



# **ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS**

**NUNO FILIPE BARBOSA PINTO**

novembro de 2016

**ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS AFETOS ÀS  
VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA  
DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS**

NUNO FILIPE BARBOSA PINTO

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE INFRAESTRUTURAS**

Orientador: Professor Ângelo Manuel Gonçalves Jacob

Supervisor: Engenheira Jacinta Maria Riera Ascensão Moreira (Câmara Municipal de Valongo)

**NOVEMBRO DE 2016**



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas.....	xxiii
Abreviaturas .....	xxv
1 Introdução.....	1
2 Enquadramento Geral e Empresa.....	3
3 Caracterização Teórica de Pavimentos .....	13
4 Constituição das Bases de Trabalho e Patologias de Pavimentos .....	47
5 Estudos de Casos e Definição de Intervenções.....	77
6 Conclusão .....	123
Referências Bibliográficas .....	125
Anexos .....	131



## RESUMO

Este relatório foi realizado no seguimento da unidade curricular DIPRE em que esta é a última unidade curricular do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo Infraestruturas lecionada no Instituto Superior de Engenharia do Porto. O estágio realizou-se na DPOM – Divisão de Projetos e Obras Municipais da Câmara Municipal de Valongo. No relatório houve a intenção de ajudar os colegas desta divisão da Câmara de como dimensionar um pavimento rodoviário, bem como identificar patologias das vias municipais. No seguimento deste relatório realizou-se um programa de cálculo de pavimentos automáticos que de uma forma expedita poderá ser útil à Câmara Municipal de Valongo e a outros, como pro exemplo, projetistas.

Este relatório inicia-se com uma primeira parte de âmbito teórico, em que faz-se referência à evolução das vias, bem como os diferentes tipos de pavimentos, as suas patologias de um modo geral e métodos de dimensionamento.

De seguida, e aplicando a parte teórica descrita anteriormente neste relatório, aplicam-se estes conhecimentos, mais concretamente, a casos de patologias do Concelho e a certas obras que no presente relatório serão abordadas.

Este estágio permitiu o desenvolvimento de novas apetências sobretudo na parte do dimensionamento e cálculo de pavimentos, em que foi desenvolvido um programa de cálculo automático – PAVDim.

Os diferentes dimensionamentos que foram abordados neste relatório foram realizados com o intuito de abranger em grande parte os diferentes tipos de pavimentos. Na via de distribuição, denominada Avenida Central da Ribeira, optou-se por um pavimento flexível com base rígida. Na Avenida 5 de Outubro optou-se por manter a aparência visual de uma paragem de autocarros e foi usado como camada de desgaste o cubo e uma base rígida. Por fim, na Alameda da Igreja – Centro Cívico de Campo o dimensionamento foi o mais comum usado em vias municipais para pavimentos flexíveis.

Tudo isto, e para finalizar, foi apoiado com o programa de cálculo desenvolvido neste relatório de estágio que ajudou tecnicamente no dimensionamento de pavimentos.

**Palavras-chave:** Pavimentos, Flexível, Base Rígida, PAVDim, Cálculo, Evolução



## **ABSTRACT**

This report was realized, following the last course of the Master in Civil Engineering, DIPRE - Branch Infrastructure at Instituto Superior de Engenharia do Porto. The stage was performed in DPOM - Divisão de Projetos e Obras Municipais da Câmara Municipal de Valongo. The purpose of this report was to clarify to the colleagues of this division how to dimension a pavement properly and identify municipal roads problems. During this report was performed an automatic pavement calculation program that may be useful in the future, at this division.

Starting with a theoretical level, with lane evolution references, and the different kinds of pavements as well, their general pathologies and dimension methods. Then, applying this theoretical part, this knowledge is applied specifically in cases of County pathologies and some works that will be spoke about in this report. This stage allowed the development of new cravings particularly in the pavement dimension and calculation, in which it was developed a computer program - PAVDim.

The different sizings which were discussed in this report were performed with the purpose to cover the different types of pavements. The distribution route, called Avenida Central da Ribeira, we opted for a flexible pavement with rigid base. At Avenida 5 de Outubro, it was decided to maintain the visual appearance of a bus stop and was used as a wear layer of the hub and a rigid base. In the end, Alameda da Igreja – Centro Cívico de Campo, the sizing was the most commonly used in municipal roads for flexible pavements.

All this was supported with the calculation program developed at this stage report which helped by the speed and objectivity of the calculation.

**Keywords:** Pavements, Flexible, Rigid Base, PAVDim, Calculation, Evolution



## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste relatório só foi possível com muito empenho e com a ajuda de várias pessoas/instituições que tornaram isto possível e deixo, aqui, o meu profundo agradecimento.

Primeiramente ao orientador, Engenheiro Ângelo Jacob, não só pelos conhecimentos que disponibilizou mas pela disponibilidade sempre demonstrada em todas as fases deste estágio.

À Câmara Municipal de Valongo que me acolheu da melhor maneira, não só a minha supervisora Engenheira Jacinta Riera, bem como a todos desta Divisão de Projetos e Obras Municipais. Esta relação veio ajudar em grande parte para um desenvolvimento a nível profissional mais consistente e, também, contribuir para a realização de vários trabalhos para esta divisão bem como adquirir conhecimentos ao nível do mundo profissional.

Por último, a todos os meus familiares, amigos que me apoiaram durante todo este estágio bem como durante a realização deste relatório de estágio.



# ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Âmbito .....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Metodologia.....	2
1.4	Estrutura .....	2
2	Enquadramento Geral e Empresa.....	3
2.1	Enquadramento .....	3
2.2	Empresa .....	3
2.2.1	Câmara Municipal de Valongo.....	3
2.2.2	Organograma.....	4
2.2.3	Valores.....	5
2.2.4	Localização do Concelho.....	6
2.2.5	Área de Atuação .....	7
2.2.6	Rede Viária.....	8
2.2.7	Marca.....	9
2.2.8	Divisão de Projetos e Obras Municipais – DPOM.....	10
3	Caracterização Teórica de Pavimentos .....	13
3.1	Referências Históricas.....	13
3.1.1	Atualidade em Portugal.....	19
3.2	Tipos de Pavimentos.....	21
3.2.1	Pavimento Flexível.....	22
3.2.1.1	Camadas .....	23

## ÍNDICE DE TEXTO

3.2.1.2	Ligação entre Camadas.....	25
3.2.1.3	Misturas Betuminosas .....	26
3.2.2	Pavimentos Rígidos.....	27
3.2.2.1	Características dos Pavimentos Rígidos .....	28
3.2.2.2	Betão com Juntas .....	31
3.2.2.3	Betão com Juntas e Passadores.....	31
3.2.2.4	Betão Armado com Juntas.....	32
3.2.2.5	Betão Armado Contínuo.....	32
3.2.3	Pavimento Semirrígido .....	33
3.2.3.1	Camadas .....	33
3.2.3.2	Características dos Pavimentos Semirrígidos.....	34
3.3	Passeios.....	34
3.4	Lancis.....	36
3.5	Mobilidade.....	38
3.6	Evolução no Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários .....	43
4	Constituição das Bases de Trabalho e Patologias de Pavimentos .....	47
4.1	Introdução às Patologias Gerais.....	47
4.1.1	Deformações.....	51
4.1.1.1	Abatimento.....	51
4.1.1.2	Deformações Localizadas .....	52
4.1.1.3	Ondulação.....	53
4.1.1.4	Rodeiras.....	54
4.1.2	Fendilhamento.....	55
4.1.2.1	Fendas.....	56
4.1.2.2	Pele de Crocodilo.....	58
4.1.3	Desagregação da Camada de Desgaste .....	59
4.1.3.1	Cabeça de Gato.....	59

4.1.3.2	Desagregação Superficial .....	60
4.1.3.3	Ninhos (Covas).....	61
4.1.3.4	Pelada .....	62
4.1.4	Movimento dos Materiais .....	62
4.1.4.1	Subida de Finos.....	62
4.1.4.2	Exsudação.....	63
4.2	Patologias dos Pavimentos no Município.....	64
4.2.1	Rua Central da Ribeira – Campo e Sobrado.....	64
4.2.1.1	Patologias na Rua Central da Ribeira – Campo e Sobrado.....	65
4.2.1.2	Pele de Crocodilo.....	66
4.2.1.3	Exsudação.....	66
4.2.1.4	Fendas .....	67
4.2.1.5	Peladas .....	68
4.2.1.6	Tampas de Saneamento .....	68
4.2.1.7	Considerações Finais .....	69
4.2.2	Avenida Visconde de Oliveira Futuro Centro Cívico de Campo e Sobrado – Alameda da Igreja 70	
4.2.2.1	Patologias na Avenida Visconde Oliveira .....	70
4.2.2.2	Fendas .....	71
4.2.2.3	Pele de Crocodilo.....	71
4.2.3	Avenida 5 de Outubro – Paragem de Autocarros.....	72
4.2.3.1	Patologias na Avenida 5 de Outubro – Paragem de Autocarros.....	72
4.2.3.2	Rodeiras.....	72
4.2.3.3	Considerações Finais .....	73
4.2.4	Rua Vilar – Ermesinde.....	73
4.2.4.1	Localização .....	74
4.2.4.2	Patologias .....	74

## ÍNDICE DE TEXTO

4.2.4.3	Ondulações no Pavimento.....	74
4.2.4.4	Desagregação Superficial.....	75
5	Estudos de Casos e Definição de Intervenções.....	77
5.1	Dimensionamento de Pavimentos no Município.....	77
5.1.1	Estudo de Tráfego.....	77
5.1.2	Temperatura.....	85
5.1.2.1	Método da Shell.....	86
5.1.3	Solo de Fundação.....	87
5.1.3.1	Powell.....	88
5.1.3.2	Shell.....	88
5.1.4	Camada de Sub-Base ou Base Granulares (ABGE).....	88
5.1.5	Camadas Betuminosas.....	89
5.1.5.1	Modelo da Shell.....	89
5.1.5.2	Modelo de Silvino Capitão (Alto Módulo).....	91
5.1.6	Extensões.....	92
5.2	Pavimentos Dimensionados no Município de Valongo.....	93
5.2.1	Avenida Visconde de Oliveira Futuro Centro Cívico de Campo – Alameda da Igreja.....	93
5.2.1.1	Planta Antes da Intervenção.....	93
5.2.1.2	Planta Final.....	94
5.2.1.3	Programa.....	94
5.2.1.4	TMDAp.....	94
5.2.1.5	Solo de Fundação.....	95
5.2.1.6	Sub-Base.....	95
5.2.1.7	Temperatura.....	95
5.2.1.8	Temperatura das Camadas – Método Analítico.....	96
5.2.1.9	Camadas Betuminosas.....	97
5.2.1.10	Extensões.....	99

5.2.1.11	Extensões Calculadas/Verificadas .....	100
5.2.1.12	Novo Dimensionamento .....	101
5.2.2	Avenida 5 de Outubro – Paragem do Autocarro .....	105
5.2.2.1	Enquadramento da Obra.....	105
5.2.2.2	Cálculo .....	106
5.2.2.3	TMDAp.....	106
5.2.2.4	Solo de Fundação .....	107
5.2.2.5	Sub-Base .....	107
5.2.2.6	Base .....	108
5.2.2.7	Almofada de Areia.....	108
5.2.2.8	Camada de Paralelepípedos.....	109
5.2.2.9	Método de Cálculo .....	110
5.2.2.10	Apresentação do Cálculo das Trações e Extensões.....	110
5.2.3	Rua Central da Ribeira – Campo e Sobrado.....	114
5.2.3.1	TMDAp.....	114
5.2.3.2	Solo de Fundação .....	114
5.2.3.3	Sub-Base .....	114
5.2.3.4	Temperatura.....	115
5.2.3.5	Camadas Betuminosas .....	117
5.2.4	Considerações Finais .....	121
6	Conclusão.....	123
6.1	Considerações Finais.....	123
6.2	Desenvolvimentos Futuros .....	124



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Brasão do Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016) .....	4
Figura 2.2 - Organograma Câmara Municipal de Valongo (C.M. Valongo, 2016) .....	5
Figura 2.3 – Principais Vias de Comunicação no Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016) .....	7
Figura 2.4 - Enquadramento do Concelho de Valongo (SERRAS DE SANTA JUSTA, 2016) .....	8
Figura 2.5 - Rede Viária (SERRAS DE SANTA JUSTA, 2016) .....	8
Figura 2.6 – Marca do Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016) .....	9
Figura 3.1 – Exemplo de Estrada no Egipto (HELDAL, 2016) .....	13
Figura 3.2 – Via Ápia (O Início da Construção de Estradas, 2016) .....	14
Figura 3.3 – Dois exemplos de Vias em Roma .....	15
Figura 3.4 – Esquema estrutural das camadas das estradas romanas (ANDRADE, 2016) .....	16
Figura 3.5 – Corte transversal de uma estrada tipo romana (KAEFER, 1998) .....	17
Figura 3.6 – Exemplo de um Marco miliário (GALLO, 2006) .....	18
Figura 3.7 – Dois tipos de terrenos em Portugal .....	19
Figura 3.8 – Mapa Rede Rodoviária Nacional (IMT, 2013) .....	21
Figura 3.9 – Exemplo de várias camadas em um pavimento flexível (LOPES, 2009) .....	22
Figura 3.10 – Exemplo de tensões atuantes na estrutura, pavimento flexível (INTERACTIVE, 2008) .....	24
Figura 3.11 – Exemplo elucidativo das degradações de tensões nas várias camadas do pavimento (INTERACTIVE, 2008) .....	24
Figura 3.12 – Exemplo de uma rega de colagem (GALPENERGIA, 2016) .....	26
Figura 3.13 – Diferentes camadas de um pavimento rígido (BIANCHI, 2008) .....	28
Figura 3.14– Juntas de articulação (RODRIGUES, 2011) .....	29
Figura 3.15 – Juntas de contração (RODRIGUES, 2011) .....	30

Figura 3.16 – Junta de dilatação (RODRIGUES, 2011) .....	30
Figura 3.17 – Laje de betão simples (OLIVEIRA, 2000) .....	31
Figura 3.18 – Laje de betão com passador (OLIVEIRA, 2000).....	31
Figura 3.19 – Laje de betão armado com passador (OLIVEIRA, 2000) .....	32
Figura 3.20 – Laje de BAC com armadura (OLIVEIRA, 2000) .....	33
Figura 3.21 – Diferentes tipos de camadas em um pavimento semirrígido (LNEC, 2005).....	33
Figura 3.22 – Desenho e aplicação em cubo de granito.....	36
Figura 3.23 – Desenho e aplicação em betonilha esquartelada.....	36
Figura 3.24 – Diferentes tipos de lancis em granito .....	38
Figura 3.25 – Diferentes tipologias de lancis no Município de Valongo .....	38
Figura 3.26 – Pormenor tipo de acessibilidade nas passadeiras (C.M. Valongo, 2016).....	39
Figura 3.27 – Exemplo elucidativo da distância mínima a adotar (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS).....	40
Figura 3.28 – Exemplo elucidativo de acessos pedonais (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS) 40	
Figura 3.29 – Condições que devem ser cumpridas (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS).....	41
Figura 3.30 – Exemplo pormenorizado na zona da passadeira (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS).....	42
Figura 3.31 Exemplo pormenorizado na zona da passadeira semaforizada (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS) .....	43
Figura 4.1 – Evolução das solicitações no pavimento rodoviário (PEREIRA, 1999).....	49
Figura 4.2 – Interação das degradações (PEREIRA, 1999) .....	50
Figura 4.3 – Dois tipos de abatimentos .....	52
Figura 4.4 – Exemplo de uma deformação localizada .....	53
Figura 4.5 – Exemplo de uma ondulação no pavimento (VIDEIRA,2014) .....	53
Figura 4.6 - Deformações do tipo rodeira no pavimento (LOPES, 2009) .....	54
Figura 4.7 - Variação da estabilidade e da durabilidade nas misturas betuminosas em função da percentagem de betume (MAIA, 2012) .....	55
Figura 4.8 – Exemplo de uma fenda parabólica (TENG, 2009).....	57

Figura 4.9 – Fendas isoladas (NORMA DNIT, 2003) .....	57
Figura 4.10 – Exemplos de tipos de pele de crocodilo .....	58
Figura 4.11 – Exemplos de cabeça de gato .....	60
Figura 4.12 – Exemplos de desagregações.....	61
Figura 4.13 – Exemplo de Ninhos (Covas) (PEREIRA, 1999) .....	61
Figura 4.14 – Exemplo de uma pelada (PEREIRA, 1999) .....	62
Figura 4.15 – Exemplos de subida de finos (EP, 2008).....	63
Figura 4.16 – Exemplo de exsudação no pavimento (TENG, 2009).....	64
Figura 4.17 – Localização e extensão obra, vista satélite.....	65
Figura 4.18 – Vista da Rua Central da Ribeira junto ao Minipreço .....	65
Figura 4.19 – Degradação do tipo pele de crocodilo.....	66
Figura 4.20 – Exsudação na Rua Centra da Ribeira .....	67
Figura 4.21 – Fenda no eixo longitudinal .....	67
Figura 4.22 – Exemplo de uma pelada na Rua Central da Ribeira .....	68
Figura 4.23 – Degradação junto às tampas de Saneamento, Valongo.....	69
Figura 4.24 – Exemplos da degradação na Rua Central da Ribeira em diferentes pontos .....	69
Figura 4.25 – Localização da obra, Campo .....	70
Figura 4.26 - Fendas no pavimento na Avenida Visconde de Oliveira .....	71
Figura 4.27 – Malha fina de pele de crocodilo na Avenida Visconde de Oliveira (2016).....	71
Figura 4.28 – Vista da Avenida 5 de Outubro, Valongo .....	72
Figura 4.29 – Deformações por rodeiras na paragem de autocarros, Valongo .....	73
Figura 4.30 – Localização da Rua Vilar .....	74
Figura 4.31 – Ondulação no pavimento, Valongo .....	75
Figura 4.32 – Desagregação superficial na Rua Vilar (2016) .....	75
Figura 5.1 - Temperatura, tráfego e velocidade a conjugação das ações (JACOB, 2015) .....	78
Figura 5.2 - Exemplo de um documento para contagem de veículos e tipos de veículos (MACOPAV, JAE 1995) .....	78

Figura 5.3 – Categorias dos veículos.....	79
Figura 5.4 – Categorias dos veículos.....	79
Figura 5.5 – Categorias dos veículos.....	80
Figura 5.6 - Categorias dos veículos .....	80
Figura 5.7 - Categorias dos veículos .....	81
Figura 5.8 - Categorias dos veículos .....	81
Figura 5.9 - Categorias dos veículos .....	82
Figura 5.10 - Caracterização das classes de tráfego (JIMENÉZ, 2010).....	84
Figura 5.11 – Gráfico da SHELL (SHELL, 1977) .....	87
Figura 5.12 – Ábaco de Van der Poel, exemplo betume 35/50 (LOPES, 2008) .....	90
Figura 5.13 – Planta com a identificação da Avenida Visconde Oliveira.....	93
Figura 5.14 – Nova planta da Avenida Visconde Oliveira pormenor da estrada (2016) .....	94
Figura 5.15 – Módulo de deformabilidade do solo e sub-base (PAVDim, 2016) .....	95
Figura 5.16 – Temperaturas máximas e mínimas registadas nos últimos 20 anos (WEATHERONLINE) ....	96
Figura 5.17 – Menu principal da Temperatura Ambiente (PAVDim, 2016) .....	96
Figura 5.18 – Temperatura das camadas (PAVDim, 2016).....	97
Figura 5.19 – Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Emb (PAVDim, 2016) ....	98
Figura 5.20 – Extensões admissíveis (PAVDim, 2016) .....	99
Figura 5.21 – Extensões admissíveis (PAVDim, 2016).....	100
Figura 5.22 – Dados inseridos no programa de cálculo.....	100
Figura 5.23 – Extensões máximas admissíveis .....	101
Figura 5.24 – Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Bem da nova estrutura (PAVDim, 2016) .....	102
Figura 5.25 – Extensões admissíveis no novo dimensionamento (PAVDim, 2016).....	103
Figura 5.26 – Dados inseridos no programa de cálculo.....	103
Figura 5.27 – Extensões máximas admissíveis no novo dimensionamento.....	103
Figura 5.28 – Extensões admissíveis para o novo dimensionamento (PAVDim, 2016).....	104

Figura 5.29 – Paragem de Autocarros Avenida 5 de Outubro, Valongo .....	105
Figura 5.30 – Deformação de rodeiras longitudinais na Avenida 5 de Outubro, Valongo.....	106
Figura 5.31 – Módulo de deformabilidade do Solo e Sub-Base (PAVDim, 2016).....	108
Figura 5.32 – Exemplo tipo de uma almofada de areia (PIZARRAS BERNARDOS) .....	109
Figura 5.33 – Cubo de granito .....	109
Figura 5.34 – Extensões de tração.....	112
Figura 5.35 – Interface do programa (PAVDim, 2016) .....	113
Figura 5.36 – Relatório gerado pelo PAVDim (PAVDim, 2016) .....	113
Figura 5.37 - Módulo de deformabilidade do solo e sub-base (PAVDim, 2016).....	115
Figura 5.38 – Temperaturas máximas e mínimas registadas nos últimos 20 anos ( <i>WEATHERONLINE</i> )..	116
Figura 5.39 – Menu principal da Temperatura Ambiente (PAVDim, 2016) .....	116
Figura 5.40 – Temperatura das camadas (PAVDim, 2016).....	117
Figura 5.41 - Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Emb (PAVDim, 2016)...	118
Figura 5.42 – Extensões admissíveis novo dimensionamento (PAVDim, 2016).....	119
Figura 5.43 – Dados inseridos no programa de cálculo .....	119
Figura 5.44 – Extensões máximas admissíveis .....	120
Figura 5.45 – Extensões admissíveis para o novo dimensionamento (PAVDim, 2016) .....	120



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Famílias e tipos de degradações (PEREIRA, 1999) .....	50
Tabela 5.1 – Peso máximo das diferentes tipologias de veículos pesados (JACOB, 2015) .....	83
Tabela 5.2 – Tráfego na paragem da Avenida 5 de Outubro, Valongo .....	107



## ABREVIATURAS

a.C. – Antes de Cristo

ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa

AGEC – Agregado de Granulometria Extensa com Cimento

BAC – Betão Armado Contínuo

C. M. Valongo – Câmara Municipal de Valongo

CBR – California Bearing Ratio

DAJAC – Divisão de Assuntos Jurídicos e Apoio aos Cidadãos

DEASD – Divisão de Educação, Ação Social e Juventude

DFM – Divisão de Fiscalização e Metrologia

DFRH – Divisão de Finanças e Recursos Humanos

DIPRE – Dissertação / Projeto / Estágio

DMOT – Divisão de Manutenção, Oficina e Transportes

DOTA – Divisão do Ordenamento do Território e Ambiente

DPOM – Divisão de Projetos e Obras Municipais

E – Módulo de Deformabilidade

GAP – Gabinete de Apoio à Presidência

GMIME – Gabinete Mais Investimento Mais Emprego

GMV – Gabinete de Medicina Veterinária

GTIMAC – Gabinete de Tecnologias de Informação, Modernização Administrativa e Comunicação

IC – Itinerário complementar

IP – Itinerário principal

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

JAE – Junta Autónoma de Estradas

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MACOPAV – Manual de Concepção de Pavimentos

SMPCPF – Serviços Municipais de Proteção Civil e Proteção da Floresta

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 ÂMBITO**

O desenvolvimento sustentável de uma região concentra os seus esforços essencialmente na rede viária, ou seja, infraestruturas em sincronia entre si de forma a explorar ao máximo o potencial de uma região. A Divisão de Projetos e Obras Municipais da Câmara Municipal de Valongo tem a principal responsabilidade neste ramo, para o respetivo Município.

