm/s)	
Faixa de rodagem	1097,2	242,3	0,0033	0,016	8,0
Passeio	-	-	-	-	8,7

Pelo exposto e consoante os resultados do quadro anterior pode-se verificar que as carotes da faixa de rodagem apresentam um tempo de escoamento vertical superior ao horizontal, pelo que o  $k_v$  mais lento que o  $k_h$ , apresentando uma baixa permeabilidade como se pode comprovar pela baixa porosidade que apresenta. Para as carotes o tempo de escoamento medido foi superior a 3600 segundos.

A permeabilidade supõe-se escassa ou deficiente para valores de tempo medidos com o permeâmetro superiores a 200 segundos; para que esta se possa considerar apreciável, os valores medidos com o permeâmetro devem ser inferiores a 100 segundos (Jiménez (1987) citado por OLIVEIRA (1995: 63)).

### 5.5.2 Ensaio da Perda por Desgaste

A perda por desgaste das partículas foi determinada pelo ensaio de Cântabro, seco, de acordo com a norma europeia 12697-17 (EN 12697-17, 2004).

Os resultados do ensaio da perda por desgaste para as carotes apresentam-se no quadro seguinte.

Quadro 5.25 - Perda por desgaste das carotes

Carotes	Perda por Desgaste (%)
Faixa de rodagem	55,4
Passeio	53,4

De acordo com os resultados obtidos observa-se que as carotes da faixa de rodagem apresentam uma perda ligeiramente superior à das carotes do passeio, porque são misturas betuminosas densas o que faz com que sejam mais resistentes em relação à argamassa (composta por areia, entre outros componentes) aplicada no passeio.

Nas figuras seguintes pode-se observar uma carote da faixa de rodagem e do passeio antes e após o ensaio da perda por desgaste.

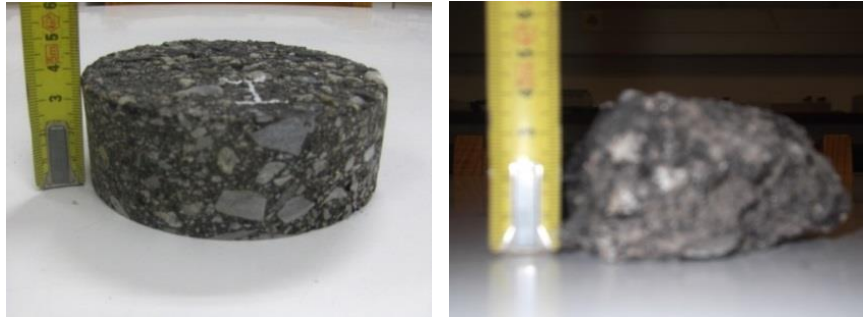


Figura 5.33 - Carote da faixa de rodagem antes (à esq.) e após (à dir.) o ensaio da perda por desgaste



Figura 5.34 - Carote do passeio antes (à esq.) e após (à dir.) o ensaio da perda por desgaste

Após a produção das misturas betuminosas drenantes em laboratório, a análise das suas características e os ensaios para verificar o seu desempenho, assim como a análise das carotes extraídas no troço da Alameda da Europa, na cidade da Covilhã, fez-se uma comparação, entre as misturas drenantes produzidas em laboratório e os materiais aplicados *in situ*.

## 5.6 Comparação das misturas produzidas em laboratório e das carotes *in situ*

O quadro seguinte apresenta uma comparação das características das misturas betuminosas drenantes produzidas em laboratório e das carotes *in situ*.

Quadro 5.26 - Características das misturas drenantes produzidas em laboratório e das carotes *in situ*

Características	Porosidade (%)	Coeficiente de permeabilidade		Perda por desgaste (%)	
		$K_v$ (cm/s)	$K_h$ (cm/s)		
Misturas produzidas em laboratório	PA_AGC4,2%	25,2	0,57	1,08	40,7
	PA_M1004,0%	25,3	0,83	1,46	93,7
Carotes <i>in situ</i>	Faixa de rodagem	8,0	0,0033	0,016	55,4
	Passeio	8,6	-	-	53,4

Perante os resultados apresentados no quadro anterior, verifica-se que as misturas fabricadas em laboratório apresentam características mais vantajosas em relação às carotes, exceto a perda por desgaste que apresentou valores insatisfatórios, principalmente a mistura produzida com resíduo das minas da panasqueira (PA\_M100 4,0%) que teve uma perda elevada da ordem dos 94%. A mistura produzida com agregados (PA\_AGC 4,2%), apesar de possuir um desgaste mais aceitável, da ordem dos 41%, mesmo assim foi ligeiramente superior ao que seria suposto obter (30%).