Nesta ótica, os pavimentos rodoviários são peça importante no desenvolvimento da região, pois com o aumento de população, indústria e comércio tem-se a necessidade de evoluir ao nível das redes viárias do concelho e, portanto, com este aumento existe a necessidade de um dimensionamento correto de pavimentos e sua conservação de forma a oferecer a todos os utilizadores conforto, segurança e qualidade de deslocação.

Como cada vez mais tem-se restrições a nível financeiro, cada obra deve ter um estudo específico, com o intuito de minimizar custos e desta forma não sobredimensionar um pavimento, mas também não o subdimensionar.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo primordial deste relatório passa pelo aluno demonstrar os conhecimentos adquiridos durante o seu percurso académico que culminou com a conclusão do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo Infraestruturas, passando para a realidade empresarial, fazendo com que este desenvolva métodos de trabalho de forma a aplicar posteriormente quando solicitado. Neste caso foi elaborado um programa de cálculo automático de pavimentos rodoviários – PAVDim, bem como todos os métodos de cálculo associados ao mesmo.

Como está presente no título o objetivo principal será o estudo e caracterização de pavimentos rodoviários afetos às vias municipais de Valongo em que este foi desenvolvido na DPOM – Divisão de Projetos e Obras Municipais, contribuindo em grande parte para o fornecimento de dados para os estudos realizados pelo aluno. Também desenvolveram-se competências em programas de cálculo de pavimentos

já existentes, bem como no *software* AutoCAD e alguns documentos como condições técnicas e legislações para a execução de obras de forma a serem projetadas corretamente.

### **1.3 METODOLOGIA**

A metodologia utilizada ao longo do estágio ao nível das ferramentas desenvolvidas nesta Divisão de Projetos e Obras Municipais foi essencialmente de potenciar o tempo relativamente a dimensionamentos futuros. Com esta ideia, foi desenvolvido em VBA – *Visual Basic Application* um programa de apoio ao cálculo de pavimentos em que desenvolveu de forma mais eficaz a rapidez e o correto dimensionamento de pavimentos rodoviários.

Com a ajuda da DPOM – Divisão de Projetos e Obras Municipais houve abertura para dimensionar certas obras em que algumas irão ser lançadas a concurso para realização futura. Para que tudo fosse corretamente dimensionado, procedeu-se à pesquisa bibliográfica, bem como outros documentos, normas e condições técnicas presentes na Câmara Municipal de Valongo de forma a sustentar todos os dimensionamentos e análises de pavimentos.

### **1.4 ESTRUTURA**

Este trabalho tem uma estrutura em que se apresenta dividido em 6 capítulos, capítulos estes que contemplam subcapítulos de forma a distribuir equitativamente os temas abordados neste relatório. O relatório segue um perfil tipo de introdução, desenvolvimento e conclusão. A introdução é relativa ao primeiro capítulo. O desenvolvimento abrange o capítulo 2 ao capítulo 5 e finaliza com o capítulo 6, em que este aborda a conclusão. O desenvolvimento segue uma cronologia de forma lógica relativamente ao estágio efetuado. O capítulo 2 diz respeito à empresa onde foi realizado o estágio, e o capítulo 3 tem um contexto teórico ao nível das características e tipos de pavimentos. Os capítulos 4 e 5 têm configuração idêntica mudando somente o tema abordado. Estes dois capítulos inicialmente abordam os temas de patologias e dimensionamento, respetivamente, em que na parte final dos mesmos serão aplicados os conhecimentos retratados inicialmente nestes capítulos. Para finalizar é apresentado o capítulo 6 das conclusões, a bibliografia e os anexos.

Esta estrutura tem como objetivo uma sequência lógica para que o leitor compreenda o tema abordado neste relatório.

## **2 ENQUADRAMENTO GERAL E EMPRESA**

### **2.1 ENQUADRAMENTO**

Uma vez que o estágio é peça importante no desenvolvimento pessoal e profissional do formando, a C.M. Valongo tem uma gama alargada de oportunidades profissionais para aplicar o que foi aprendido durante todo o semestre.

O estágio passou pela integração numa equipa profissional, de forma a oferecer ao aluno um conhecimento vasto sobre o trabalho realizado em benefício do Município.

O estágio focar-se-á no diagnóstico dos projetos de pavimentação e inspeção local do estado dos pavimentos, aferindo se estão corretamente dimensionados. Uma elaboração de metodologia no dimensionamento de pavimentos com carácter Municipal, em que também foi desenvolvido um programa de cálculo automático de pavimentos. Este estágio serve também para analisar situações críticas de pavimentos com patologias singulares e recorrentes. O trabalho na parte da pavimentação acarreta custos muito significativos, daí ser necessário um correto dimensionamento e uma boa manutenção para futuramente evitar intervenções inoportunas.

### **2.2 EMPRESA**

#### **2.2.1 Câmara Municipal de Valongo**

Na figura 2.1 encontra-se o brasão da Câmara Municipal de Valongo. A Câmara Municipal de Valongo é o responsável pela gestão quotidiana e planificação do Município. Este brasão como pode ser observado na seguinte figura é constituído por, segundo a C.M. Valongo,

um escudo de prata, com um molho de cinco espigas de trigo de verde, atadas de ouro e acompanhadas por duas mós de negro, abertas e realçadas de ouro. Em contra-chefe, duas faixetas onçadas de azul. Coroa mural de prata de cinco torres. Listel branco, com a legenda a negro: «Município de Valongo»



Figura 2.1 - Brasão do Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016)

Este brasão é característico da região de Valongo. As espigas de trigo, atadas com um cordão de ouro, simbolizam os cereais para fazer o pão, o biscoito, as bolachas e a regueifa, são muito tradicionais no concelho de Valongo. Por sua vez, as mós pretas simbolizam os moinhos que moíam a farinha para fazer o pão com a força das águas do rio Ferreira, em que este também é representado na figura 2.1. Este Brazão por vezes também é acompanhado de uma bandeira em que esta contempla duas cores: verde e preto. Estas duas cores simbolizam o verde da serra e o preto da ardósia e lousa que é muito abundante no concelho.

### 2.2.2 Organograma

Como está descrito no organograma da figura 2.2, existem vários gabinetes ou divisões, com o intuito de uma melhor atuação por parte da Câmara à população:

- Gabinete de Apoio à Presidência; (GAP)
- Gabinete Mais Investimento Mais Emprego; (GMIME)
- Gabinete de Tecnologias de Informação, Modernização Administrativa e Comunicação; (GTIMAC)
- Serviços Municipais de Proteção Civil e Proteção da Floresta; (SMPCPF)
- Gabinete de Medicina Veterinária; (GMV)
- Divisão de Assuntos Jurídicos e Apoio aos Cidadãos; (DAJAC)
- Divisão de Finanças e Recursos Humanos; (DFRH)
- Divisão de Fiscalização e Metrologia; (DFM)
- Divisão de Educação, Ação Social e Juventude; (DEASD)
- Divisão do Ordenamento do Território e Ambiente; (DOTA)

- Divisão de Projetos e Obras Municipais; (DPOM)
- Divisão de Manutenção, Oficina e Transportes. (DMOT)

A divisão em que o formando foi inserido é a divisão de Projetos e Obras Municipais. Esta divisão está localizada atualmente na freguesia de Ermesinde, mais concretamente na Rua Aldeia dos Lavradores.



Figura 2.2 - Organograma Câmara Municipal de Valongo (C.M. Valongo, 2016)

### 2.2.3 Valores

Cada câmara tem certos objetivos para com os munícipes, e a C.M. Valongo não fica atrás, ou seja, tem certos valores pelos quais se rege para com o Município e as suas pessoas. De seguida será explicitado os vários valores que a C.M. Valongo investe para um bom desempenho governativo (Regulamento da Organização dos Serviços Municipais de Valongo).

- Valorização das pessoas

O que faz modernizar uma região, neste caso o Município de Valongo, será a potencialização da sua população em que, neste caso, o Município aposta na inovação e formação dos munícipes.

- Competitividade territorial

O desenvolvimento de novas políticas de planeamento, ordenamento e gestão do território de forma sustentada e cuidada, faz com que sejam importantes fatores para fixação de empresas que, por sua vez criam mais postos de trabalho. Reabilitação urbana também é um dos objetivos para uma melhoria das condições do Município.

- Sustentabilidade ambiental

A gestão dos recursos públicos como principal objetivo para uma sustentabilidade e uma racionalização dos recursos com o intuito de preservar as gerações futuras, estimulando assim as boas práticas amigas do ambiente em todos os domínios do Município.

## CAPÍTULO 2

### – Qualidade

A modernização dos serviços municipais irá contribuir para uma melhor gestão orientada essencialmente para os munícipes. Os serviços prestados sendo mais simplificados, contribuem, em grande parte para uma simplificação na vida das pessoas e suas famílias.

### – Eficiência

Uma gestão rigorosa e eficiente através do controlo da despesa pública fazendo com que aumente a produtividade dos serviços.

### – Transparência

A prestação de contas é a evidente prova da transparência no município, pois com a gestão aberta poderá ser consultada por qualquer munícipe.

### – Participação do cidadão

O objetivo da Câmara Municipal de Valongo será de interagir o máximo com os munícipes, daí a sua participação nos mais variados temas ser um dos valores deste organismo.

## **2.2.4 Localização do Concelho**

Seguindo a figura 2.3, Valongo é uma cidade portuguesa do Distrito do Porto, da Área Metropolitana do Porto, Região Norte, com cerca de 24 000 habitantes, segundo o Instituto Nacional de Estatística.

É sede de um município com 75,12 km<sup>2</sup> de área e 93 858 habitantes, subdividido em 4 freguesias. O município é limitado a norte pelo município de Santo Tirso, a nordeste por Paços de Ferreira, a leste por Paredes, a sudoeste por Gondomar e a oeste pela Maia.

O concelho foi criado em 1836, por desmembramento do concelho da Maia e após ter sido transferida a Câmara Municipal, que estava em Alfena naquela que é hoje a zona antiga da cidade de Alfena. Localidade muito importante para os Romanos, que aqui estabeleceram minas de extração de ouro. Aqui chegaram muitos escravos trabalhadores, que depois de libertos se misturaram ao povo local. *Vallis Longus* chamava-se esta zona, abrangendo o parque natural de Valongo.

Outros pólos importantes são as cidades de Ermesinde e de Alfena. Desde há séculos acontece aqui (na freguesia de Sobrado), uma importantíssima festa no dia de S. João, a festa dos Bugios ou Bugiadas, onde entram em exibição, em danças singulares, fantásticas máscaras representando mouros e cristãos. Atualmente candidata a Património Cultural da Humanidade (C.M. Valongo).

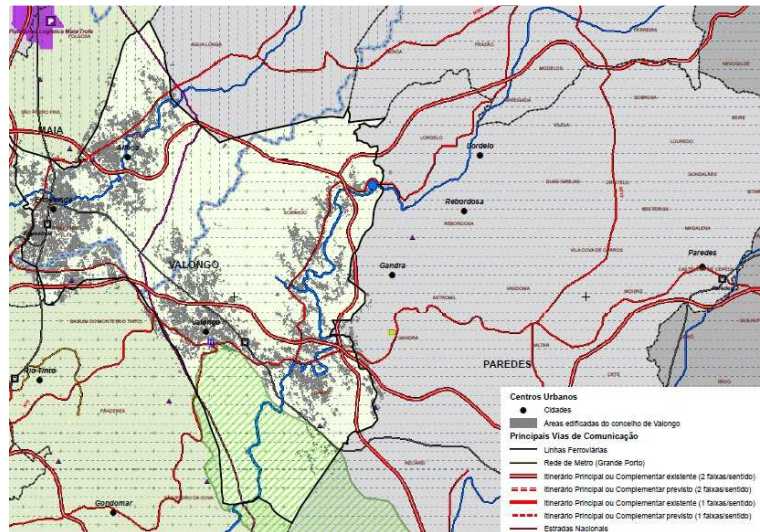


Figura 2.3 – Principais Vias de Comunicação no Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016)

### 2.2.5 Área de Atuação

Como se pode considerar no seguinte mapa da figura 2.4, as freguesias do concelho de Valongo, encontram-se delimitadas por vários concelhos vizinhos. Estas freguesias onde a Câmara Municipal de Valongo vai atuar do ponto de vista socioeconómico são: Ermesinde, Alfena, Valongo e Campo e Sobrado.

Ermesinde é a menor das freguesias do concelho com 7,65 km<sup>2</sup> e tem uma população na ordem dos 38798 habitantes. Por sua vez, Alfena tem cerca de 15,7 km<sup>2</sup> de área e uma população de apenas 15211 habitantes. Campo e Sobrado é uma união de freguesias, que faz com que seja uma das maiores freguesias do concelho, tem 32,27 km<sup>2</sup> de área e uma população de 15969 habitantes. Por sua vez a sede do concelho Valongo, tem cerca de 24,10 km<sup>2</sup> de área e cerca de 23925 habitantes. Estes dados foram recolhidos com data de estudo de 2011 (C.M. Valongo).



Figura 2.4 - Enquadramento do Concelho de Valongo (SERRAS DE SANTA JUSTA, 2016)

### 2.2.6 Rede Viária

Na figura 2.5 apresenta-se um exemplo de um tipo de rede viária. Um dos fatores estruturais mais importantes para uma harmoniosa política de ordenamento do território é, sem dúvida, o modo como se encontra organizada a Rede de Estradas. Uma boa ordenação das Vias de Comunicação leva a que qualquer lugar se encontre “mais perto”, propicia melhor a mobilidade de pessoas, bens e serviços. Existem vários tipos de Infraestruturas, mais concretamente autoestradas, Estradas Nacionais, Estradas Municipais, Caminhos-de-ferro, entre outras. Pode-se ver um exemplo elucidativo na figura seguinte acerca dos diferentes tipos de redes viárias.

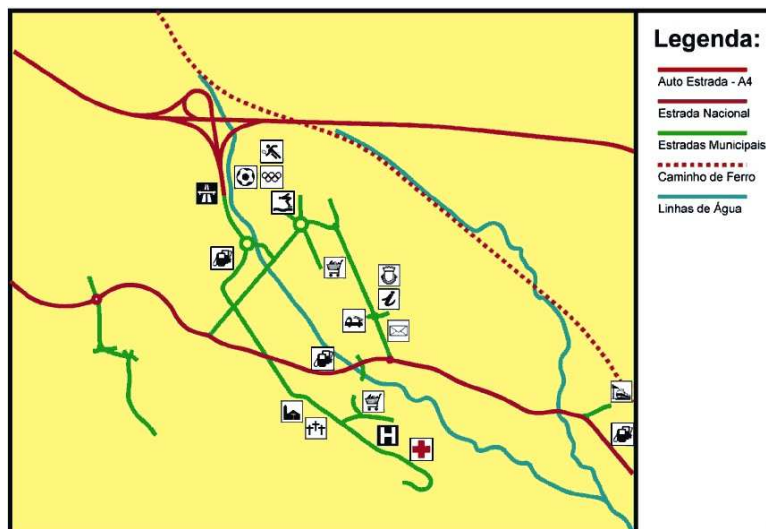


Figura 2.5 - Rede Viária (SERRAS DE SANTA JUSTA, 2016)

### 2.2.7 Marca

Como se pode constatar na figura 2.6, a Câmara Municipal de Valongo tem, como outras entidades, uma marca associada, um logotipo. Tem como objetivo principal a modernização do município atendendo ao desenvolvimento das empresas de prestação de serviços na região. Dotar o município com uma marca, faz com que seja reconhecido pela comunidade como uma marca de confiança.



Figura 2.6 – Marca do Município de Valongo (C.M. Valongo, 2016)

As diferentes marcas cujo Município de Valongo incorpora no seu logotipo tem, em tudo, relação com a riqueza do concelho, em que serão apresentadas de seguida breves descrições dos mesmos, em que será apresentada por ordem sistemática como é apresentado na figura 2.6, a saber, a serra, regueifa e biscoito, lousa, bugio e o mourisqueiro, brinquedo e o património religioso.

A Serra:

Este símbolo tem como objetivo demonstrar a importância do património natural para o concelho. As serras de Santa Justa e Pias são as visadas por este ícone.

Regueifa e biscoito:

Este símbolo representa a indústria da panificação e do biscoito, assim como todas as atividades inerentes.

Lousa:

## CAPÍTULO 2

A Lousa simboliza a indústria de extração e transformação da ardósia, bem como todas as atividades associadas.

Bugio e o mourisqueiro:

Este ícone serve essencialmente para representar as festas, as romarias e as procissões, em que estes fazem parte integrante do património cultural no concelho de Valongo.

Brinquedo:

O brinquedo simboliza a indústria do fabrico do brinquedo do concelho em que são usados diferentes matérias-primas na sua conceção.

Património religioso:

A igreja simboliza o património religioso, sendo uma das vertentes mais divulgadas e grandiosas do património do concelho. As igrejas matrizes, as capelas, as alminhas, os calvários e os cruzeiros são as marcas mais evidentes deixadas no concelho de Valongo.

### **2.2.8 Divisão de Projetos e Obras Municipais – DPOM**

Implementar e concretizar as políticas municipais, atividades e deliberações definidas nas Grandes Opções do Plano para a área de acessibilidades, para a programação e execução de projetos de edifícios e equipamentos municipais. Promover políticas municipais para projetos estruturantes na área da mobilidade. Tendo como chefe da divisão a Eng.<sup>a</sup> Paula Cristina Pereira Marques, esta está encarregue das referidas competências. Nesta divisão existem variados técnicos, desde engenheiro Ambiental, Civil, Eletrotécnico, Desenhadores, Topógrafo, bem como outros técnicos que apoiam esta divisão.

À Divisão de Projetos e Obras Municipais, compete: (C.M. Valongo)

- Elaborar e acompanhar a execução de projetos de arquitetura e promover o seu licenciamento, quando aplicável;
- Elaborar e acompanhar a execução de projetos de especialidades e promover o seu licenciamento, quando aplicável;
- Contribuir para a qualidade dos equipamentos municipais e do espaço público, assegurando a acessibilidade e a mobilidade dos cidadãos e cidadãs;

- A construção, beneficiação e conservação da rede viária municipal;
- A construção, beneficiação e conservação da rede viária florestal;
- O apoio às obras executadas pelas Juntas de Freguesia, no âmbito das suas especialidades;
- Coordenar as funções inerentes à organização dos processos de concurso e adjudicação de empreitadas;
- Acompanhar e fiscalizar a execução de obras públicas e de obras promovidas por privados cujo fim seja a integração no património municipal;
- Proceder à avaliação de imóveis.

A Divisão de Projetos e Obras Municipais é composta pelas seguintes áreas:

- Projetos Municipais;
- Rede Viária;
- Construção de Património;
- Serviços de Apoio Administrativo.



### 3 CARACTERIZAÇÃO TEÓRICA DE PAVIMENTOS

#### 3.1 REFERÊNCIAS HISTÓRICAS

O estudo da história das estradas ou caminhos, como eram designados na altura, remonta à história primordial da humanidade, desde o povoamento dos continentes, conquistas e trocas comerciais. Estes grandes acontecimentos criam umas bases para o estudo mais aprofundado das civilizações antigas, fazendo com que as equipas de arqueólogos consigam explorar com maior rigor e exatidão cada um destes povos e a sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade. É preciso recuar muito no tempo, por volta de 2600 - 2400 a.C., em que no antigo Egito com a sua grande construção de pirâmides houve a necessidade de construir estradas, não com o objetivo principal de circulação de veículos, mas sim de livre circulação do transporte de materiais para realizar grandes obras que fazem parte do património mundial segundo a UNESCO. Sendo assim, os povos egípcios criaram as suas vias que eram constituídas com lajões justapostos que conferem uma boa capacidade de suporte para aquela época. “O atrito era amenizado com humedecimento constante por meio de água, azeite ou musgo molhado” (Introdução à Pavimentação, 2016). Na seguinte figura 3.1, podemos visualizar uma estrada no Egito.



Figura 3.1 – Exemplo de Estrada no Egito (HELDAL, 2016)

BITTENCOURT (1958) ocupou-se de estudar a história das estradas na antiguidade e deparou-se com várias referências históricas de estradas construídas com o principal objetivo de ser apenas itinerários.

Entre estes vários caminhos, destaca-se uma das rotas mais importantes e mais antiga de toda a história: Rota da Seda. Esta rota era muito mais que uma estrada, era uma ponte em que ligava o Oriente e o Ocidente com uma exclusividade na parte de trocas comerciais. Também existiam outros caminhos em determinados locais essencialmente para intentos comerciais ou religiosos, mas o povo que mais modernizou e evoluiu, as estradas, foi o povo romano.

Dando o mote de “Todos os caminhos vão dar a Roma”, pode-se perceber o porquê deste ditado popular ser tão usado e qual o seu propósito. Na data de 400 a.C., os romanos utilizavam essencialmente caminhos de terra batida para se deslocar da capital até às cidades vizinhas. Mais tarde, em 390 a.C., com o ataque Gaulês de Breno deparou-se que o sistema defensivo de Roma era ineficaz, devido muito exclusivamente ao problema de movimentação de tropas, pois estas, devido aos caminhos sinuosos, ficavam lentas e consequentemente eram incapazes de defender a própria cidade. Estes problemas foram estudados por parte da República Romana, e como o objetivo seria a expansão e domínio sobre a Itália, estes pensaram em construir uma rede de estradas que se adaptasse melhor às suas necessidades atuais. Com esta construção, foi possível ao povo Romano uma melhor e mais segura circulação, facilitando assim a movimentação das tropas bem como a livre circulação de mercadorias, bens e os próprios comerciantes. Os romanos que foram dos povos mais importantes da Europa, utilizavam caminhos de terra batida para se deslocarem da sua capital às cidades vizinhas, e a sua necessidade de expansão aliado a um grande interesse militar e por conseguinte conquista por parte do povo Romano, levou a República Romana a construir uma rede viária.

A primeira via foi criada em 312 a.C., por Ápio Cláudio Cego, para unir Roma e a cidade de Cápua: mais conhecida como Via Ápia, também conhecida como “*Regina Viarum* – a rainha das estradas”. Na seguinte figura 3.2 pode-se ter uma percepção mais exata como seria a configuração da Via.

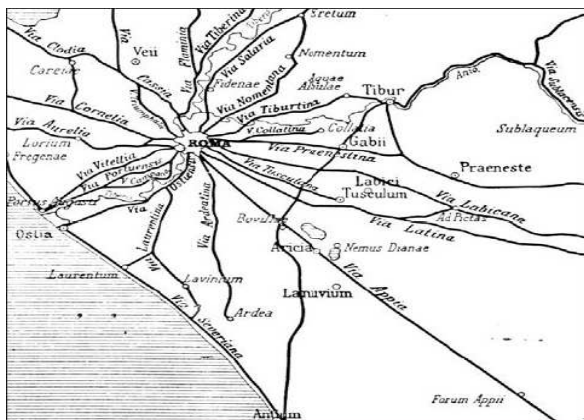


Figura 3.2 – Via Ápia (O Início da Construção de Estradas, 2016)

Segundo Gallo (2006), “Estácio queria na verdade referir-se à pavimentação clássica da estrada romana, mais conhecida pelos exemplos famosos de Roma e Pompéia que consiste em pedras talhadas geralmente em forma poligonal, justapostas e bem fixas ao estrato da estrada”.

Esta construção durou bastante tempo, cerca de 120 anos e em certas zonas chega a ter 10 m de largura, mas apresenta uma largura média de 4,1 m. Mais tarde pode-se observar que parte da península italiana estava muito bem servida ao nível de grandes estradas, cada uma devidamente identificada com o nome do seu criador. Todas elas não se encontravam pavimentadas, tirando como é óbvio no centro das cidades e a Via Ápia que foi progressivamente lajeada no seu percurso.

Toda esta expansão permitiu um aumento muito significativo ao nível do comércio em toda a região, mas não foi o seu objetivo primordial. Inicialmente esta expansão teve como finalidade manter o controlo sobre zonas conquistadas e com interesses políticos.



a) Exemplo das Vias em Roma (PONTE, 2010)



b) Exemplo mais pormenorizado das Vias em Roma (*Map of the environs of Rome*)

Figura 3.3 – Dois exemplos de Vias em Roma

O que fez com que os romanos se distinguissem das outras civilizações do mediterrâneo foi essencialmente o desenvolvimento não só dos portos, mas também das vias que faziam o intercâmbio entre o litoral (costa) e o interior. Estas facilidades de deslocamentos do povo romano teve muitas vantagens, mas também deve-se compreender que na altura com este sistema de vias modernizado, não seria só vantagens como também teria desvantagens ao nível das invasões dos seus inimigos. Não se sabe ao certo quais as origens dos métodos aprendidos pelos romanos para a construção destas estradas, os historiadores dividem-se quanto à aprendizagem, mas seguindo uma lógica de técnicas os romanos

usavam métodos de outros povos, a saber, os cartagineses, fenícios e egípcios. As estradas eram projetadas em seções retas e planas, evitando obstáculos que fariam com que o povo romano não tivesse meios para proceder à sua rápida execução. Sendo assim as colinas, pântanos e todas as zonas de difícil execução de uma estrada seriam evitados. Então nas zonas de melhor aptidão para a construção de estradas, eram escavadas a partir de um leito com largura que permitisse o cruzamento de dois veículos. Explicitando agora os métodos de construção das estradas e seguindo a Lei das XII Tábuas datada de 450 a.C. estava na sua tábua oitava, a especificar que “O caminho em reta tenha oito pés de largura e o em curva tenha dezasseis” (LEI DAS XII TÁBUAS). Na sua conceção era colocada uma camada de pedras grandes, com a espessura de 30 a 60 cm que era vulgarmente conhecida como *statumen* sendo esta a zona mais importante da obra, pois seria ela o alicerce de toda a via que se iria construir. Sobre a *statumen* era colocado areia e gravilha até obter uma camada de 20 cm sensivelmente, também conhecida por *rudus* e por sua vez em cima desta uma nova camada de igual espessura denominada de *nucleus*, em que tinha na sua constituição pedra triturada misturada com cal. A camada final também denominada de *sumus crustae* ou *stratum* era constituída por lajes talhadas e ajustadas, dependendo da zona em questão a pedra seria de granito ou basalto. No final ter-se-ia um pavimento uniforme e liso, com bermas bem delineadas e com um acabamento de excelência para a época em questão. Um pormenor para saber de onde a palavra estrada derivou foi da *stratae*. Na seguinte figura 3.4 encontra-se descrito as várias camadas de uma estrada tipo romana (THE ROMAN ROADS).

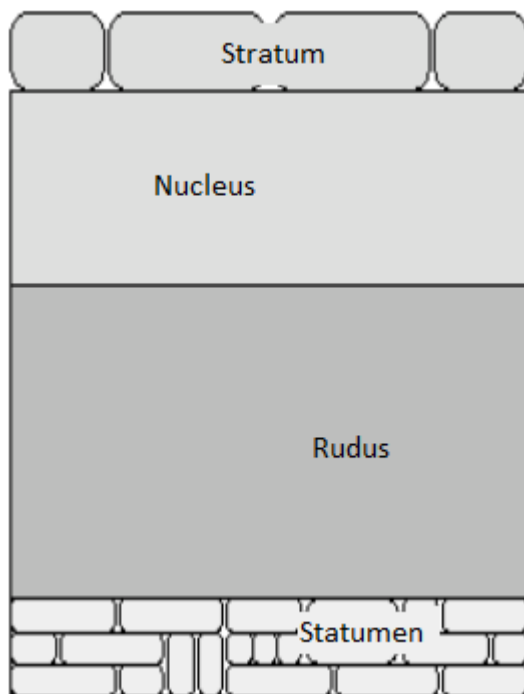


Figura 3.4 – Esquema estrutural das camadas das estradas romanas (ANDRADE, 2016)

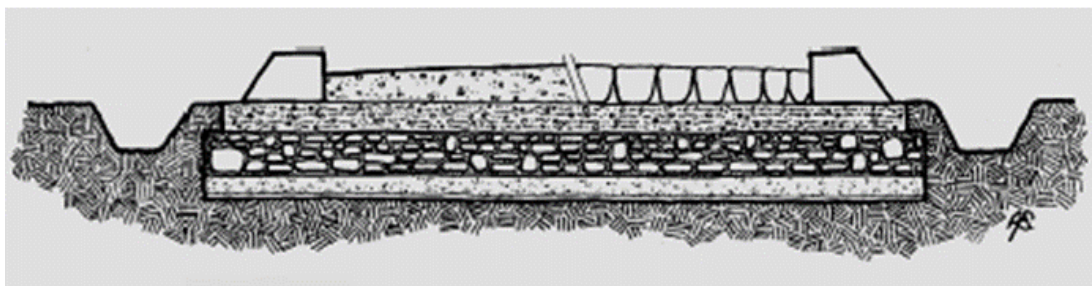


Figura 3.5 – Corte transversal de uma estrada tipo romana (KAEFER, 1998)

Como se pode ver na anterior figura, o pavimento era ligeiramente mais alto na zona central para permitir a drenagem das águas pluviais para as respetivas valetas e conseqüentemente para locais em que não interferisse com a via pública. Também a sua vegetação era limpa, sensivelmente dois a três metros dos seus muretes laterais em declive e com drenagem que concebia alguma segurança e estabilidade à obra. Os muretes eram concebidos com o propósito de identificar o limite lateral da via e também serviam de passeio para os peões. Estas obras eram acompanhadas por um diretor *curator viarium* Administrador das Grandes Estradas, (LAY, 1992: p. 53-55) que transmitia ao engenheiro *architectus* a sua correta execução. Por sua vez, o engenheiro tinha sob o seu comando um agrimensor e um nivelador (topógrafo) com o objetivo de traçar as estradas o mais retilíneas e planas possíveis. Os romanos, como povo inteligente que eram, tiveram várias ideias que permitiam uma melhor identificação e localização dos locais das obras de estradas em questão. Para isso colocavam ao longo das vias marcos miliários (do latim: *miliarium*, a partir de *milia passuum*, "mil passos") que tinham como objetivo marcar a distância percorrida de 1000 pés (sensivelmente 1478 metros). Os marcos eram colunas de pedra com tamanho e formas variáveis, cilíndricos e com base retangular como se pode verificar na figura 3.6. Na sua base estava representado o número da milha relativa à via em questão e na zona mais superior, parte cilíndrica, tinha um variado tipo de informação, a saber, o nome do imperador que deu ordem para fazer a estrada, data de início da sua construção, nome dos construtores, distâncias entre a sua localização e as cidades ou regiões mais próximas entre outras informações.



Figura 3.6 – Exemplo de um Marco miliário (GALLO, 2006)

Outrora as vias romanas tinham várias ênfases ao nível da sua importância e conseqüentemente teriam uma diferente classificação. As vias públicas *viae publicae* seriam as mais importantes do Império romano pois elas uniam as mais importantes cidades, também conhecidas como vias pretorianas *viae praetoriae*, vias militares *viae militar* ou vias consulares *viae consular*. Quase todas estas vias tinham o nome da pessoa que iniciou a sua construção como anteriormente foi falado nos Marcos. Também existiam vias mais secundárias *viae vicinales* que eram ramificações das vias públicas em que estas são as que fazem parte em maior número do sistema viário do povo romano. Por final existiam as denominadas vias privadas *viae privatae* que faziam a ligação entre as principais propriedades. Estas estradas podiam ser caracterizadas de públicas ou privadas dependendo, claro está da sua construção ser realizada com fundos públicos ou privados. As estradas privadas tornavam-se públicas quando o seu dono falecia. Todas estas infraestruturas enriquecem o já vasto património arqueológico, mostrando uma vez mais o poderio da civilização romana e a sua grandiosidade ao nível do povoamento na Europa ocidental. Em Portugal, existe uma diversidade de tipos de terreno em que pode-se encontrar zonas montanhosas, mais na zona norte e centro do país, ou zonas de planície em que se encontram mais a sul do país. Na seguinte figura 3.7 é perceptível com maior facilidade a diferença do tipo de terreno no norte e sul de Portugal (MARÉ, 2011).



a) Tipo de terreno na zona norte

b) Tipo de terreno na zona sul

Figura 3.7 – Dois tipos de terrenos em Portugal

Como é do conhecimento geral, Portugal tem uma riqueza a nível de material rochoso. Esta vantagem foi usada anteriormente pelos Romanos na construção de calçadas *glareae stratae*, em que estas estão predominantemente na região norte Portugal. Devido ao relevo do país, em que a zona norte e centro contempla um desnível muito mais acentuado, houve a necessidade de uma maior construção de obras de arte. Existem um pouco por toda a parte do país este tipo de obras, em que muitas delas já foram reconstruídas devido a serem derrubadas pelas condições climatéricas.

### 3.1.1 Atualidade em Portugal

Em Portugal a rede rodoviária Nacional, atualmente tem uma extensão de cerca de 17874 Km (INFRAESTRURAS DE PORTUGAL, 2016). Segundo o PRN 2000, Plano Rodoviário Nacional 2000, existem dois níveis distintos de hierarquia ao nível da estrutura da Rede Nacional.

- Rede Nacional Fundamental, em que é constituída por itinerários principais (IP) que têm como objetivo a ligação entre centros urbanos de influência supradistrital e destes como os principais portos, aeroportos e fronteiras;
- Rede Nacional Complementar, em que é constituída pelos itinerários complementares (IC) e pelas estradas nacionais (EN), que garantem a ligação entre os centros urbanos de influência concelhia ou supraconcelhia mas infradistrital.

A rede fundamental, constituída por nove IPs, encontram-se concluídos (IMT, 2013):

- IP1 (Valença – Castro Marim);

### CAPÍTULO 3

- IP3 (Vila Verde de Raia – Figueira da Foz);
- IP4 (Porto – Bragança);
- IP5 (Aveiro – Vilar Formoso);
- IP6 (Peniche – Castelo Branco);
- IP7 (Lisboa – Caia);
- IP9 (Viana do Castelo – Vila Real).

Dos trinta e sete ICs previstos no PRN 2000, estão também construídos os seguintes:

- IC14 (Apúlia – Braga);
- IC15 (Lisboa – Cascais);
- IC17 (CRIL);
- IC18 (CREL);
- IC19 (Radial de Sintra);
- IC20 (Via Rápida da Caparica);
- IC21 (Via Rápida do Barreiro);
- IC22 (Radial de Odivelas);
- IC23 (CRIP);
- IC25 (Alfena – Lousada);
- IC29 (Porto – Aguiar de Sousa);
- IC30 (Alcabideche – Ranholas).

Com estes dados fornecidos no (Relatório de Monitorização da Rede Rodoviária Nacional, 2013) pode-se concluir que a construção dos IPs tem sido praticamente dupla relativamente à construção dos ICs, o que vem de encontro com estudos realizados em conjunto com o PRN 2000. Na seguinte figura 3.8 apresenta-se o mapa da rede rodoviária nacional.

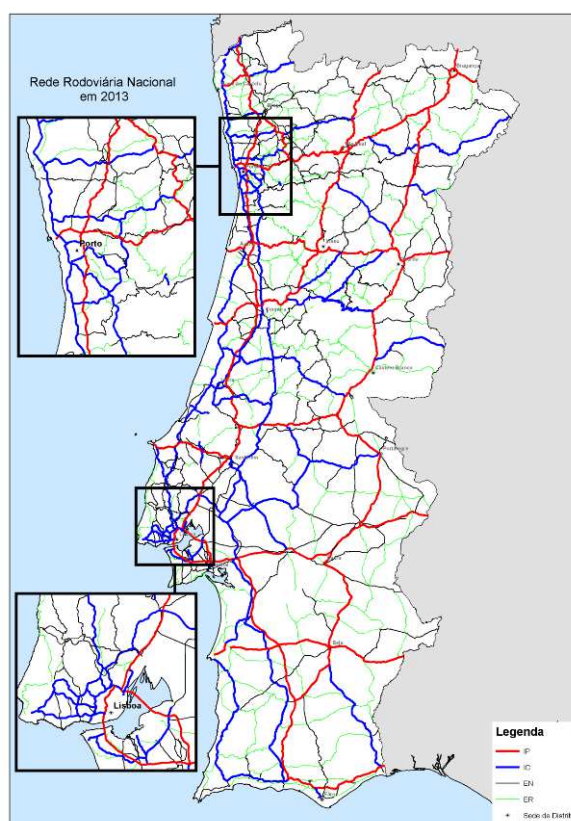


Figura 3.8 – Mapa Rede Rodoviária Nacional (IMT, 2013)

## 3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

A principal função de um pavimento rodoviário é ter uma superfície de deslocamento fluída, isto é, sem empenamentos e pronta a permitir a livre circulação de veículos em determinadas condições de conforto, segurança e economia. Segundo a definição que se encontra no Vocabulário de estradas e aeródromos (1962, p. 65),

“um pavimento é a parte da estrada, rua, ou pista, que suporta directamente o tráfego e transmite as respectivas solicitações à infra-estrutura: terreno, obras de arte, etc. Pode ser constituído por uma ou mais camadas tendo, no caso geral, uma camada de desgaste e camadas de fundação. Cada uma destas camadas pode ser composta e constituída por camadas elementares.”

Os pavimentos rodoviários são classificados em três tipos, em função da sua deformabilidade e dos materiais constituintes dos mesmos: pavimentos flexíveis, pavimentos rígidos e pavimentos semirrígidos. A escolha de cada um destes tipos de pavimentos é essencialmente devido à intensidade do tráfego, da qualidade de resistência do solo de fundação, bem como, da qualidade dos materiais disponíveis na zona em que vai ser feita a obra. Relativamente aos pavimentos flexíveis, estes têm camadas ligadas que são constituídas por material betuminoso que conferem uma relativa deformabilidade ao pavimento. Existem várias camadas, nomeadamente camadas superiores que são constituídas por betume em que se encontra a camada de desgaste, camada de regularização e, por vezes, camada de base. Estas camadas por serem ligadas, contribuem para uma resistência à tensão. Por sua vez, as camadas inferiores que são constituídas por material granular e solo, fazem com que o pavimento resista às tensões de compressão. Generalizando, associam-se os pavimentos flexíveis às misturas betuminosas, os semirrígidos à mistura dos dois, em que as camadas mais superficiais são misturas de betume enquanto as intermédias em betão hidráulico e os pavimentos rígidos em camadas de betão hidráulico.