Relativamente à porosidade, esta revelou-se satisfatória para as misturas produzidas em laboratório. Já em relação às carotes, estas apresentaram valores na ordem dos 8%. Pode-se comprovar que a perda por desgaste não está relacionada com a porosidade.

Ambas as misturas drenantes apresentam 25% de porosidade, pelo que o coeficiente de permeabilidade é maior para a mistura com resíduo do que a que tem agregado, pois a do resíduo como só é constituída por este e betume apresenta mais vazios, o que leva a um escoamento mais rápido. Mas no entanto, a perda por desgaste destas é elevada devido ao facto de não haver imbricamento (quando as partículas ficam encostadas e não encaixadas) das partículas de agregados e devido à falta de um fíler que lhe confira coesão e assim maior resistência à desagregação.

Relativamente às carotes com porosidades muito reduzidas, verifica-se que o coeficiente de permeabilidade é muito elevado comparativamente às misturas produzidas em laboratório. Para além destes fatores, as carotes obtiveram valores de desgaste de 53% e 55%, revelando-se superiores às misturas com agregados (PA\_AGC 4,2%).

## 5.7 Síntese

Este capítulo consistiu no trabalho experimental das misturas betuminosas drenantes produzidas em laboratório com uma percentagem de porosidade superior a 25%, consistindo em produzir misturas utilizando agregados naturais e outras substituindo os agregados por resíduo das minas da Panasqueira. Para tal, inicialmente fez-se a caracterização dos materiais, seguindo-se a formulação das misturas e sua produção. Após isto, fez-se a caracterização das misturas (baridade e porosidade), seguindo-se os ensaios para avaliar o seu comportamento de acordo com a rigidez, a permeabilidade e a perda por desgaste.

Foi realizada a carotagem *in situ*, de forma a comparar as misturas produzidas em laboratório com a mistura que se encontra na camada de desgaste da rua da Alameda da Europa, na cidade da Covilhã.

As misturas produzidas em laboratório, nomeadamente a mistura com agregados (PA\_AGC 4,2%) se revelou possuir as características e um melhor desempenho em relação à mistura produzida com o resíduo das minas da Panasqueira. Esta só obteve a porosidade pretendida, não satisfazendo de forma positiva o objetivo da substituição dos agregados pois teve um desgaste muito elevado.

O estudo das carotes permitiu concluir que estes possuem um desempenho inferior relativamente às misturas drenantes produzidas em laboratório.

Conclui-se, desta forma, que as misturas drenantes estudadas, especialmente a mistura PA\_AGC (com agregados naturais e uma percentagem de betume de 4,2%), são uma solução eficaz para aplicar nas vias urbanas.



## CAPÍTULO 6 - Conclusão

O objetivo deste trabalho consistiu na produção de uma mistura betuminosa drenante a aplicar em vias urbanas, com as características necessárias para que confirmem um melhor desempenho na sua capacidade de resposta à drenagem de águas pluviais. A pesquisa bibliográfica revelou que a característica principal para esta possuir a capacidade de drenar será a de obter uma mistura com porosidade mínima de 25%. Após isto, para comprovar o seu bom desempenho foram realizados alguns ensaios laboratoriais, nomeadamente o módulo de rigidez, o ensaio de permeabilidade (permeâmetro LCS) e o ensaio da perda por desgaste.

Para além disto, outro dos objetivos consistiu na extração de carotes dos pavimentos da Alameda da Europa, para os comparar com a mistura drenante produzida em laboratório através da realização dos mesmos ensaios mencionados anteriormente. Os ensaios realizados permitiram concluir que em termos de porosidade e desempenho, a mistura drenante revelou-se melhor em relação às misturas utilizadas nos pavimentos desta Alameda.

Dada a distinção entre rua e estrada, concluiu-se que o troço em estudo possui as características da primeira em termos de morfologia. Pelo que, após feita esta análise teórica, no Capítulo 3, classificou-se esta via como distribuidora local ou como pertencente aos arruamentos principais ou, ainda, como rede de distribuição pela sua função, composição e perfil. Verificou-se que os pavimentos são impermeáveis, sendo utilizada uma mistura betuminosa densa nas faixas de rodagem e estacionamento e uma argamassa nos passeios. Consequentemente, apresentam-se não aptos em relação à drenagem da pluviosidade. Verificou-se ainda, que os espaços verdes aí existentes dificultam a absorção da água devido à tela impermeabilizante que possuem.