### 3.2.1 Pavimento Flexível

Como se pode observar pela seguinte figura 3.9, a constituição de um pavimento flexível em que este pode ser muito diversificado. O principal objetivo é que as camadas superiores (desgaste, regularização e base) sejam com betume e as camadas entre estas e o leito do pavimento sejam em materiais granulares (ABGE). No seu dimensionamento é imperativo conhecer o tráfego presente e futuro, embora, o tráfego futuro não seja fácil de prever, por isso faz-se uma estimativa a nível de desenvolvimento de cada região. Também as condições climáticas e de fundação são também dados muito importantes no correto dimensionamento dos pavimentos.

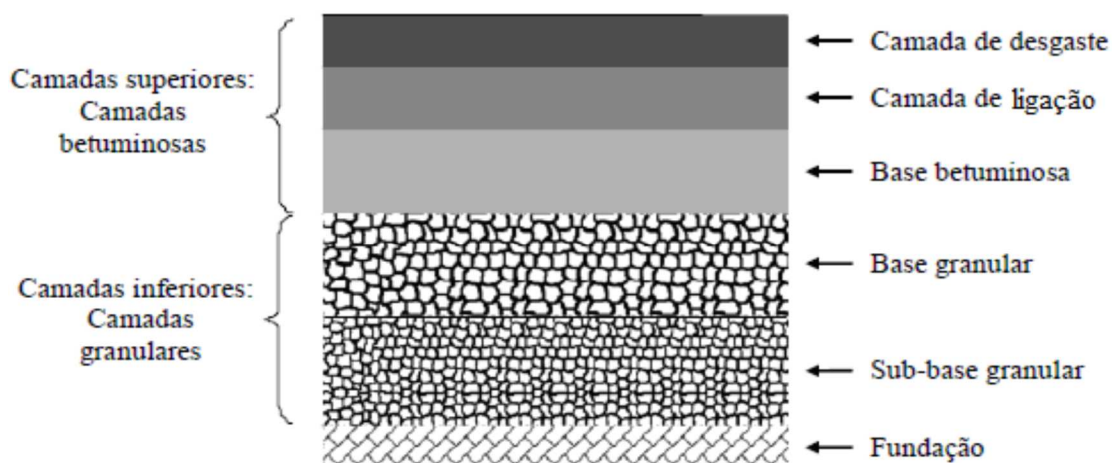


Figura 3.9 – Exemplo de várias camadas em um pavimento flexível (LOPES, 2009)

### 3.2.1.1 Camadas

Segundo Branco (2006), Camada de desgaste: camada superior do pavimento em que esta deve apresentar uma superfície lisa, regular, não derrapante e que resista ao desgaste provocado pelo tráfego contínuo, aferindo condições de conforto e segurança ideais para os utilizadores. Esta camada está sujeita a efeitos agressivos ao nível do tráfego e clima, por isso deverá ter-se em conta no seu dimensionamento estas características. A mistura betuminosa desta camada deve ser constituída por uma mistura de agregados e betume.

Camada de regularização ou de ligação: esta camada esta adjacente à camada de desgaste, ou seja, vai receber as cargas provenientes do tráfego e transmitidas pela camada adjacente (desgaste), também faz com que as tensões sejam uniformizadas e por conseguinte transmite-as para a camada de base. O objetivo desta camada é regularizar a superfície e conceder um aumento substancial de resistência estrutural. Esta camada é normalmente constituída por betão betuminoso.

Camada de base: se existe uma camada mais importante, esta seria a mais importante deste tipo de pavimento. A sua principal função é receber as cargas transmitidas pelas camadas adjacentes (regularização), uniformizar as tensões e transmitir para a camada de sub-base. Também pode-se designar como o “ pilar ” de toda a estrutura betuminosa, pois qualquer mínima falha existente no dimensionamento e execução desta camada pode colocar em risco toda a construção da estrada. O seu objetivo passa por absorver e deteriorar as cargas até à sua fundação. Esta camada é constituída essencialmente por betão betuminoso.

Camada de sub-base: para reduzir a camada de base acrescenta-se uma camada designada de sub-base. Esta camada é bastante diferente da camada anterior (base), acrescentando assim a drenagem de possíveis infiltrações que poderão aparecer nas camadas superiores e impedir a subida das águas evitando assim que estas atinjam as camadas “ nobres ” do pavimento, sendo constituída por ABGE.

Leito de pavimento: esta camada tem como objetivo principal impedir a deformação do solo e uniformizar as características mecânicas da fundação. Esta camada é constituída por ABGE ou por solos selecionados com determinados parâmetros geotécnicos.

Um pavimento denominado flexível quer dizer que este pavimento flete devido às cargas do tráfego, voltando depois à sua posição inicial. Uma estrutura de pavimento flexível, como já foi referenciado anteriormente, é composta normalmente por várias camadas de materiais que aferem uma flexão da estrutura.

Pode-se observar nas seguintes figuras 3.10 e 3.11, o diagrama de tensões existentes na estrutura, quando esta é solicitada pelos rodados dos veículos.

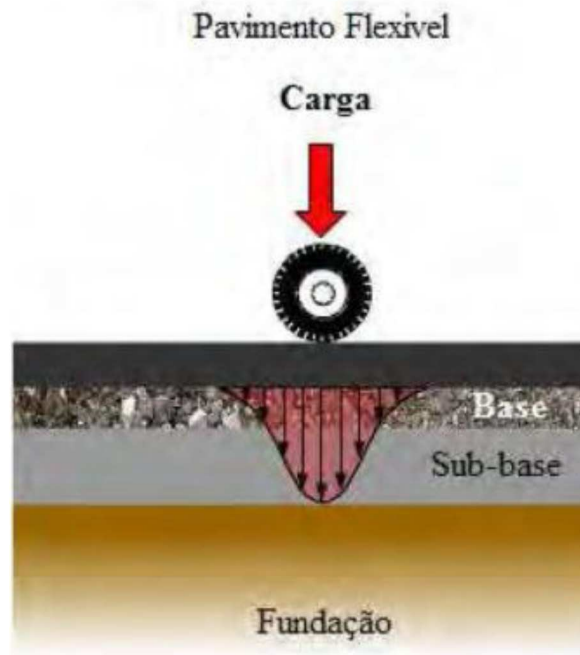


Figura 3.10 – Exemplo de tensões atuantes na estrutura, pavimento flexível (INTERACTIVE, 2008)

Esta figura 3.11 é muito completa de forma a perceber como as tensões são degradadas pelas diferentes camadas do pavimento e, como estas cargas/tensões podem deformar uma certa camada. Como é possível observar, a camada de desgaste será a camada mais exposta às cargas, diminuindo de intensidade à medida que aumenta a profundidade.



Figura 3.11 – Exemplo elucidativo das degradações de tensões nas várias camadas do pavimento (INTERACTIVE, 2008)

### 3.2.1.2 Ligação entre Camadas

Como é do conhecimento geral, o atrito entre duas camadas pode ser aumentado se for aplicado um ligante, e é com esta finalidade que quando se está a pavimentar as boas regras dizem para aplicar uma “colagem” entre as camadas. Do ponto de vista funcional, duas camadas não ligadas, o estado de tensões é elevado entre elas, em que este pode ser reduzido em muito devido a esta rega de colagem. A rega de colagem tem como objetivo conceber com que as duas camadas ligadas trabalhem como uma só. A ligação entre as duas camadas é geralmente realizada com recurso a emulsões betuminosas. Emulsão betuminosa como está descrito no (InIR, IP),

emulsão em que a fase dispersa é um betume ou um ligante betuminoso. Quando não indicado, assume-se que a fase contínua é água ou uma solução aquosa. Este termo abrange as emulsões em que a fase dispersa contém uma pequena quantidade relativamente volátil de fluxante ou fluidificante.

Para fins rodoviários são utilizados dois tipos de emulsões betuminosas, as catiónicas e as aniónicas. Normalmente, para efeitos de pavimentação, as utilizadas são as catiónicas, que sendo mais recentes e com rotura mais rápida que as aniónicas, apresentam boa adesividade a todos os tipos de inertes com tempo seco ou húmido. Já as aniónicas, apenas são aplicáveis em tempo seco e com inertes de calcário. Existe outro tipo de regas, nomeadamente as regas de impregnação. As regas de impregnação são usadas para “ligar” a mistura granular com a mistura betuminosa, por sua vez as regas de colagem têm a finalidade de “ligar” as misturas betuminosas.

Em Portugal, usa-se E para emulsão, A ou C para aniónica ou catiónica, R, M e L para rotura rápida, média e lenta, respetivamente (LNEC, 1984).

As mais usadas na pavimentação são as emulsões betuminosas aniónicas e catiónicas. Uma emulsão betuminosa aniónica é uma emulsão em que o emulsionante confere cargas negativas às gotículas dispersas de betume, por sua vez a emulsão betuminosa catiónica confere cargas positivas às gotículas dispersas de betume. As suas percentagens de massa do betume variam entre 55 e 65% e pode ser de rotura rápida, média ou lenta. Na seguinte figura 3.12 pode-se observar a aplicação de uma rega de colagem.



Figura 3.12 – Exemplo de uma rega de colagem (GALPENERGIA, 2016)

### 3.2.1.3 Misturas Betuminosas

As misturas betuminosas mais usadas atualmente são apresentadas de seguida, (BATISTA, 2004).

- Misturas betuminosas a quente (mais convencionais), onde o ligante betuminoso utilizado é o betume puro, que precisa de ser aquecido para obter a consistência apropriada para o fabrico da mistura;
- Misturas betuminosas de alto módulo, onde se utiliza como ligante betuminoso o betume puro, que tem que ser aquecido a temperaturas superiores ao anterior, uma vez que é mais duro, e de onde resultam módulos de deformabilidade maiores;
- Misturas com betumes modificados com polímeros, utilizadas com o objetivo de responder às novas exigências dos pavimentos rodoviários, essencialmente na camada de desgaste;
- Misturas betuminosas com borracha, que proporcionam uma melhor resistência à fadiga e à propagação de fissuras;
- Misturas betuminosas a frio, onde o ligante utilizado no fabrico da mistura é uma emulsão betuminosa. As vantagens desta técnica resultam do facto de não ser necessário o aquecimento do ligante betuminoso e dos agregados para o fabrico e aplicação em obra.

### 3.2.2 Pavimentos Rígidos

Neste tipo de pavimentos, as funções a nível estrutural são essencialmente garantidas por uma laje em betão de cimento com elevada resistência à flexão. A laje de betão adota uma função de camada de desgaste e base, concomitantemente. As camadas que fazem parte da sua constituição são basicamente uma laje em betão hidráulico assente imediatamente numa fundação granular, normalmente tratada com cimento para aumentar a sua resistência. Como estes pavimentos são em betão, têm um aumento significativo da resistência à flexão, que fazem com que não sofra deformações muito acentuadas. Esta camada deve garantir a impermeabilização do pavimento, tanto da laje como das juntas, estas últimas devem ser seladas com material próprio para esse efeito.

Esta laje de betão tem como objetivo absorver as cargas processadas no pavimento e as degrada numa grande área. Fazendo uma analogia aos pavimentos flexíveis, este tipo de pavimento rígido, a fundação não desempenha um papel tão preponderante como nos pavimentos flexíveis.

A camada de sub-base é elaborada com a junção de material granular e um ligante hidráulico (betão pobre, solo-cimento) de forma a proporcionar uma boa resistência a solicitações de tráfego de pesados. Esta também tem como objetivo auferir uma superfície livre, estável e uniforme à camada superior, com capacidade de resistir à erosão ao longo da vida útil do pavimento.

A sua fundação deve conter material homogéneo, não sensível a água.

Quando a camada apresenta uma reduzida capacidade de carga e diferenças ao nível de características mecânicas e físicas, deve ser incorporado um leito de pavimento com solo melhorado.

Outra das grandes vantagens em relação aos pavimentos flexíveis é a sua durabilidade. Embora que a nível financeiro um pavimento rígido é normalmente mais dispendioso, este analisando a relação custo/durabilidade deve ser o mais credível, dependendo da natureza da obra como é de se esperar (JIMÉNEZ, 2010).

O desconforto na condução, a manutenção e a construção das juntas são algumas das desvantagens comparando os pavimentos rígidos com os pavimentos flexíveis.

Na seguinte figura 3.13, vem exemplificado as diferentes camadas que um pavimento rígido apresenta.

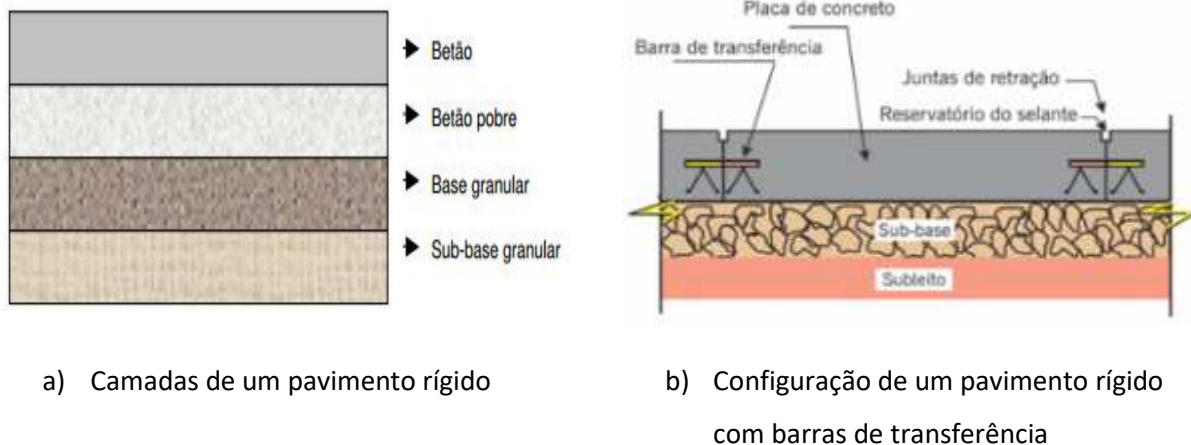


Figura 3.13 – Diferentes camadas de um pavimento rígido (BIANCHI, 2008)

### 3.2.2.1 Características dos Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos têm certas características que os distinguem dos restantes, portanto estes devem ter cuidados na sua construção e sobretudo nos seus métodos construtivos. O período de vida útil de um pavimento rígido é de 30 anos. Este deve respeitar os seguintes pontos.

- Fundação não sensível à água;
- Ligante hidráulico (cimento);
- Construção de juntas de retração/construção;
- Cuidados especiais de realização e manutenção;
- Análise cuidada dos bordos ou cantos de lajes;
- Cuidados com a rugosidade;
- Cor clara (melhora visibilidade noturna).

Os pavimentos rígidos podem ser de vários tipos, pavimentos em betão não armado, pavimentos em betão armado, pavimentos em betão armado contínuo (BAC), pavimento em betão armado pré-esforçado, pavimentos com elementos pré-fabricados e pavimentos em betão com fibras.

Todos estes tipos de pavimentos têm uma questão essencial: as juntas, o ponto mais sensível neste tipo de pavimento.

Os pavimentos rígidos necessitam de juntas para controlar as tensões adicionais incrementadas pelos veículos que percorrem estas vias, por isso as dimensões das lajes são limitadas. Este processo de limitar

as dimensões das lajes do pavimento consiste na construção de juntas dimensionadas e corretamente projetadas segundo a direção longitudinal à estrada, perpendicular ou ainda mesmo na direção oblíqua.

Neste tipo de pavimentos tem-se três tipos de juntas distintos, as juntas de articulação ou retração, juntas de contração e as juntas de dilatação.

As juntas de articulação são realizadas com o objetivo primordial de permitir um momento angular relativo nos extremos das placas que faz com que a propagação de momentos seja impedida.

“Este tipo de juntas tem especial interesse no caso de pavimentos espessados porque permitem que se mantenham através delas a redução de espessura determinada para o interior das placas, dispensando o espessamento dos bordos que de outra forma seria necessário.” (RODRIGUES, 2011).

Na seguinte figura 3.14 encontra-se um exemplo elucidativo de uma junta de articulação.

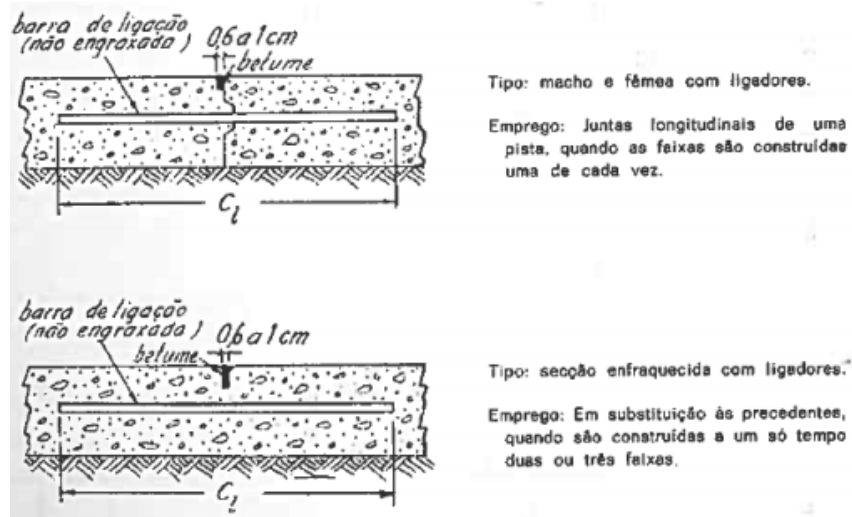


Figura 3.14– Juntas de articulação (RODRIGUES, 2011)

As juntas de contração “permitem, mais que as de articulação, o afastamento das placas, com o fim de evitar ou localizar as fissuras que poderiam surgir, devidas quer às variações uniformes de volume das placas quer ao empenamento” (RODRIGUES, 2011).

As juntas de contração têm como objetivo principal localizar eventuais fissuras do betão, caso exista o aparecimento de tensões mais elevadas numa zona mais enfraquecida. Na seguinte figura 3.15 é ilustrado um exemplo de uma junta de contração.

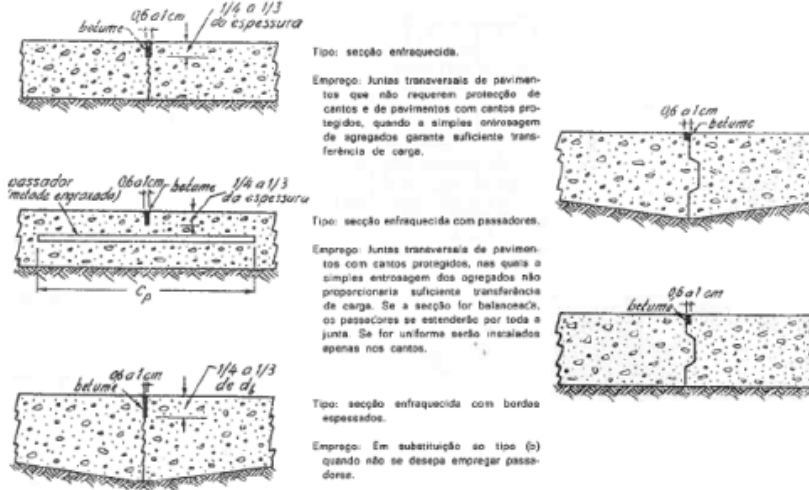


Figura 3.15 – Juntas de contração (RODRIGUES, 2011)

Por sua vez as juntas de dilatação ou de construção permitem que os extremos das placas de betão aproximem-se quando existe uma variação de volume. É usado muitas vezes em pontes, viadutos e curvas de raio reduzido. A principal diferença deste tipo de junta em relação aos anteriores é que estas são executadas desde a superfície até à base, com o intuito de controlar as tensões para que estas não sejam prejudiciais para o pavimento rígido. O atrito do pavimento com o solo de fundação ou outra camada adjacente ao pavimento provoca tensões de compressão simples, em que estas aumentam diretamente com a extensão do troço do pavimento. Ao nível de construção, estas juntas devem ser realizadas na direção perpendicular ao eixo da estrada e podem ter entre 1,5 a 2 cm de largura. Na próxima figura 3.16, tem-se um exemplo de uma junta de dilatação.

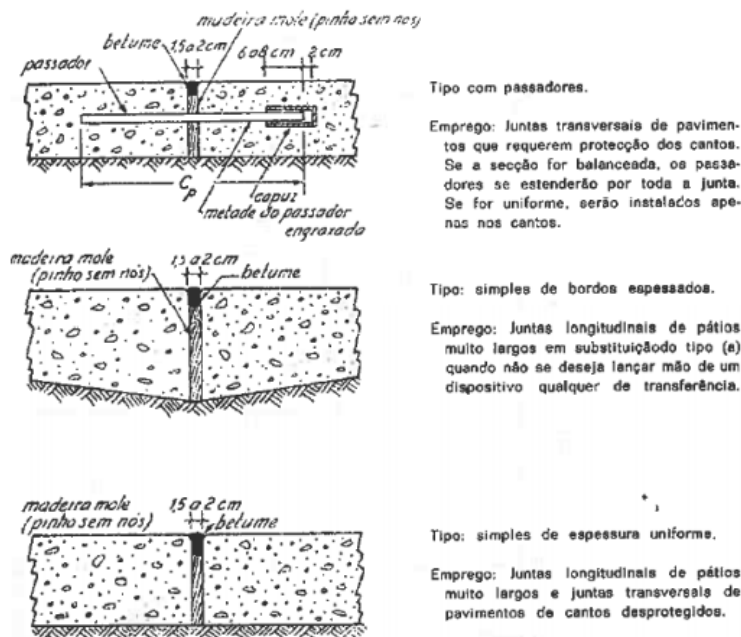


Figura 3.16 – Junta de dilatação (RODRIGUES, 2011)

### 3.2.2.2 Betão com Juntas

Como se pode observar na seguinte figura 3.17, este tipo de solução como contém lajes de betão simples sem armadura é imperativo que a qualidade de betão seja de uma maior qualidade a fim de contrariar os esforços instalados na estrutura. Para obter um betão de maior resistência ter-se-á de aumentar a quantidade de cimento a empregar na estrutura o que vai fazer com que a estrutura seja mais vulnerável aos efeitos de retração do betão e um pouco mais dispendiosa. Também como este tipo de estrutura apresentam uma elevada área de exposição ao ar do meio ambiente, o betão a empregar dever ser de elevada qualidade de forma a contrariar ao máximo os fenómenos de retração. A razão entre água e cimento (A/C) deve ser menor que 0,5, e este sim é um fator muito importante na construção de pavimentos deste género.

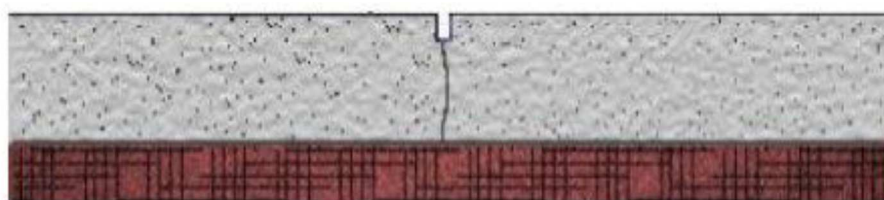


Figura 3.17 – Laje de betão simples (OLIVEIRA, 2000)

### 3.2.2.3 Betão com Juntas e Passadores

Na seguinte figura 3.18, podemos fazer analogia com o tipo de pavimento anterior, incrementado os passadores ou varões de aço. Estes passadores ou varões de aço têm a importante função de transmitir os esforços entre as lajes, e o seu dimensionamento (diâmetro, comprimento e espaçamento) é variável, dependendo das condições e exigências da obra em questão.

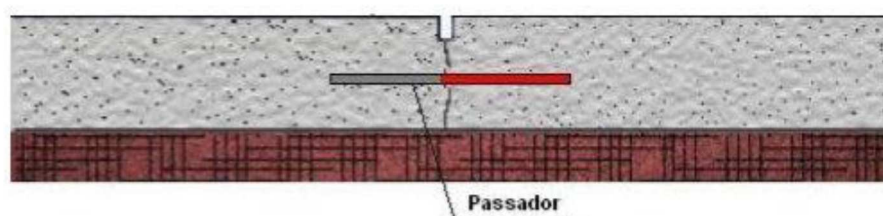


Figura 3.18 – Laje de betão com passador (OLIVEIRA, 2000)

### 3.2.2.4 Betão Armado com Juntas

Na figura 3.19 pode-se encontrar outro tipo de pavimento, este com uma armadura, normalmente em malhasol pois esta tem a vantagem de ser pré-fabricada, o que faz com que a sua montagem e colocação seja muito simples. Esta malha tem como principal objetivo controlar a fendilhação e deformações originadas, por exemplo, a variações de temperatura, empenamento, entre outras. Também a sua inclusão no dimensionamento proporciona uma maior distancia entre as juntas, podendo estas obter espaçamentos na ordem dos 10 a 15 metros. A quantidade de armadura a introduzir é de cerca de 1%. A transferência das cargas através das juntas é garantida pelos passadores ou varões de aço, que fazem a “ponte” entre as diferentes placas de betão armado de forma a controlar a fissuração à superfície.

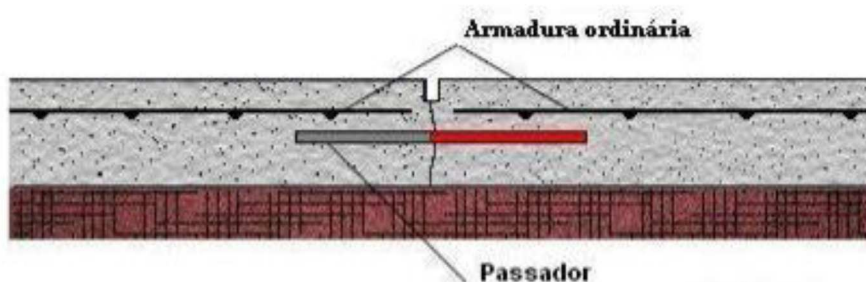


Figura 3.19 – Laje de betão armado com passador (OLIVEIRA, 2000)

### 3.2.2.5 Betão Armado Contínuo

Na próxima figura 3.20 pretende-se exemplificar um tipo de estrutura de pavimentos, o pavimento em betão armado contínuo (BAC) em que este caracteriza-se por uma armadura distribuída em todo o seu desenvolvimento sendo assim eliminadas as juntas, exceto as juntas de construção que são obtidas pelo faseamento da obra. O objetivo, uma vez mais, é controlar o aparecimento de fendas. A existência ou não de juntas longitudinais depende essencialmente do processo de construção adotado para a obra. O fendilhamento no betão deve ser controlado de forma minuciosa para que não origine fendas muito grandes, fazendo com que a água se infiltre. A infiltração pode ocorrer em muitas zonas não só nas fendas, mas também pelas juntas, quando estas não são devidamente seladas.

Deste modo, para impedir estas situações na estrutura do pavimento, pode-se adicionar na camada de desgaste do betão um suplemento ou aditivo à base de fibras ou líquidos que tem como principal objetivo o impedimento de aberturas de fendas, bem como a sua difusão. Uma estrutura com este tipo de revestimento, apresenta maior capacidade de se deformar e absorver os esforços, por conseguinte, as espessuras das lajes são diminuídas e mostra-se mais próprio para pavimentos que apresentem maior tráfego, como é o caso da Via do Infante D. Henrique, no Algarve (A22).

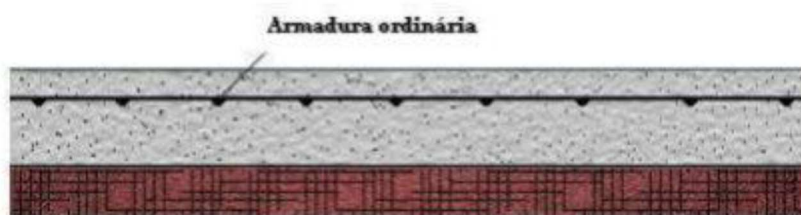


Figura 3.20 – Laje de BAC com armadura (OLIVEIRA, 2000)

### 3.2.3 Pavimento Semirrígido

Como se pode ver na seguinte figura 3.21, este tipo de pavimentos é uma junção de duas tipologias de pavimento, uma base rígida e as camadas superiores do tipo flexível. O pavimento semirrígido com a combinação de estes dois tipos de pavimentos faz com que o seu módulo de elasticidade aumente, devido à sua base ser tratada com cimento de alta rigidez que confere um comportamento mais rígido. Este tipo de pavimento é em tudo semelhante ao pavimento flexível com a diferença de que a camada de base incorpora outro tipo de materiais na sua constituição, nomeadamente betão pobre ou AGEC, ou seja, do tipo hidráulico.

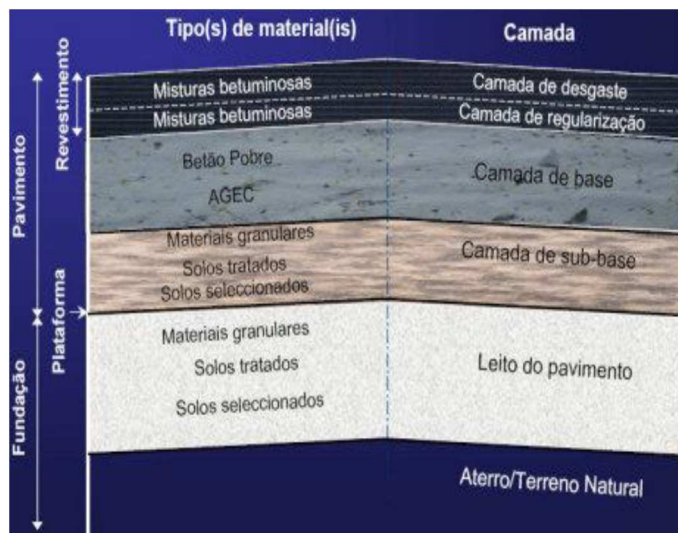


Figura 3.21 – Diferentes tipos de camadas em um pavimento semirrígido (LNEC, 2005)

#### 3.2.3.1 Camadas

Camada de desgaste: composta por material betuminoso a sua função será suportar, redistribuir e transferir para as camadas adjacentes inferiores, as tensões transmitidas pelos rodados dos veículos. Esta camada deve conferir impermeabilização, superfície livre e regular, desempenada e adequada à livre circulação de veículos em condições de segurança, conforto e economia.

Esta camada apresenta espessuras entre 4 a 6 cm.

Camada de regularização: composta por mistura betuminosa em que suporta a camada superior de desgaste. Tem como principal função suportar, redistribuir e transferir para as camadas adjacentes inferiores, as tensões transmitidas pela camada de desgaste. Esta camada deve ter uma superfície regular, de forma a auferir à camada de desgaste uma boa execução da mesma de forma a impedir empenamentos.

Esta camada apresenta espessuras na ordem de 5 a 12 cm.

Camada de base: composta por material granular estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre). É uma camada estrutural devido à sua elevada rigidez.

Esta camada apresenta espessuras na ordem de 15 a 30 cm.

Camada de sub-base: composta por ABGE ou com recomposição em central, com granulometria extensa, com máxima dimensão de 50 mm (JIMÉNEZ, 2010).

### **3.2.3.2 Características dos Pavimentos Semirrígidos**

Os pavimentos semirrígidos têm características distintas de todos os outros. Seguem-se algumas das características deste tipo de pavimento.

- Pavimento composto por dois tipos de materiais;
- Melhor distribuição das tensões;
- A deformação permanente não é um critério de ruína;
- Podem definir-se dois tipos de pavimentos: direto ou inverso;
- O pavimento inverso tem a singularidade de retardar o aparecimento de fendas;
- Usa-se o eixo padrão de 130 kN;
- Dimensiona-se para um período de vida útil de 20 anos.

## **3.3 PASSEIOS**

Os passeios são parte integrante na infraestrutura rodoviária e, como o dimensionamento realizado neste relatório de estágio foi essencialmente em meio urbano, é usual a sua construção, sendo que a Câmara Municipal de Valongo tem um conjunto de normas a cumprir, seguindo o seu Regulamento Municipal de Intervenção na Via Pública (RMIVP). Segundo o artigo 44º, secção Passeios.

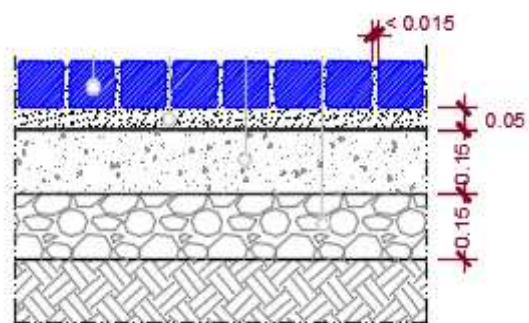
1. Os passeios deverão ser pavimentados em betonilha esquartelada a 25x25 cm<sup>2</sup>, executados nas seguintes condições:

- a) Compactação, utilizando rega até ao teor óptimo de humidade e por meio de equipamento mecânico, e regularização da superfície do solo de fundação.
  - b) Execução de camada de base em brita azul 40/60 mm, na espessura de 10 cm.
  - c) Execução de camada intermédia e de suporte em massame de betão na espessura de 10 cm, com execução de juntas de dilatação transversais espaçadas de 4 m e preenchidas com poliestireno, betão de traço mínimo em volume de 1:3:5, 240 Kg de cimento/m<sup>3</sup>.
  - d) Execução de acabamento final em betonilha esquartelada a 25 cm x 25 cm, com argamassa de cimento ao traço em volume de 1:3, 400 Kg de cimento/m<sup>3</sup>, na espessura de 4 cm.
2. Nas zonas onde existam todas as infra-estruturas de serviços públicos e municipais ou, nas zonas de características urbanas nobres, poderão ser aceites outros acabamentos finais de pavimento de passeios, desde que, devida e tecnicamente justificados, carecendo de aprovação por parte dos serviços técnicos responsáveis pela gestão da intervenção na via pública, bem como dos serviços técnicos de planeamento e urbanismo.
  3. Os materiais a aplicar como acabamento final de pavimento de passeios, a submeter à aprovação como o preconizado no número anterior, devem apresentar as seguintes características técnicas:
    - Textura compacta (lisa);
    - Boa aderência (anti-derrapantes);
      - Materiais que não contenham estas características, nomeadamente o cubinho de basalto ou calcário, entre outros, não serão aceites.
  4. No início e término de zonas de desníveis, rampas, escadas, zebras e passagens, etc., deve ser colocado um material de revestimento do piso do passeio, ou qualquer outra passagem pedonal, com textura diferente dos restantes e cor amarela, de forma a assinalá-las (p. 18).

Na seguinte figura 3.22 pode-se verificar a aplicação e o desenho cotado do tipo de pavimentos do Município de Valongo, neste caso em micro cubo de granito.



a) Passeio tipo em micro cubos de granito  
(Valongo, 2016)



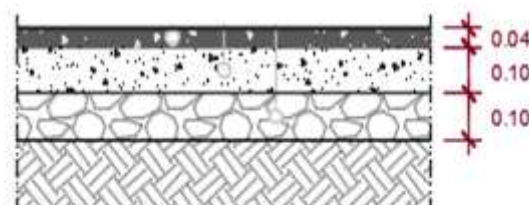
b) Esquema do passeio em granito

Figura 3.22 – Desenho e aplicação em cubo de granito

Na próxima figura 3.23 é apresentado um exemplo de outro tipo de passeios utilizados no Município de Valongo.



a) Passeio em betonilha esquartelada  
(Valongo, 2016)



b) Esquema do passeio em betonilha esquartelada

Figura 3.23 – Desenho e aplicação em betonilha esquartelada

### 3.4 LANCIS

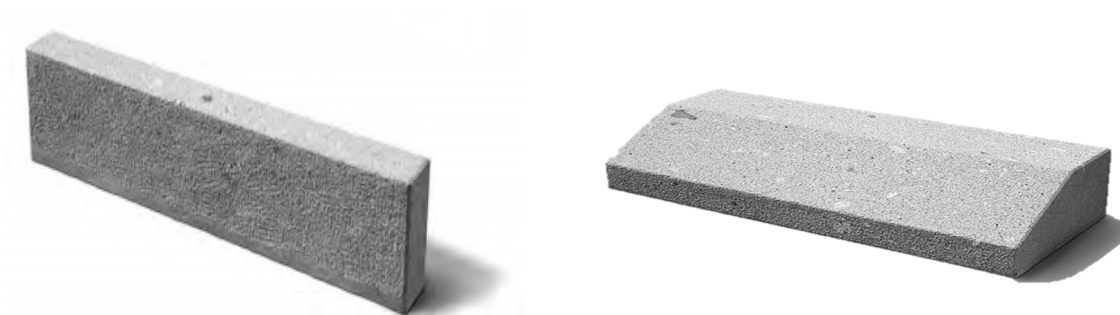
O lancil é um elemento construtivo que tem como objetivo a aplicação em zonas de transição entre diferentes tipos de pavimentos, delimitação de espaços, como passeios, arruamentos com a finalidade de

resistir e separar os diferentes tipos de materiais. Nestes casos em estudo, o lancil separa as camadas betuminosas das bermas com os passeios.

De seguida é especificado segundo o Regulamento Municipal de Intervenção na Via Pública (RMIVP), artigo 45º, secção Lancis.

1. Os lancis serão sempre em granito azul, com acabamento a pico fino, com as seguintes dimensões:
  - a) Separação faixa de rodagem ou baía de estacionamento/passeio ou ajardinamento – 100 cm de comprimento, 25 cm de altura, 15 cm de piso ou superfície, 18 cm de base e 12 cm de espelho.
  - b) Separação faixa de rodagem/baía de estacionamento/passeio – 100 cm de comprimento, 25 cm de altura, 10 cm de espessura e 3 cm de espelho, com a aresta contínua à faixa de rodagem boleada.
  - c) Separação passeio/ajardinamento – 100 cm de comprimento, 25 cm de altura, 10 cm de espessura e 9 cm de espelho, com as arestas de piso ou superfície boleadas.
  - d) Nas rampas de acesso interior – 100 cm de comprimento, 25 cm de altura, 15 cm de piso ou superfície, 40 cm de base, com a face em rampa inclinada a 30 ° e torniços nas extremidades que poderão ser incluídos na peça inteira.
2. Os lancis serão assentes em fundação contínua de betão ciclópico, traço mínimo em volume 1:3:5, 240 Kg de cimento/m<sup>3</sup>, com as dimensões seguintes:
  - a) Lancis caracterizados na alínea a) do número anterior, deverão ser assentes em fundação de secção 30 x 30 cm<sup>2</sup>.
  - b) Lancis caracterizados na alínea b) do número anterior, deverão ser assentes em fundação de secção 25 x 25 cm<sup>2</sup>.
  - c) Lancis caracterizados na alínea c) do número anterior, deverão ser assentes em fundação de secção 20 x 20 cm<sup>2</sup>.
  - d) Lancis caracterizados na alínea d) do número anterior, deverão ser assentes em fundação de secção 45 (base) x 30 (piso) cm<sup>2</sup> (p. 19).

Relativamente ao ponto anterior, o nome mais usado para este tipo de lancis do tipo a) e b) é o lancil corrente, o lancil do tipo c) é denominado de lancil remate e por sua vez o lancil do tipo d) é o lancil rampa. Nas seguintes figuras encontra-se exemplos de lancis, bem como rampas de acesso a garagens ou mesmo a passadeiras.



a) Lancil remate (SUPERINERTES)

b) Lancil rampa (SUPERINERTES)

Figura 3.24 – Diferentes tipos de lancis em granito



a) Lancil corrente (Valongo, 2016)

b) Lancil rampa (Valongo, 2016)

Figura 3.25 – Diferentes tipologias de lancis no Município de Valongo

### 3.5 MOBILIDADE

No Município de Valongo a promoção da acessibilidade constitui um elemento fundamental de qualidade de vida dos munícipes, daí a C.M. Valongo trabalhar de forma a minimizar os obstáculos impostos nas vias municipais às pessoas com mobilidade condicionada. Para isto a C.M. Valongo tem um documento, denominado de Normas técnicas para a melhoria de acessibilidade das pessoas com mobilidade condicionada, em que este descreve várias intervenções ao nível da via pública de forma a respeitar e ajudar as pessoas com mobilidade condicionada. Também estas regras se encontram no GUIA –

Acessibilidade e Mobilidade para Todos – INR. (Decreto Lei 163/2006). A seguinte figura encontra-se no Anexo C.

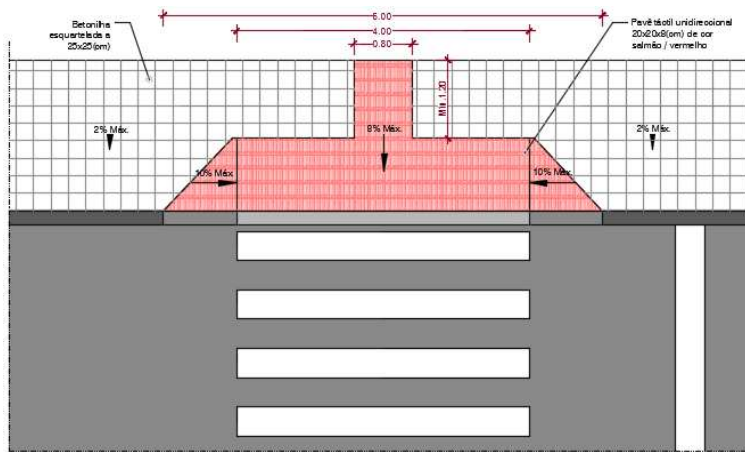


Figura 3.26 – Pormenor tipo de acessibilidade nas passeiras (C.M. Valongo, 2016)

No capítulo 1 – Via pública, secção 1.1 – percurso acessível trata de:

1.1.1.As áreas urbanizadas devem ser servidas por uma rede de percursos pedonais, designados de acessíveis, que proporcionem o acesso seguro e confortável das pessoas com mobilidade condicionada a todos os pontos relevantes da sua estrutura activa, nomeadamente:

- 1) Lotes construídos;
- 2) Equipamentos coletivos;
- 3) Espaços públicos de recreio e lazer;
- 4) Espaços de estacionamento de viaturas;
- 5) Locais de paragem temporária de viaturas para entrada/saída de passageiros;
- 6) Paragens de transportes públicos.