Após o levantamento dos problemas verificados, procedeu-se ao estudo teórico das misturas betuminosas drenantes (Capítulo 4) a aplicar nas vias urbanas, principalmente as características que lhes conferem a capacidade drenante e os seus constituintes. Assim como as vantagens que estas apresentam, tais como uma melhor aderência pneu/pavimento, eliminação da aquaplanagem, do efeito *spray* e da reflexão da luminosidade. Feito o estudo teórico referentes às misturas betuminosas drenantes, procedeu-se à produção da mistura drenante em laboratório.

O principal objetivo atingido na mistura betuminosa drenante produzida no laboratório foi a porosidade pretendida de 25%. No que diz respeito ao seu desempenho, comprovou-se laboratorialmente que a mistura betuminosa drenante com agregados naturais apresenta um melhor desempenho em relação às carotes *in situ* da faixa de rodagem e passeio (com uma porosidade de 8%).

Em relação aos ensaios realizados, o permeâmetro LCS permitiu determinar a capacidade de escoamento de uma determinada quantidade de água, das misturas e das carotes devido à ação da chuva. As diferentes misturas estudadas (com agregados naturais e com resíduos das minas da Panasqueira) obtiveram um tempo de escoamento baixo, levando a um rápido escoamento, demonstrando assim a sua permeabilidade. Comparativamente com as carotes estudadas verificou-se que as da faixa de rodagem apresentaram um tempo de escoamento muito elevado, enquanto para as do passeio foi impossível determinar o coeficiente de permeabilidade, porque o tempo de escoamento medido, revelou-se muito superior a 200 segundos.

O ensaio da perda por desgaste permitiu avaliar a resistência à desagregação das misturas e das carotes, sob a ação mecânica sobre a ligação betume-agregado. O valor obtido para a mistura drenante com agregados naturais, revelou-se quase satisfatório apresentando uma percentagem de desgaste de 40%, sendo estipulado um máximo de 30% para uma temperatura de ensaio de 18 °C de acordo com as referências bibliográficas.

Relativamente às misturas drenantes com agregados naturais e resíduos das minas da Panasqueira, obtiveram-se valores de desgaste muito elevados, variando entre 79% e 94%. Desta forma, pode-se concluir que nenhuma destas misturas se revelou favorável face à avaliação desta propriedade.

O ensaio da sensibilidade à água permitiu avaliar o efeito da saturação e do condicionamento acelerado em água na resistência à tração indireta. Os resultados obtidos demonstraram que a mistura PA\_AGC 4,2% possui uma resistência à tração de 100%. Mais uma vez, a mistura com resíduos das minas da Panasqueira revelou um comportamento à sensibilidade à água negativo, uma vez que apresenta valores de ITSR de 68%.

O autor InIR (2009: 13) refere que para betão betuminoso tradicional é provável que seja obtida uma menor dispersão de resultados do que para o betão betuminoso drenante.

Por último refira-se que a presente dissertação, visa contribuir para demonstrar as vantagens arrecadadas com a utilização destas misturas, principalmente nas vias urbanas, numa abordagem multidisciplinar assim como levar ao incentivo para desenvolver trabalhos futuros aprofundando mais o estudo destas misturas.

Sendo assim, sugerem-se as seguintes propostas para trabalhos futuros possíveis:

- Pavimentar um troço da via em estudo, quer a faixa de rodagem quer o passeio, de modo a estudar o desempenho desta solução *in situ*.

- Devido ao facto dos resíduos das minas da Panasqueira apresentarem um forte impacto ambiental no concelho da Covilhã, seria de todo interessante que a sua incorporação nestas misturas drenantes obtivesse um resultado positivo em termos de avaliação de perda por desgaste. Assim sendo, propõe-se que futuramente sejam estudados novos fusos granulométricos que contemplem a sua utilização de forma a encontrar uma solução com os resultados pretendidos.
- Estudar outras alternativas de resíduos a serem incorporados nas misturas betuminosas drenantes, de modo a conseguir uma mistura mais económica e ambientalmente sustentável como era previsto inicialmente.