1.1.2.A rede de percursos pedonais acessíveis deve ser contínua e coerente, abranger toda a área urbanizada e estar articulada com as actividades e funções urbanas realizadas tanto no solo público como no solo privado.

1.1.3.Na rede de percursos pedonais acessíveis devem ser incluídos:

- 1) Os passeios e caminhos de peões;

- 2) As escadarias, escadarias em rampa e rampas;
- 3) As passagens de peões, à superfície ou desniveladas;
- 4) Outros espaços de circulação e permanência de peões;

Na secção 1.2 – Passeios e caminhos de peões:

1.2.1 Os passeios adjacentes a vias principais e vias distribuidoras devem ter uma largura livre não inferior a 1,5 m.

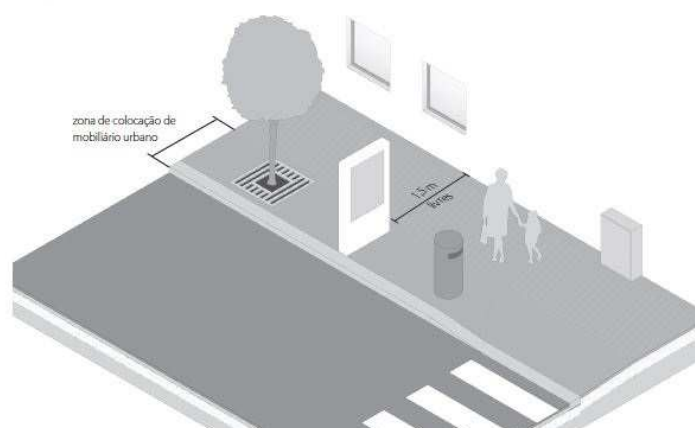


Figura 3.27 – Exemplo elucidativo da distância mínima a adotar (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS)

1.2.2 Os pequenos acessos pedonais no interior de áreas plantadas, cujo comprimento total não seja superior a 7 m, podem ter uma largura livre não inferior a 0,9 m.

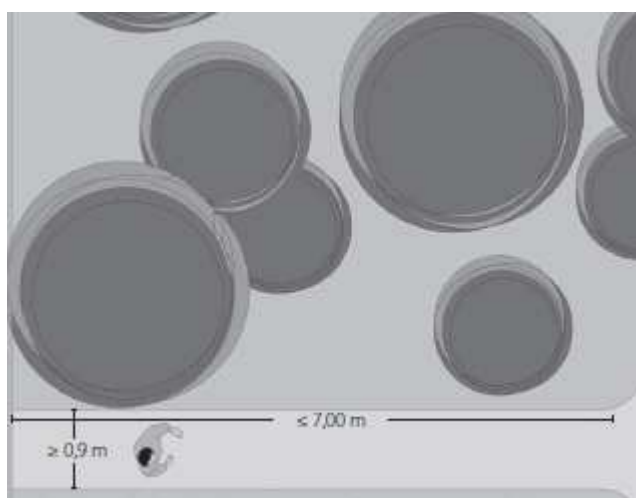


Figura 3.28 – Exemplo elucidativo de acessos pedonais (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS)

Na secção 1.3 – Escadarias na via pública:

1.3.1 As escadarias na via pública devem satisfazer o especificado na secção 2.4 e as seguintes condições complementares:

- 1) Devem possuir patamares superior e inferior com uma faixa de aproximação constituída por um material de revestimento de textura e cor contrastante com o restante piso;
- 2) Devem ser constituídas por degraus que cumpram uma das seguintes relações dimensionais:

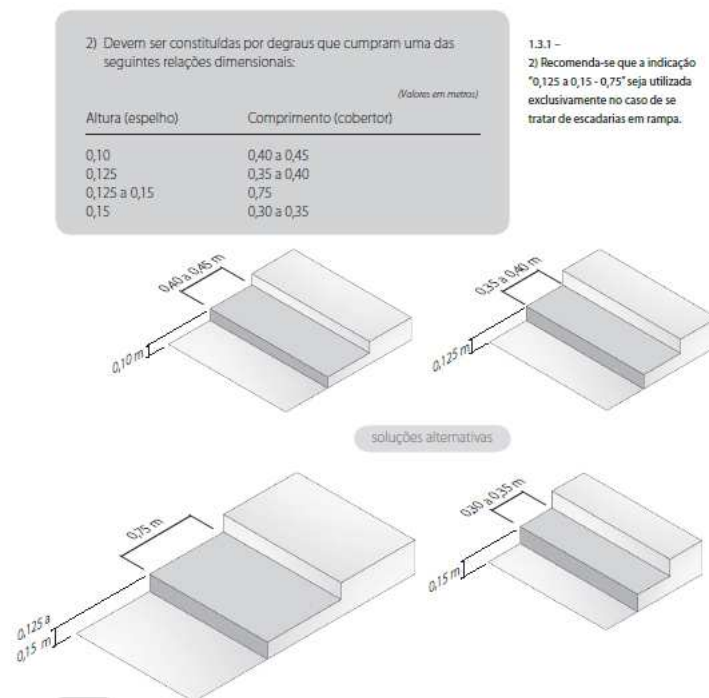


Figura 3.29 – Condições que devem ser cumpridas (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS)

Na secção 1.6 – Passagem de peões de superfície:

- 1.6.1 A altura do lancil em toda a largura das passagens de peões não deve ser superior a 0,02 m.
- 1.6.2 O pavimento do passeio na zona imediatamente adjacente à passagem de peões deve ser rampeado, com uma inclinação não superior a 8% na direcção da passagem de peões e não superior a 10% na direcção do lancil do passeio ou caminho de peões, quando este tiver uma orientação diversa da passagem de peões, de forma a estabelecer uma concordância entre o nível de pavimento do passeio e o nível do pavimento da faixa de rodagem.

1.6.3 A zona de intercepção das passagens de peões com os separadores centrais das rodovias dever ter, em toda a largura das passagens de peões, uma dimensões não inferior a 1,2 m e uma inclinação do piso e dos seus revestimentos não superior a 2%, medidas na direcção do atravessamento dos peões.

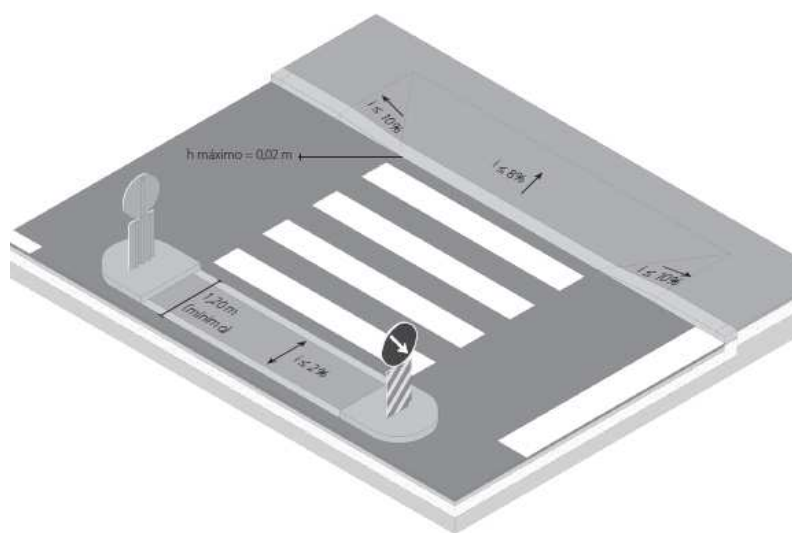


Figura 3.30 – Exemplo pormenorizado na zona da passadeira (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS)

1.6.4 Caso as passagens de peões estejam dotadas de dispositivos semafóricos de controlo da circulação, devem satisfazer as seguintes condições:

- 1) Nos semáforos que sinalizam a travessia de peões de acionamento manual, o dispositivo de acionamento deve estar localizado a uma altura do piso compreendida entre 0,8 m e 1,2 m;
- 2) O sinal verde de travessia de peões deve estar aberto o tempo suficiente para permitir a travessia, a uma velocidade de 0,4 m/s, de toda a largura da via ou até ao separador central, quando ele exista;
- 3) Os semáforos que sinalizam a travessia de peões instalados em vias com grande volume de tráfego de veículos ou intensidade de uso por pessoas com deficiência visual devem ser equipados com mecanismos complementares que emitam um sinal sonoro quando o sinal estiver verde para os peões.

1.6.5 Caso sejam realizadas obras de construção, reconstrução ou alteração, as passagens de peões devem:

- 1) Ter os limites assinalados no piso por alteração da textura ou pintura com cor contrastante;
- 2) Ter o início e o fim assinalados no piso dos passeios por sinalização táctil;
- 3) Ter os sumidouros implantados a montante das passagens de peões, de modo a evitar o fluxo de águas pluviais nesta zona.

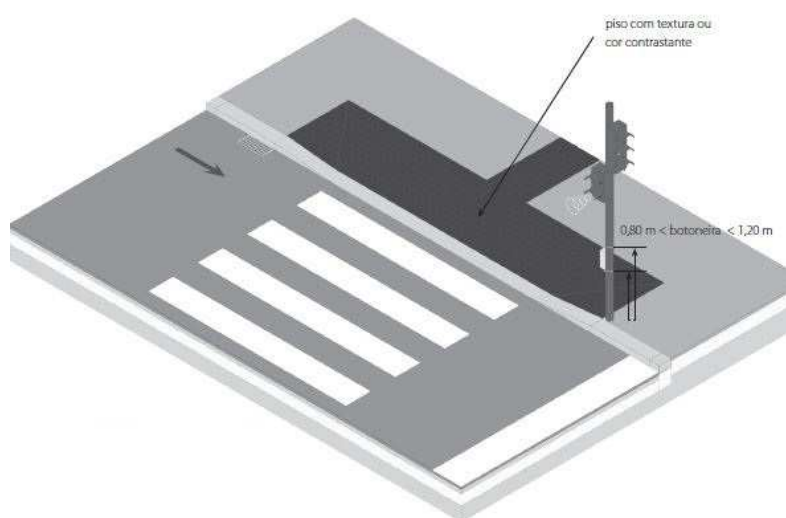


Figura 3.31 Exemplo pormenorizado na zona da passadeira sematizada (ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE PARA TODOS)

São vários documentos que contém a legislação que fornecem as diretivas de construção e aplicação em prol das pessoas com mobilidade condicionada. A entidade competente para o estudo de soluções técnicas e normativas é o Instituto Nacional de Habitação que tem por base o Decreto-Lei 163/2006, de 8 de Agosto que revogou o Decreto-Lei nº123/97, de 22 de Maio, também conhecido por REGIME DA ACESSIBILIDADE AOS EDIFÍCIOS E ESTABELECIMENTOS QUE RECEBEM PÚBLICO, VIA PÚBLICA E EDIFÍCIOS HABITACIONAIS, com o objetivo de melhorar alguns aspetos impostos no guia “Acessibilidade e mobilidade para todos”, do INR.

### 3.6 EVOLUÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

No dimensionamento de pavimentos o cálculo de espessuras das camadas, bem como as características dos materiais, que constituem essas camadas, por forma a diminuir, durante a vida útil de projeto, a ocorrência de degradações, é uma parte muito importante deste processo. O dimensionamento dos

pavimentos começou a ser utilizado quando apareceram os primeiros organismos/entidades oficiais que geriam as estradas. Com estes organismos/entidades a observação do comportamento dos pavimentos em diferentes tipos de solos foi muito mais estudada e entendida. O seu objetivo seria a rentabilização do pavimento na área inserida. Por isso, em 1920 nos Estados Unidos da América, realizou-se o ensaio rodoviário pioneiro a nível mundial, onde foram estudados pavimentos com diferentes materiais. Deste ensaio resultou um catálogo de estruturas que fornecia certos dados acerca das espessuras a utilizar para diferentes tipos de situações de pavimentos.

Os primeiros catálogos, de uma forma geral, o dimensionamento era muito genérico, o que levou a um desenvolvimento de novos métodos um pouco mais rigorosos. A caracterização principal seria ao nível da resistência do solo fundação e do seu comportamento, por isso foi desenvolvido o método CBR em que a espessura do pavimento era obtida em relação ao índice CBR (*California Bearing Ratio*) do solo de fundação. Este método ainda é utilizado atualmente.

Com o aparecimento da II Grande Guerra desenvolveu e de que maneira os métodos empíricos de dimensionamento, pois os aeródromos tinham o mesmo tipo de pavimentos das estradas, em que nestes as cargas induzidas excediam as verificadas nas estradas e por sua vez o pavimento dos aeródromos degradavam-se muito rapidamente. Na busca incessante de compreender e tentar dimensionar os pavimentos dependendo das cargas induzidas, adotou-se novos modelos baseados na Teoria da Elasticidade para calcular as tensões e extensões numa dada estrutura. *Burmister*, em 1943, deduziu expressões baseadas no modelo de *Boussinesq* (1885), em que possibilitavam o cálculo dos assentamentos à superfície de um pavimento, no centro de carga, devido à atuação de forças verticais uniformemente distribuídas sobre um círculo (MARÉ, 2011). Nos anos 50 e princípio de 60, deu-se um grande desenvolvimento económico, o que contribuiu em grande parte para um aumento excepcional de tráfego em que um pouco por toda a parte houve a necessidade de evoluir ao nível das técnicas de conceção de pavimentos. Nos Estados Unidos da América usou-se grandes ensaios à escala e tráfego reais, dos quais se destacam os ensaios WASHO (*Western Association of State Highways Officials*) e AASHTO (*American Association of State Highways and Transportation Officials*). Em relação ao ensaio da AASHTO, as fórmulas resultantes do ensaio passaram a ser uma forma de dimensionamento de pavimentos rodoviários. Em 1962, *Jones* e *Peattie* criaram tabelas e ábacos, respetivamente, de forma a deduzir a espessura equivalente. As tabelas e ábacos permitiam a determinações das tensões instaladas num pavimento com três ou mais camadas. Em Portugal, por esta altura, foi divulgado por Nascimento um método simplificado em que consistia no cálculo das tensões nas superfícies de contato entre as camadas e a fundação, em relação a um ensaio de carga com placa que determinava um valor do assentamento à superfície. Um pouco mais tarde, em 1977, surgiram os métodos empírico mecanicistas, em que os mais conhecidos eram os métodos da *Shell*, *Nottingham*, *Asphalt Institute*, Manual da AASHTO, entre outros.

Estes métodos foram pioneiros ao nível de catálogos de aplicação e na década de 90 apareceram vários *softwares* de cálculo apropriado. Até aos dias de hoje, houve uma evolução dos processos de cálculo e das formas de avaliação da capacidade de carga e do seu impacto na estrutura adotada. Em Portugal adota-se para dimensionamento de pavimentos flexíveis os métodos empírico-mecanicistas. Também é adotado por vezes, métodos diretos que se encontram no Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995) ou mesmo os métodos descritos no conceito de desempenho em serviço que se encontram no Manual de Dimensionamento da AASHTO (AASHTO, 1993).

Relativamente aos pavimentos semi-rígidos, para além de se utilizarem métodos de dimensionamento semelhantes aos dos pavimentos flexíveis, são também utilizadas abordagens analíticas, utilizando métodos dos elementos finitos. Por último os pavimentos rígidos são dimensionados utilizando três tipos de abordagem:

- Analítica, onde se empregam equações para o cálculo de tensões e deflexões em pavimentos rígidos, recorrendo ao método da *Portland Cement Association*;
- Numérica, onde se utilizam métodos e programas desenvolvidos com base no método dos elementos finitos;
- Probabilística, expressa no manual de dimensionamento da AASHTO.



## 4 CONSTITUIÇÃO DAS BASES DE TRABALHO E PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS

### 4.1 INTRODUÇÃO ÀS PATOLOGIAS GERAIS

Ao longo dos anos os pavimentos flexíveis desenvolvem uma série de degradações em que estas contribuem em grande parte para uma diminuição da qualidade ao nível estrutural e funcional do pavimento, degradações essas que são geradas pelas ações do tráfego intenso e das condições climatéricas adversas. A conjugação de ambas originam solicitações no pavimento que fazem com que este altere as suas características iniciais. Estas ações sucessivamente repetidas causam degradações no pavimento. Esta atividade também denominada de “princípio da cadeia de consequências” tem como resultado que, uma degradação resultante contribui para que outra degradação evolua. São considerados dois grupos de fatores que influenciam a degradação dos pavimentos: os fatores passivos e os ativos. Os primeiros dependem do pavimento, nomeadamente das espessuras, do material e da qualidade de construção. Já os fatores ativos dependem das ações do tráfego e do clima e são os principais responsáveis pelas degradações dos pavimentos (PEREIRA, 1999). A evolução comportamental dos pavimentos tem uma componente aleatória muito superior a outros tipos de estruturas construídas, tendo em conta diferentes fatores influentes e a capacidade para a sua correta caracterização. Para além dos fatores passivos e ativos deve-se ainda considerar se os métodos de dimensionamento de pavimentos são os mais corretos e fiáveis. Tudo isto acrescenta mais um fator adicional de incerteza no comportamento do pavimento.

A AASHTO na década de 50 realizou várias análises dos resultados de ensaios sobre pavimentos rodoviários e verificou uma elevada dispersão na duração da vida útil de pavimentos iguais e ensaiados. Considerando  $N$  o número de passagens de eixos previstos no seu dimensionamento, a duração apresentava variâncias entre  $N/k$  e  $k.N$ , onde o fator  $k$  é produto de três fatores, a saber,  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$ . O primeiro fator ( $k_1$ ) diz respeito à influência das variações sazonais nos efeitos das cargas já por sua vez o fator  $k_2$  está relacionado com a qualidade da construção, enquanto o fator  $k_3$  expõe a influência da fiabilidade do modelo de representação do pavimento, utilizado no processo de dimensionamento do

pavimento rodoviário. O valor calculado para o fator  $k$  é de 3,5. Também o fator  $k_1$  resulta em que naquela época os pavimentos não eram corretamente dimensionados e construídos e também não apresentavam uma correta proteção contra as variações do estado hídrico das camadas granulares e da sua fundação. Atendendo agora à sua evolução, os materiais aglutinados (betuminosos e hidráulicos) distinguem-se dos não aglutinados, incluindo o solo de fundação. Exemplificando o caso dos materiais betuminosos, a incidência da sua evolução deve-se ao facto do envelhecimento do ligante, em que este por ação da luz solar e do gradiente de temperatura, esta mais acentuada na camada de desgaste devido a ser a camada em que tem mais contato com a temperatura ambiente e a luz solar. A conjugação destes fatores faz com que a mistura, num curto prazo, envelheça muito rapidamente. Tudo isto faz com que ocorra o fenómeno de fendilhamento muito mais rápido. A luz solar provoca um aumento da viscosidade do betume (endurecimento), ou seja, um aumento da sua rigidez que vai proporcionar um enfraquecimento da mistura betuminosa. A solicitação exigida à mistura betuminosa depende das variações de temperatura do local da implantação da obra. Assim sendo, temperaturas muito altas, reduzindo a viscosidade do ligante, dão origem a uma redução na rigidez da mistura, proporcionando à mistura uma maior suscetibilidade a padecerem de deformações plásticas. Com as temperaturas muito baixas, aumenta a rigidez da mistura, concebendo assim maior capacidade de suporte aos esforços. Também um grande problema são os derrames de químicos provocados por algum tipo de acidentes. Fundamentalmente a ação de poluição mais nefasta é o derrame de combustível de gasóleo sobre as camadas betuminosas, mais propriamente na camada de desgaste. Os materiais granulares constituintes do solo de fundação, para além do problema das ações acumuladas das cargas dos rodados, são suscetíveis à ação da água e não tanto às variações da temperatura. A ação do tráfego, ao longo do tempo, contribui em muito para a adensamento das camadas do pavimento e solo de fundação, em que por ação de degradação da parte granular e uma pós-compactação das duas camadas. Tudo isto contribui para assentamentos irreversíveis, que faz com que o pavimento fique com restrições para a livre circulação de veículos. Outra das ações e uma das mais importantes é a ação da água. A água contribui imediatamente para um decréscimo do atrito interno existente dos materiais granulares, em que estes sob a ação de cargas facilita um rearranjo das partículas constituintes. O solo de fundação devido à sua sensibilidade influencia em muito as deformações.

Os esforços instalados ao nível das diferentes camadas determinam, em geral, uma evolução, típica dos pavimentos flexíveis, em direção a dois estados últimos de ruína, o fendilhamento das camadas betuminosas e a deformação permanente das camadas em geral (BRANCO, 2006).

As degradações são geralmente consequência de uma inadequação do material ao uso, podendo este fenómeno ter origem, entre outros, em deficiências de projeto, drenagem mal concebida, materiais de qualidade duvidosa, colocação em obra deficiente. O desenvolvimento precoce de degradações é um

indicador de que qualquer coisa correu mal, embora com o tempo em serviço seja de esperar a ocorrência de patologias (FERREIRA, 2007). No seguimento da seguinte figura 4.1, mostra esquematicamente a ação de tráfego ( $A_i$ ) quando atua sobre o pavimento com certas propriedades dos materiais ( $P_i$ ) e geometria da estrutura ( $G_i$ ), em determinadas condições climáticas originando solicitações ( $S_i$ ). Estas solicitações alteram as propriedades iniciais inerentes dos materiais (PEREIRA, 1999). As novas solicitações com valor idêntico às anteriores, vão atuar sobre um novo material, ou seja, um material modificado com novas propriedades ( $P_{i+1}$ ), originando esforços ( $S_{i+1}$ ), e assim sucessivamente. Esta repetição de esforços, associadas à ação dos agentes climáticos, contribui em grande escala para o início e evolução das degradações dos pavimentos.

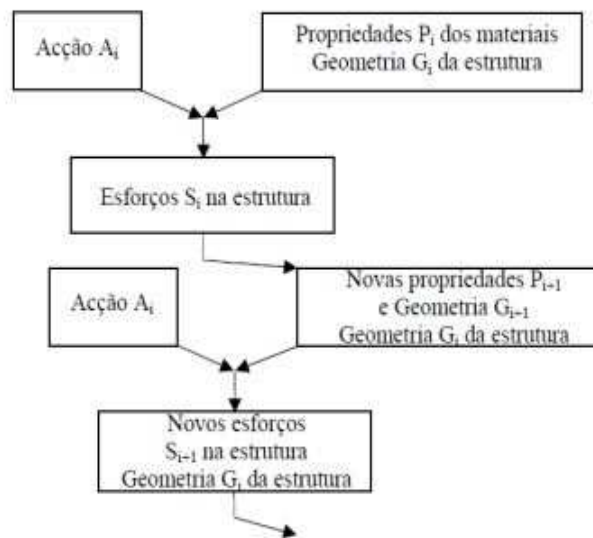


Figura 4.1 – Evolução das solicitações no pavimento rodoviário (PEREIRA, 1999)

As patologias nos pavimentos flexíveis podem-se enquadrar nas seguintes famílias (PEREIRA, 1999):

- Deformações;
- Fendilhamento;
- Desagregação da camada de desgaste;
- Movimento de materiais.

Na seguinte figura 4.2 pode-se avaliar a interação entre as degradações.



Figura 4.2 – Interação das degradações (PEREIRA, 1999)

Tabela 4.1 – Famílias e tipos de degradações (PEREIRA, 1999)

Famílias de degradações	Tipo de degradações		
Deformações	Abatimento	Longitudinal	Berma
			Eixo
		Transversal	
	Deformações localizadas		
	Ondulação		
	Rodeiras	Grande raio (camadas inferiores)	
Pequeno raio (camadas superiores)			
Fendilhamento	Fendas	Fadiga	
		Longitudinais	Eixo
			Bermas
		Transversais	
		Parabólicas	
	Pele de crocodilo	Malha fina ( $\leq 40$ cm)	
Malha larga ( $> 40$ cm)			
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação superficial		
	Cabeça de gato		
	Pelada		
	Ninhos (covas)		
Movimento de materiais	Exsudação		
	Subida de finos		

Generalizando, existem dois tipos de fatores que degradam os pavimentos, os fatores ativos e os fatores passivos. Dento dos fatores ativos encontram-se a intensidade de tráfego e as ações climáticas, por sua vez os fatores passivos estão relacionados com as deficiências dos materiais e sua correta

empregabilidade na execução. Dentro das deformações e rodeiras os fatores de degradação mais importantes são as condições de drenagem, a capacidade de suporte da fundação bem como as camadas estruturais de reduzida compacidade. As fendas têm como fatores de degradação mais condicionantes a qualidade dos materiais, agressividade do tráfego, ações climatéricas e as camadas estruturais de reduzida compacidade. Uma avaliação mais pormenorizada *in situ* é sempre justificável.

#### **4.1.1 Deformações**

Seguindo a tabela 4.1 pode-se observar as deformações, que se subdividem em:

- Abatimento;
- Deformações localizadas;
- Ondulação;
- Rodeiras.

##### **4.1.1.1 Abatimento**

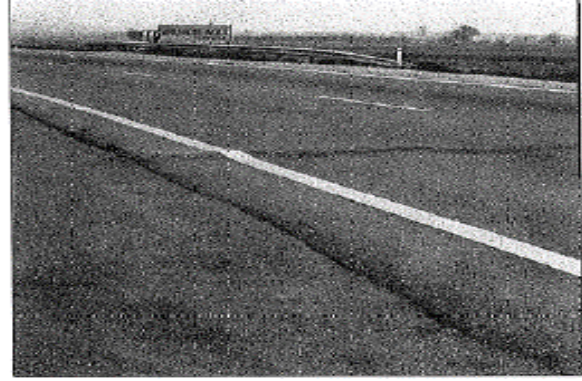
O abatimento é uma deformação com uma extensão significativa, podendo ou não apresentar-se ao longo do pavimento ou na direção transversal. O abatimento longitudinal pode ser visualizado ao longo do pavimento junto à berma, ou mesmo ao longo do eixo da faixa de rodagem. As causas mais prováveis destes abatimentos, no caso de o abatimento ser junto à berma, é devido ao facto da entrada de água através da berma ou da ligação berma-pavimento. Na outra situação, do abatimento se verificar ao longo do eixo, pode ser originado quando existe um fendilhamento ao longo do eixo, provocando uma perda de suporte devido à infiltração de água até às camadas mais inferiores. Ainda pode ocorrer o abatimento transversal em que a sua localização depende da ocorrência de problemas ao nível das camadas inferiores, neste caso no solo de fundação e camadas granulares (BRANCO, 2006).

As causas mais comuns do aparecimento desta patologia são várias:

- Insuficiência de elementos de drenagem (abatimento longitudinal ao longo do eixo);
- Falhas localizadas no pavimento (abatimento transversal);
- Colapso de camadas inferiores (abatimento transversal);
- Falta de união nas camadas betuminosas, insuficiente compactação das camadas betuminosas do pavimento (abatimento longitudinal);
- Deficiente execução das juntas de trabalho (abatimento longitudinal ou transversal);

- Forças tangenciais originadas por travagens bruscas e aceleração dos veículos (abatimento transversal).

Nas seguinte figura 4.3 pode-se observar alguns tipos de abatimentos.



a) Abatimento longitudinal junto à berma (TENG, 2009)

b) Abatimento transversal à via (MOPU, 1989)

Figura 4.3 – Dois tipos de abatimentos

#### 4.1.1.2 Deformações Localizadas

Na seguinte figura 4.4 pode-se observar este tipo de deformação. Estas deformações, como é explícito no nome localizam-se numa pequena área do pavimento, vulgarmente acompanhadas de rotura do pavimento.

A origem das deformações localizadas são a deficiente capacidade de suporte das camadas estruturais do pavimento, em particular das camadas granulares, a falta de capacidade de suporte do solo de fundação (presença de bolsas de argila, estado hídrico elevado, má drenagem), falta de ligação entre as camadas, utilização de misturas betuminosas pouco estáveis, existência de tensões tangenciais devidas à travagem e aceleração dos veículos com valor elevado (MAIA, 2012).



Figura 4.4 – Exemplo de uma deformação localizada

#### 4.1.1.3 Ondulação

Na seguinte figura 4.5 consegue-se identificar esta deformação, que é a ondulação. A ondulação é uma deformação transversal do pavimento de forma sucessiva, contendo elevações ou depressões. Normalmente ocorrem com mais frequência nas camadas de desgaste que contêm um revestimento superficial, devido a deficiências na homogeneização do ligante. Pode também se verificar esta deformação em camadas de betão betuminoso em que ocorre o arrastamento da mistura por uma elevada deformação plástica, nomeadamente devido à ação do tráfego. Tem como causa mais frequente os assentamentos diferenciais da fundação (má compactação), mas podem também ter origem na instabilidade das camadas betuminosas (má distribuição do ligante), na qualidade deficiente da camada de desgaste (quantidade excessiva de agregados finos, agregados pouco angulosos, demasiado betume) ou no arrastamento das camadas betuminosas por excessiva deformação plástica. Esta patologia provoca perda de conforto na viagem e desgaste dos veículos devido à vibração (FIGUEIREDO, 2011).



Figura 4.5 – Exemplo de uma ondulação no pavimento (VIDEIRA,2014)

#### 4.1.1.4 Rodeiras

As rodeiras também são deformações do pavimento em que a sua orientação é normalmente longitudinal, desenvolvendo-se claro está, na periferia da passagem dos pneus dos veículos. Este tipo de degradações a nível de importância é o mais significativo, podendo existir dois tipos de configuração:

- Rodeiras de grande raio que são formadas devido ao déficit de capacidade de suporte das camadas granulares e da fundação, com o aparecimento de deformações permanentes;
- Rodeiras de pequeno raio que são formadas devido a misturas betuminosas com baixa resistência às deformações permanentes.

Também a conjugação de compactação insuficiente das camadas, tráfego lento e temperaturas elevadas, tudo isto faz com que este tipo de degradação ocorra com grande frequência. As zonas junto a semáforos são as mais fustigadas pois, com o elevado aquecimento dos pneus e os veículos encontrarem-se parados, estas zonas ficam um pouco deterioradas.

Como efeito do desenvolvimento de rodeiras surge a hidroplanagem, a canalização do movimento dos veículos, o aumento crescente da profundidade das rodeiras, o aparecimento de fendas longitudinais ou do tipo pele de crocodilo. As rodeiras de pequeno raio podem evoluir para cordões longitudinais, o que agrava a perda de conforto na viagem e o desgaste dos veículos (MAIA, 2012).

Como segue na figura 4.6, encontra-se um exemplo de uma rodeira no pavimento.



Figura 4.6 - Deformações do tipo rodeira no pavimento (LOPES, 2009)

Para que a propriedade das misturas seja aproveitada ao máximo de forma a resistir às deformações incutidas pelas elevadas cargas e longos períodos de tempo em que estas estão a atuar, conjugado ainda com temperaturas elevadas a que o pavimento está sujeito quando entra em serviço. Se o material não

for estável dá-se o aparecimento das rodeiras. Esta propriedade depende do atrito interno dos materiais e da sua coesão. Por sua vez o atrito depende da configuração da textura dos materiais, da granulometria do agregado, do formato das partículas, da densidade da mistura e da quantidade e qualidade do betume. O atrito aumenta com a rugosidade do agregado e também da área de contacto entre elas. Independentemente do agregado que se use, a estabilidade aumenta com a capacidade de suporte do material, desta forma deve-se usar uma granulometria que possibilite a obtenção de materiais com uma densidade adequada e também compactar corretamente a mistura. Uma quantidade elevada de ligante faz com que as partículas do agregado fiquem mais lubrificadas, ou seja, reduz substancialmente a fricção interna. Na seguinte figura 4.7 pode-se avaliar a variação da estabilidade e durabilidade nas misturas betuminosas em função da percentagem do betume (MAIA, 2012). Esta propriedade melhora com a quantidade de betume até um certo valor máximo, decrescendo a partir daí.

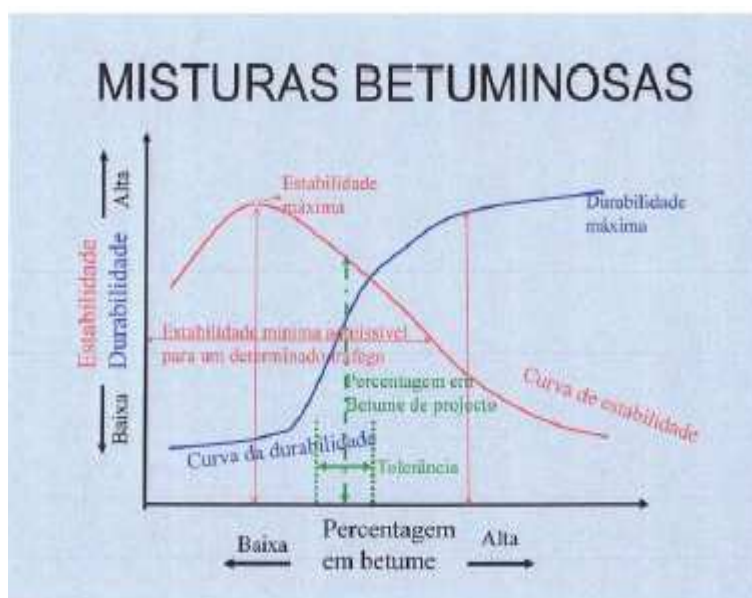


Figura 4.7 - Variação da estabilidade e da durabilidade nas misturas betuminosas em função da percentagem de betume (MAIA, 2012)

#### 4.1.2 Fendilhamento

Seguindo a tabela 4.1 o fendilhamento subdivide-se em:

- Fendas;
- Pele de crocodilo.

#### 4.1.2.1 Fendas

Este tipo de degradações é a mais comum nos pavimentos flexíveis, resultando, em grande parte dos casos, na fadiga dos materiais das camadas betuminosas, originado essencialmente pela repetição dos esforços de tração por flexão destas camadas. A partir daqui pode-se verificar uma redução significativa da qualidade estrutural do pavimento. O fendilhamento acarreta vários tipos de degradações, entre as quais, fendas isoladas ou fendas ramificadas. Se estas fendas formarem uma malha, também conhecida por “pele de crocodilo”, em que resultado da evolução das outras fendas (BRANCO, 2006).

A fadiga nos pavimentos rodoviários é um fenómeno originado pela passagem repetida de veículos que induzem nos materiais ligados extensões de tração constituídas por duas componentes: uma reversível (ou elástica) e outra irreversível (ou plástica).

O fendilhamento subdivide-se num primeiro grupo; fendas do pavimento (fendas de fadiga), fendas longitudinais (junto à berma ou eixo), fendas transversais e fendas parabólicas.

As fendas parabólicas incidem principalmente na zona de passagem dos pneus e são originadas devido a problemas de estabilidade da camada de desgaste com a ligação às demais camadas. Estas fendas têm como consequência uma série de fatores, dentro dos quais:

- Esforços tangenciais;
- Grandes gradientes de temperatura ao longo do dia, onde se localiza o pavimento;
- Incapacidade do ligante asfáltico (betume) para expandir e contrair com ciclos de temperatura devido a: betume envelhecido, ou incorreta escolha do betume das misturas betuminosas;
- Má ligação (colagem) da camada de desgaste às camadas subjacentes.

Esta degradação possibilita a entrada de humidade, infiltração de água através da fenda, provocando a sua evolução pela combinação com o desgaste dos rodados deteriorando o pavimento muito rapidamente. Também pode-se quantificar a referida fenda, através dos seguintes aspetos:

- Largura em centímetros da zona afetada;
- Abertura máxima em milímetros;
- Percentagem da superfície afetada pela degradação.

Na seguinte figura 4.8, pode-se visualizar uma fenda parabólica.



Figura 4.8 – Exemplo de uma fenda parabólica (TENG, 2009)

As fendas que ocorrem mais frequentemente são as que resultam da fadiga do pavimento, podendo também ser conhecidas como isoladas em que são normalmente orientadas na direção longitudinal do pavimento. Também podem ser denominadas em fechadas ou abertas, dependendo do afastamento dos seus bordos. Pode-se compreender o que é uma fenda isolada na seguinte figura 4.9.



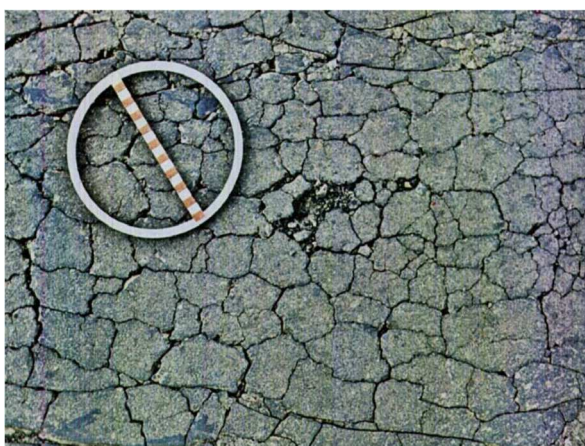
Figura 4.9 – Fendas isoladas (NORMA DNIT, 2003)

Outro tipo de fendilhamento observado nos últimos anos nos pavimentos com uma espessura considerável de camadas betuminosas é o fendilhamento com origem à superfície, em que este desenvolve-se na superfície do pavimento, sem atingir a camada de base. As causas da sua origem devem-se a diversas situações, dentro das quais, deficiências do processo construtivo (má compactação e segregação das misturas betuminosas) e o excessivo tráfego de pesados, originando na superfície elevadas tensões de tração.

Todas estas situações, conjugadas com temperaturas elevadas, levam com que o pavimento comece a deformar, iniciando assim o fenómeno do fendilhamento com origem na superfície do pavimento – fendilhamento descendente.

#### 4.1.2.2 Pele de Crocodilo

A patologia mais crítica neste grupo de fendilhamento é a chamada de pele de crocodilo, em que é originada devido à evolução das fendas ramificadas, que passam a formar uma malha ou grelha, com fendas mais ou menos abertas. A pele de crocodilo, na sua fase de desenvolvimento, quanto à sua abertura de malha, pode classificar-se de malha estreita ou malha larga e, quanto à abertura dos bordos das fendas, em aberta e fechada (BRANCO, 2006). Esta patologia é observada na seguinte figura 4.10 para uma melhor compreensão.



a) Pele de crocodilo de malha estreita  
(NORMA DNIT, 2003)



b) Pele de crocodilo de malha larga  
(NORMA DNIT, 2003)

Figura 4.10 – Exemplos de tipos de pele de crocodilo

As causas da aparecimento e evolução destas patologias deve-se a vários fatores, entre os quais:

- Rotura da camada de desgaste devido à agressividade do tráfego;
- Espessura das camadas subdimensionada em relação à necessária, projeto estrutural inadequado;
- Fadiga e envelhecimento do material;
- Falta de capacidade de suporte do conjunto pavimento, causado por vários fatores: perda de base, sub-base ou leito do pavimento, deficiência nos elementos de drenagem, ou degelo, resultando em uma base menos rígida;

- Construção de baixa qualidade (compactação inadequada, qualidade dos materiais) (BRANCO, 2006).

A pele de crocodilo é resultado de uma evolução das fendas ramificadas, correspondendo a uma etapa de rápida evolução do estado de degradação do pavimento rodoviário. Quanto maior for a quantidade de fendas, mais agressiva será a ação das cargas no pavimento devido a uma concentração elevada de tensões nos bordos das fendas. Também esta etapa na degradação do pavimento é acelerada devido à infiltração de água no pavimento através das fendas, fazendo com que o solo de fundação perca substancialmente a sua capacidade de suporte e as camadas granulares não tenham o desempenho esperado. Tudo isto origina, por parte das camadas betuminosas, um maior esforço de tração por flexão. Uma forma de minimizar a rápida degradação imposta pela pele de crocodilo, seria acrescentar ao pavimento degradado uma camada de impermeabilização com o objetivo de não deixar a água infiltrar-se nas fendas e assim, reduzir em grande parte, este fenómeno de rápida degradação.

#### **4.1.3 Desagregação da Camada de Desgaste**

Seguindo a tabela 4.1, a desagregação da camada de desgaste subdivide-se em:

- Cabeça de gato;
- Desagregação superficial;
- Ninhos (covas);
- Pelada.

As causas mais comuns para esta patologia ocorrer são as seguintes:

- Deficiente ligação entre os vários componentes de uma mistura betuminosa;
- Falta de estabilidade da ligação entre os vários componentes;
- Deficiente qualidade dos materiais;
- Má execução da camada de desgaste;
- Segregação dos inertes em central durante o transporte ou aplicação;
- Betume deficiente aquando à presença de água;
- Condições improprias na fase de execução (temperaturas muito baixas).

##### **4.1.3.1 Cabeça de Gato**

Estas degradações caracterizam-se por incidirem na camada superficial fazendo com que esta perca a sua qualidade, resultando devido à falta de estabilidade de ligação entre os constituintes da mistura. Quando

a camada de desgaste apresenta um déficit da parte mais fina da mistura, os agregados mais generosos ficam mais salientes originando a cabeça de gato devido a um aumento da macro textura da superfície. Esta degradação tem efeitos negativos em relação ao nível de ruído e do desgaste do pneu, mas em contrapartida faz dotar o pavimento de uma capacidade drenante superior na superfície do pavimento. A cabeça de gato aparece devido a um desgaste apressado do mástique (contém finos, fíler e ligante betuminoso) em que envolve os agregados grossos, deixando-os à vista, obtendo uma profundidade de textura elevada. As causas que dão origem a esta patologia são as seguintes:

- Baixa qualidade dos materiais constituintes e da mistura;
- Deficiente dosagem em ligante;
- Condições severas de tráfego.