## Bibliografia

- AA.VV. - NPQV, Núcleo de Pesquisas em Qualidade de Vida - *Infraestrutura urbana*.
- ACIOLI, Laura A. (2005) - *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte*, Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro J.; GOMES, Júlio (2006) - *Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso, da Vinci*, v. 3, n. 1, Curitiba, p. 139-156.
- ALVES, Luís R. R. (2011) - *Ligantes betuminosos e a normalização europeia*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, Janeiro.
- ARAÚJO, Maria do C. V. de (1998) - *Avaliação da Qualidade do Espaço Público - Redes Viárias Urbanas*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- ARTICULO 40.65 - *Mezclas betuminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas*. Versão online no site madrid ([http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/CondTecnPa v/Capitulo40/40\\_65.pdf](http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/CondTecnPa v/Capitulo40/40_65.pdf))
- BARRÃO, LUÍS C. S. P. de C. (2011) - *Avaliação do Comportamento de Misturas Betuminosas sob Temperaturas Elevadas*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, FCT/UNL, Lisboa.
- CARVALHO, Nuno M. S. M. de (2002) - *Planeamento e Traçado de Vias Urbanas*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto.
- CASTRO GOMES, J. P.; RODRIGUES CARVALHO, J. A.; PISSARRA CAVALEIRO, V. M. (2002) - *Absorção de Água e Permeabilidade ao oxigénio do Granito da Covilhã*, Congresso geotécnico português, LNEC, Lisboa, Abril. Versão online no site do c-made ([http://www.c-made.ubi.pt/pdf/a\\_national\\_conferences/CongrGeot-Permeabilidade-Granitos-Covilh%C3%A3.pdf](http://www.c-made.ubi.pt/pdf/a_national_conferences/CongrGeot-Permeabilidade-Granitos-Covilh%C3%A3.pdf)) Consultado em fevereiro de 2013
- CEPSA Betumes (2007) - *Manual de Pavimentação*, 1ª Edição, Lisboa, Portugal, Novembro.
- COSTA, José L. C. da (2008) - *O Planeamento das Redes Viárias Municipais - Uma Abordagem Metodológica*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

**CML - Câmara Municipal de Lisboa (1991)** - *Regulamento do mobiliário urbano e da ocupação da via pública*, Edital N.º 101/91.

**DINIS-ALMEIDA, Marisa S. F. (2003)** - *Pavimentos Rodoviários de Baixo Custo com Emulsões Betuminosas e Resíduos das Minas da Panasqueira*, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

**DINIS-ALMEIDA, M. S. F. (2010)** - *Caracterização e formulação de misturas betuminosas recicladas temperadas em central*, Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Dezembro.

**DINIS DA GAMA, C.; NAVARO TORRES, V.; LOPES, L.; NOBRE, E. (2002)** - *Interpretação Geomecânica da Subsidência na Mina da Panasqueira*, 8º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa.

**DUARTE, Ricardo M. B. (2010)** - *Aplicação das Normas Europeias nas Misturas Betuminosas*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, Janeiro.

**ELVIK, Rune; GREIBE, Poul (2005)** - *Road safety effects of porous asphalt: a systematic review of evaluation studies*, in *Accident Analyses & Prevention*, ELSEVIER, pp. 515-522, January.

**ESTRADAS DE PORTUGAL (2012)** - *Caderno de encargos Tipo Obra*, Capítulo 14.03 (Pavimentação), Estradas de Portugal S.A., Janeiro.

**FAUSTINO, Vera L. B. (2009)** - *Uma Contribuição para a Divulgação das Barragens de Enrocamento com Cortina Interior de Betão Betuminoso em Portugal*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Setembro.

**FERREIRA, Cláudia I. G. (2009)** - *Avaliação do Desempenho de misturas betuminosas temperadas*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Dezembro.

**FILHO, António F. (2009)** - *Análise Laboratorial de Misturas Asfálticas Abertas Usinadas a Quente com a Utilização de Diferentes Ligantes*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Novembro.

**HAMZAH, Meor O. et al. (2011a)** - *Permeability loss in porous asphalt due to binder creep*, in *Construction and Building Materials*, pp. 10-15.

**HAMZAH, Meor O. et al. (2011b)** - *The effects of initial conditioning and ambient temperatures on abrasion loss and temperature change of porous asphalt*, in *Construction and Building Materials*, pp. 108-113.

**HERRINGTON, Phil; REILLY, Sheryn; COOK, Shaun (2005)** - *Porous Asphalt Durability Test*, Opus International Consultants Ltd, Central Laboratoires, Lower Hutt, in Transfund New Zealand Research Report No. 265, New Zealand, pp. 32.

**HOMEM, Tiago da Rosa (2002)** - *Comportamento de Misturas asfálticas Porosas com Ligantes Modificados por Polímeros e adição de Fibras*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Janeiro.

**IMTT (2011)** - *Rede viária - Princípios de planeamento e desenho*, Coleção de brochuras técnicas/temáticas, Pacote da Mobilidade, Território, Acessibilidade e Gestão de Mobilidade, Março.

**InIR (2009)** - *Ensaio de Comparação Interlaboratorial para Avaliação da Sensibilidade à água de Misturas Betuminosas Compactadas*, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, I.P., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Junho.

**INTEVIAL** - *Aspetos Técnicos na Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários*, Gestão Integral Rodoviária, S.A.

**JAEGER, Christian (1995)** - *Les Voiries Urbaines - evolution, usage, aménagement*, Institut des Transports et de planification, EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France.

**JÚNIOR, Tadeu de Cezaro (2008)** - *Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas Convencionais e Modificadas*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Junho.

**LYNCH, Kevin (1960)** - *A imagem da cidade*, arte e comunicação, edições 70, Outubro.

**MARCHIONI, Mariana & SILVA, C. O. (2010)** - *Melhores Práticas - Pavimento Intertravado Permeável*, Sistemas Construtivos, Pavimentos Permeáveis, São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

**MENDES, SUSANA F. (2011)** - *Caracterização mecânica de misturas betuminosas a aplicar em infraestruturas de transportes*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL, Lisboa.

**MENEZES, Miguel V. P. de (2008)** - *Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior técnico, IST, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Setembro.

**MOPU (1987)** - *Mezclas Bituminosas Porosas*, tecnologia carreteras MOPU, Noviembre.

**NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) (2009)** - *Annotated Literature Review for NCHRP Report 640*, Volume III of Contractor's Final Report for NCHRP Project 09-41, Web-Only Document 138, January.

**Norma Espanhola NLT - 327/00** - *Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS*, 2000.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 5: Determination of the maximum density*, CEN, 2002.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens*, CEN, 2003.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens*, CEN, 2003.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens*, CEN, 2003.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen*, CEN, 2004.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 19: Permeability of specimen*, CEN, 2004.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens*, CEN, 2003.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 26: Stiffness*, CEN, 2004.

**Norma Europeia - EN 12697** - *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 30: Specimen preparation by impact compactor*, CEN, 2004.

**Norma Europeia - EN 13108** - *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 7: Porous Asphalt*, CEN, 2006.

**Norma Portuguesa - NP EN 1097** - *Ensaio das Propriedades Mecânicas e Físicas dos agregados: Parte 2: Método de determinação da resistência à fragmentação*, Instituto Português da Qualidade, 2000.

**Norma Portuguesa - NP EN 1097** - *Ensaio das Propriedades Mecânicas e Físicas dos agregados: Parte 6: Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água*, Instituto Português da Qualidade, 2003.

**Norma Portuguesa - NP EN 933** - *Ensaio das Propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica, Método de peneiração*, Instituto Português da Qualidade, 2000.

**OLIVEIRA, Carlos G. M.** (2003) - *Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, Setembro.

**OLIVEIRA, Isabel M. de** (1995) - *Misturas betuminosas drenantes, Estudo da influência de alguns parâmetros da composição*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Dezembro.

**PARDAL, Sidónio C.; CORREIRA, Paulo V. D.; LOBO, Manuel C.** (1998) - *Normas Urbanísticas, Desenho Urbano, Apreciação de Planos e Perímetros Urbanos*, in Direção Geral do Ordenamento do Território, Universidade Técnica de Lisboa, vol. 2, 2ª edição, Lisboa, Portugal.

**PARDAL, Sidónio C.; LOBO, Manuel C.; CORREIRA, Paulo V. D.; LOBO, Margarida S.** (1990) - *Normas Urbanísticas, Princípios e Conceitos Fundamentais*, in Direção Geral do Ordenamento do Território, Universidade Técnica de Lisboa, vol. 1, Lisboa, Portugal.

**PAVIDREN** - *Betão Betuminoso Drenante, Pavimentos de Elevada Qualidade*, Grupo Pavia, Tecnobet, Ligantes e misturas betuminosas, SA.

**PEREIRA, Flávio J. Q.** (2009) - *Estudo da Sensibilidade à Água de Misturas Betuminosas*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL, Lisboa, Setembro.

**PEREIRA, João P. N. G. da C.** (2012) - *Aplicação do Lean Construction no Controlo e Gestão em Processos de Produção*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL, Lisboa, Abril.

**PDM Lisboa** (2012) - *Regulamento do Plano Diretor Municipal de Lisboa*, Primeira revisão aprovada em reunião da Assembleia Municipal de 24 de Julho de 2012 e publicada em DR de 30 de Agosto de 2012, Lisboa.

**Portaria n.º 216-B/2008**, Diário da República, 1.ª série - N.º 44 - 3 de Março de 2008.

**RECASENS, Rodrigo M.** (2006) - *Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort (Ruido) y la seguridad*, Universidad Politécnica de Cataluña, Zaragoza, 14 de Diciembre.

**RIBEIRO, Jaime M. Q.** (1995) - *Análise do comportamento de camadas de desgaste drenantes com materiais graníticos*, Dissertação de doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Maio.

**RIBEIRO, Paulo J. G.** (2005) - *Estudo de Vias Urbanas, Processo de Seleção de Indicadores Ambientalmente Sustentáveis de Gestão de Tráfego*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, Janeiro.

**ROCHA, Isabel e BATALHÃO, Carlos José** (coord.) (2010) - *Urbanismo*, Porto Editora, Setembro.

**ROJAS, Gabriela M. & RODRIGO, Consuelo R.** (1999) - *Metodologia de Diseño y Colocacion de Mezclas Drenantes*, in Seminario PROVIAL e 10º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, España.

**SANTOS, Adriana P. da S.** (2007) - *Estudo da Eficácia na Redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Março.

**SANTOS, Fábio A. P. dos** (2010) - *Reciclagem de Escórias de Incineração de RSU através da Incorporação em Argamassas de Construção*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Setembro.

**SECO, Álvaro J. da M.; GONÇALVES, Jorge H. G. e COSTA, Américo H. P. da** (2008a) - *Estacionamento*, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes, CCDRn - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Dezembro.

**SECO, Álvaro et al.** (2008b) - *Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes, CCDRn - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Dezembro.

**SENGOZ, Burak; ISIKYAKAR, Giray** (2007) - *Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen*, in Construction and building Materials, ScienceDirect, pp. 1897-1905.

**SENGOZ, Burak; TOPAL, Ali; ISIKYAKAR, Giray** (2008) - *Morphology and image analysis of polymer modified bitumens*, in Construction and building Materials, ScienceDirect, pp. 1986-1992.

**SILVA, Carlos E. D. B. D. da** (2005) - *Estudo da Permeabilidade de Misturas Asfálticas de Graduação Aberta*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Agosto.

**SILVA, Jorge M. L. Batista e** - *Infraestruturas Urbanas*, Instituto Superior Técnico, Sebenta policopiada da disciplina de Infraestruturas Urbanas, Licenciatura em Arquitetura, ano letivo 2001/2002.

**SILVEIRA, Luiz A. X. da** (2003) - *Contribuição para um Modelo de Seleção de Revestimentos de Pavimentos em Ambientes Urbanos (Caso de Curitiba)*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Outubro.

---

**SIMÕES, João Andrade** (2008) - *Pavimentos Rodoviários Flexíveis - Exemplos de Análise Económica*, Dissertação de Mestrado, universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.

**SOUZA, Sérvulo A. de** (2008) - *Avaliação da capacidade de escoamento da água em mistura asfáltica drenante: Proposta de ensaio de laboratório*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil, Fevereiro.

**VILAÇA, Carla S. da S.** (2009) - *Adaptação do Caderno de Encargos Tipo da Ex-JAE a Estradas Municipais de Baixa Velocidade*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Junho.

**VIRGILIIS, Afonso L. C. de** (2009) - *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dezembro.

**YILDIRIM, Yetkin** (2005) - *Polymer modified asphalt binders*, in *Construction and building Materials*, ScienceDirect, pp. 66-72.

**ZMITROWICZ, Witold & NETO, Generoso de A.** (1997) - *Infra-Estrutura Urbana*, Texto Técnico - Série TT/PCC/17, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, Brasil.

<http://www.engenhariacivil.com/pavimentos-drenantes-agregados-granito>\_Consultado em março de 2013.

<http://ahhowland.com/assets/docs/Porous-Asphalt-Maintenance-Handbook.pdf>\_Consultado em maio de 2013.