Na seguinte figura 4.11, pode-se observar cabeças de gato de dois géneros (BRANCO, 2006).



a) Cabeça de gato agregados grossos  
(FIGUEIREDO, 2011)



b) Cabeça de gato agregados menos graduados (FIGUEIREDO, 2011)

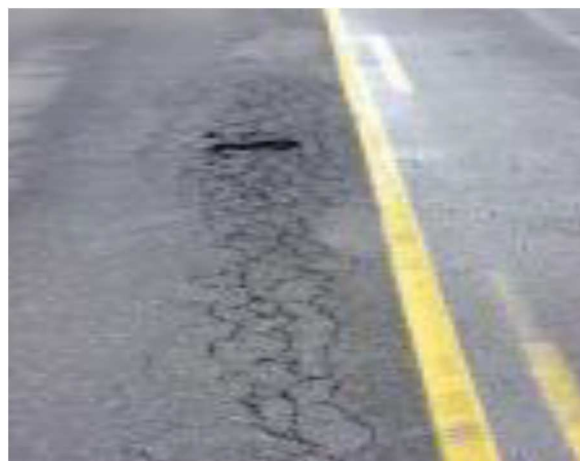
Figura 4.11 – Exemplos de cabeça de gato

#### 4.1.3.2 Desagregação Superficial

Esta degradação é muito importante, a desagregação superficial resulta do facto dos agregados mais grossos soltarem-se da restante estrutura devido a uma evolução da patologia cabeça de gato. Na seguinte figura 4.12 pode-se avaliar este tipo de patologia.



a) Desagregação superficial pormenor (TENG, 2009)



b) Desagregação superficial (TENG, 2009)

Figura 4.12 – Exemplos de desagregações

#### 4.1.3.3 Ninhos (Covas)

Na seguinte figura 4.13, esta patologia resulta da evolução da pele de crocodilo em que conduz ao desprendimento dos bordos das fendas. Também pode ser iniciado numa desagregação localizada da camada de desgaste em que esta avança o seu estado de degradação através da sua espessura. Esta patologia é normalmente associada ao último processo de degradação de um pavimento, conjugado com a ação do tráfego, em que contribui para a degradação ainda mais rápida do pavimento. Os ninhos também são o resultado de zonas com deficiente capacidade de suporte (o solo não tem capacidade para suportar determinadas cargas, pode ter uma zona argilosa ou uma drenagem insuficiente) ou ainda um defeito ao nível da camada de base ou camada de desgaste em que isto deve-se ao facto de ter uma má qualidade de fabrico ou de aplicação.



Figura 4.13 – Exemplo de Ninhos (Covas) (PEREIRA, 1999)

#### 4.1.3.4 Pelada

A pelada ou também conhecida por descamação trata-se de uma desagregação de pequenas placas da camada de desgaste em que estas desprendem-se da camada subjacente. As causas são muito parecidas às fendas parabólicas, sendo que, a pelada é uma evolução à posteriori das fendas parabólicas (BRANCO, 2006). As causas mais comuns para o aparecimento das peladas são:

- Espessura reduzida da camada de desgaste;
- Má ligação entre camadas consecutivas;
- Deficiente estabilidade da camada de desgaste.

Na seguinte figura 4.14 tem-se um exemplo de uma pelada.



Figura 4.14 – Exemplo de uma pelada (PEREIRA, 1999)

#### 4.1.4 Movimento dos Materiais

O movimento dos materiais como o próprio nome indica são movimentações resultantes dos materiais que constituem as camadas, betuminosas ou granulares, ou mesmo da própria fundação através das camadas do pavimento. Problemas de drenagem num pavimento também são situações muito problemáticas, pois o nível freático pode ser muito elevado e atingir a camada superior do solo de fundação, ou em certas situações atingir as camadas granulares mais superiores do pavimento rodoviário.

##### 4.1.4.1 Subida de Finos

Na próxima figura 4.15 é apresentada a subida de finos, em que esta patologia é originada pela passagem dos veículos que devido à compressão feita no pavimento provocam a subida da água que se encontra no interior do pavimento ou do solo, e por consequência transporta consigo os finos das camadas

atravessadas. A presença desta degradação diminui a capacidade de suporte das camadas granulares e de fundação (SILVA, 2012).

A subida de finos é indicada pela existência de manchas de cor clara (brancas) devido à presença de finos provenientes das camadas granulares e do solo de fundação, inicialmente junto de fendas da camada de desgaste, que evoluem para toda a superfície da camada, provenientes das camadas granulares e do solo de fundação (SILVA, 2012).



Figura 4.15 – Exemplos de subida de finos (EP, 2008)

#### 4.1.4.2 Exsudação

Na seguinte figura 4.16, este tipo de degradação é o resultado da alteração da composição da camada de desgaste. As principais causas para a ocorrência de exsudação de betume estão relacionadas com a deficiente composição da mistura betuminosa, pelo excesso de betume, e/ou uma reduzida porosidade. Sob a ação da passagem dos rodados dos veículos, especialmente com temperatura elevadas, a compressão da camada betuminosa pode, neste caso, originar a expulsão do betume para a superfície. O fenómeno será tanto mais grave, quanto menos viscoso for o betume para a temperatura ambiente (BRANCO, 2006).



Figura 4.16 – Exemplo de exsudação no pavimento (TENG, 2009)

## 4.2 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS NO MUNICÍPIO

Uma das grandes preocupações passa por tentar controlar ao máximo as patologias que padecem os pavimentos rodoviários. Um dos problemas que fazem com que estas patologias se agravem cada vez mais é a deficiente manutenção e limpeza das zonas adjacentes aos pavimentos. Neste subcapítulo o tema abordado será as patologias dos pavimentos no município de Valongo e algumas formas de minimizar e corrigir estes problemas, sendo as bases de trabalho dos casos de estudo do capítulo seguinte.

Seguindo o tema das patologias, dimensionaram-se algumas obras, obras essas que antes de serem dimensionadas/reabilitadas encontravam-se num estado de degradação um pouco elevado. De seguida ir-se-á exemplificar com figuras os diferentes tipos de patologias existentes no concelho.

Uma das obras dimensionadas para uma profunda reabilitação/renovação encontra-se na zona industrial de Campo e Sobrado, mais concretamente na Rua Central da Ribeira. A extensão total é, sensivelmente 400 m e está delimitada por dois cruzamentos, como se pode observar nas seguintes figuras 4.17 e 4.18.

### 4.2.1 Rua Central da Ribeira – Campo e Sobrado

A figura 4.17 mostra a localização desta rua na freguesia de Campo e Sobrado. Esta via serve essencialmente para tráfego de veículos pesados e ligeiros, pois encontra-se numa zona industrial. Serve principalmente a empresa *Hutchinson* para a distribuição e receção de produtos.



#### 4.2.1.2 Pele de Crocodilo

Como se pode verificar na figura 4.19, este tipo de patologias denominadas de pele de crocodilo são as mais críticas no grupo de fendilhamento de pavimentos, em que estas são originadas pela evolução acelerada de fendas ramificadas que posteriormente criam uma “malha” como é visível na figura 4.19. As causas que levam ao rápido aparecimento desta patologia são várias, entre as quais destaca-se a rotura da camada de desgaste devido ao tráfego, espessuras desadequadas no dimensionamento, envelhecimento dos materiais, construção de baixa qualidade, entre outros (BRANCO, 2006).

Uma maneira de tratar este problema, e como este pavimento se encontra em avançado estado de degradação, a solução passaria por uma fresagem e posterior aplicação das novas camadas que serão dimensionados no próximo capítulo nº5.



Figura 4.19 – Degradação do tipo pele de crocodilo

#### 4.2.1.3 Exsudação

Este tipo de patologias, como se pode verificar na figura 4.20, resulta de uma alteração da composição da camada de desgaste que, imperativamente, leva à ocorrência deste fenómeno de exsudação. Esta patologia ocorre quando na mistura betuminosa existe excesso de betume e/ou reduzida porosidade (BRANCO, 2006).



a) Exsudação na Rua Central da Ribeira  
(Pormenor)

b) Exsudação na Rua Central da Ribeira

Figura 4.20 – Exsudação na Rua Centra da Ribeira

#### 4.2.1.4 Fendas

Este tipo de patologias, como é visível na figura 4.21, encontram-se no eixo do pavimento orientadas longitudinalmente. Estas patologias surgem devido ao tráfego conjugado com gradientes de temperatura ocorridos durante o dia, tipo de ligante asfáltico e a sua capacidade de ligar as diferentes partículas, má colagem das camadas. Esta última causa, tanto pode ser a ligação das camadas subjacentes, isto é, camada de regularização ligada à camada de desgaste bem como a ligação da faixa esquerda com a faixa direita quando se pavimenta a mesma camada em dois troços. Estas fendas possibilitam a entrada das águas pluviais, o que faz com que o pavimento se degrade mais rapidamente.



Figura 4.21 – Fenda no eixo longitudinal

#### 4.2.1.5 Peladas

A pelada ou também conhecida por descamação trata-se de uma desagregação de pequenas placas da camada de desgaste em que estas desprendem-se da camada subjacente. Deve-se sobretudo à reduzida espessura da camada de desgaste, a uma má ligação entre camadas consecutivas ou também a uma deficiente estabilidade da camada de desgaste. Na seguinte figura 4.22 pode-se analisar com melhor perceção a configuração de uma pelada.



Figura 4.22 – Exemplo de uma pelada na Rua Central da Ribeira

#### 4.2.1.6 Tampas de Saneamento

O problema nas tampas de saneamento é recorrente, pois normalmente o método de construção e acabamento da estrutura envolvente às tampas não é o mais adequado e conseqüentemente provoca problemas na zona adjacente às tampas. Como se pode observar na seguinte figura 4.23, o pavimento quebrou por completo na zona circundante da tampa de saneamento.



a) Tampa saneamento na Rua Central da Ribeira



b) Tampa saneamento na Rua Central da Ribeira

Figura 4.23 – Degradação junto às tampas de Saneamento, Valongo

#### 4.2.1.7 Considerações Finais

Esta via como se encontra numa zona industrial em que deve apresentar o mínimo de condições para uma prestação de serviços ao nível da mobilidade de veículos e, como se pode observar nas seguintes figuras o avançado estado de degradação, a solução para resolver estes problemas passa por um novo dimensionamento e uma substituição integral do pavimento. Embora o nível económico do município para estas obras não seja o desejável, deve-se contudo proceder a uma pavimentação desde as camadas mais profundas para que futuramente estes problemas nos pavimentos sejam evitados. Para tudo isto, é necessário da parte do Município de Valongo uma boa manutenção destas vias.



a) Degradação na estrada da Rua Central da Ribeira



b) Degradação na estrada da Rua Central da Ribeira

Figura 4.24 – Exemplos da degradação na Rua Central da Ribeira em diferentes pontos

## 4.2.2 Avenida Visconde de Oliveira Futuro Centro Cívico de Campo e Sobrado – Alameda da Igreja

A seguinte figura 4.25 mostra a localização da rua e a sua envolvente na zona de intervenção. Esta obra será para requalificar e terá um novo traçado da estrada, como se poderá verificar no próximo capítulo.



Figura 4.25 – Localização da obra, Campo

### 4.2.2.1 Patologias na Avenida Visconde Oliveira

Esta zona irá sofrer uma alteração profunda, pois deixará de ser uma avenida e passará a ser uma alameda. A avenida, ao nível das degradações, não é das mais preocupantes, podendo-se encontrar uma ou outra situação pontual e todas as avaliações visuais das patologias indicam o problema da fendilhação por fendas. Na seguinte figura 4.26 é apresentada essa patologia.

#### 4.2.2.2 Fendas



a) Fenda longitudinal Avenida Visconde de Oliveira



b) Fenda ramificada Avenida Visconde de Oliveira

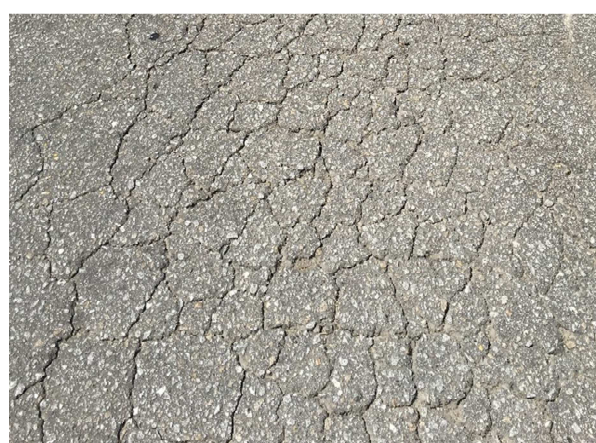
Figura 4.26 - Fendas no pavimento na Avenida Visconde de Oliveira

#### 4.2.2.3 Pele de Crocodilo

Outro exemplo de fendilhação é a pele de crocodilo, em que se tem uma malha fina ou uma malha larga. Nesta avenida, como é visível na seguinte figura 4.27, a patologia existe tanto em malha fina como em malha larga.



a) Exemplo de uma malha fina na Avenida Visconde de Oliveira



b) Exemplo de uma malha larga na Avenida Visconde de Oliveira

Figura 4.27 – Malha fina de pele de crocodilo na Avenida Visconde de Oliveira (2016)

### 4.2.3 Avenida 5 de Outubro – Paragem de Autocarros

A próxima figura 4.28 a) ilustra a localização vista de satélite desta paragem de autocarros no centro do Município de Valongo. A extensão total desta paragem é sensivelmente de 50 metros. A camada de desgaste encontra-se em elevado estado de degradação, pelo que uma intervenção ao nível da sub-base é imprescindível. A degradação principal é a deformação por rodeiras, pois durante o dia muitos autocarros param no local desta paragem.



a) Localização aérea



b) Localização "in loco"

Figura 4.28 – Vista da Avenida 5 de Outubro, Valongo

#### 4.2.3.1 Patologias na Avenida 5 de Outubro – Paragem de Autocarros

Esta zona devido à paragem de veículos de transporte coletivo de pessoas sofre cargas bastante elevadas e concentradas, o que leva à deformação das camadas adjacentes, sobretudo dos cubos que se encontram à superfície.

#### 4.2.3.2 Rodeiras

As rodeiras são deformações no pavimento em que a orientação é normalmente longitudinal, desenvolvendo-se, na periferia da passagem dos pneus dos veículos, que neste caso são maioritariamente autocarros. Este tipo de degradações a nível de importância são bastante significativas e são formadas devido ao défice de capacidade de suporte das camadas granulares e da fundação, com o aparecimento de deformações permanentes.

Uma combinação de compactação insuficiente das camadas, tráfego lento e um deficiente dimensionamento faz com que este tipo de degradações ocorra com grande frequência. Existindo rodeiras, a água proveniente de chuvas ou de outras causas, acumula-se na zona rebaixada fazendo com que esta seja infiltrada nas camadas adjacentes e, assim degrada mais rapidamente o pavimento.

Na seguinte figura 4.30 pode-se observar um exemplo de deformação por rodeiras, na paragem Bus. Neste caso, trata-se de falta de suporte da camada da base e sub-base.



Figura 4.29 – Deformações por rodeiras na paragem de autocarros, Valongo

#### **4.2.3.3 Considerações Finais**

Esta obra, paragem de autocarros no centro de Valongo, localiza-se mais propriamente na Avenida 5 de Outubro, em Valongo. O objetivo principal passa por garantir uma nova superfície de rolamento sem empenamentos e/ou deformações, de forma a garantir aos utentes uma maior comodidade na sua circulação. Também com isto pretende-se a diminuição de quedas acidentais por parte dos utentes dos transportes urbanos, como se verificou algumas vezes.

#### **4.2.4 Rua Vilar – Ermesinde**

Esta rua não foi propriamente dimensionada, realizou-se um estudo de impacto ao nível da degradação no pavimento, derivado do aumento de tráfego provocado pelo encerramento da A41, aquando do aluimento junto ao nó com a A3.

#### 4.2.4.1 Localização



Figura 4.30 – Localização da Rua Vilar

#### 4.2.4.2 Patologias

Esta via apresenta sinais de degradação muito elevados, pois é uma zona onde transitam muitos veículos pesados derivado às zonas industriais circundantes e também encontra-se perto de uma entrada/saída de autoestrada. Da observação no local, identificaram-se várias patologias no pavimento em que serão expostas de seguida. É a via mais importante de ligação entre Maia/Alfena e Valongo.

#### 4.2.4.3 Ondulações no Pavimento

Na seguinte figura 4.32 identifica-se a patologia: ondulação. A ondulação é uma deformação transversal do pavimento, contendo elevações ou depressões. Ocorrem frequentemente na camada de desgaste. A ação do tráfego é um fator muito preponderante para o aparecimento desta patologia, bem como uma má compactação da fundação, má distribuição do ligante, na quantidade excessiva de agregados finos, ou no arrastamento das camadas betuminosas por excessiva deformação plástica.



Figura 4.31 – Ondulação no pavimento, Valongo

#### 4.2.4.4 Desagregação Superficial

A desagregação superficial resulta do facto dos agregados mais grossos se soltam da restante estrutura devido a uma evolução da patologia cabeça de gato. Foi explicitado anteriormente com mais pormenor o que é uma cabeça de gato, e a seguinte figura 4.33 apresenta este tipo de patologia. Também se verifica alguma exsudação e algum material mal aplicado numa intervenção anterior.



a) Exemplo de desagregação superficial



b) Exemplo de desagregação superficial

Figura 4.32 – Desagregação superficial na Rua Vilar (2016)



## 5 ESTUDOS DE CASOS E DEFINIÇÃO DE INTERVENÇÕES

### 5.1 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS NO MUNICÍPIO

#### 5.1.1 Estudo de Tráfego

Segundo a figura 5.1, os mais importantes fatores que se deve ter em consideração no dimensionamento de qualquer tipo de pavimentos, quer sejam flexíveis, rígidos ou semirrígidos são o tráfego, temperatura e a velocidade. A ação mais agressiva para o pavimento é a ação do tráfego que conjugada com velocidades baixas e temperaturas elevadas torna-se altamente agressivo para a integridade estrutural do pavimento. Para um correto dimensionamento do pavimento deve-se apenas contabilizar o tráfego de pesados bem como materiais e espessuras dependendo também da localização em que se vai realizar a obra em questão. Segundo Cost (1999, p. 120), betume e ligantes semelhantes são materiais viscoelásticos e termo sensíveis. Isto significa que as suas propriedades mecânicas são fortemente dependentes da temperatura e do tempo de carregamento. A baixas temperaturas, eles podem ser considerados como materiais puramente elásticos. Sob estas condições o seu comportamento pode ser quantificado por meio de um único valor: o módulo de *Young* que é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido, sendo expresso em MPa ou N/mm.

Nas condições mais habituais, as propriedades dos ligantes betuminosos e de materiais compósitos, e seus derivados, (polímeros modificados, hidrocarbonetos) são fortemente dependentes da temperatura e da frequência de carga. Portanto, as suas propriedades mecânicas têm de ser determinadas ao longo das condições experimentadas *in situ*. Testes de carregamento dinâmico são os métodos experimentais mais convenientes na obtenção de tais características do material.

“A baixas temperaturas, baixos níveis de tensão instalada e altas frequências, os materiais betuminosos apresentam comportamento viscoelástico linear; enquanto que a elevadas temperaturas, elevados níveis de tensão e baixas frequências, estes materiais apresentam-se como visco-elastoplásticos” (COST, 1999).

Segundo o Manual de Conceção de Pavimentos, os eixos padrão adotados para pavimentos flexíveis são os eixos de 80 kN e para pavimentos semirrígidos e rígidos é usual adotar os eixos de 130 kN. Em Portugal é normalmente usado o eixo padrão de 80 kN. O período de dimensionamento considerado para pavimentos flexíveis e semirrígidos é de 20 anos e para pavimentos rígidos é de 30 anos. As categorias e

subcategorias são, a saber, F, G, H e I mais concretamente, F1, F2, F3, G1, H1, H2, H3, H5 e I1. Estas categorias e subcategorias dependem da configuração dos eixos, número de rodados e do seu tipo de ligação. As suas características encontram-se no Decreto-Lei nº 203/2007 de 28 de Maio (revoga o Decreto-Lei nº 99/2005) e no Decreto-Lei nº 133/2010 (revoga os Decretos-Lei nº 99/2005 e 203/2007). Na seguinte figura 5.2, pode-se ver um exemplo mais concreto dos tipos de veículos de cada categoria.

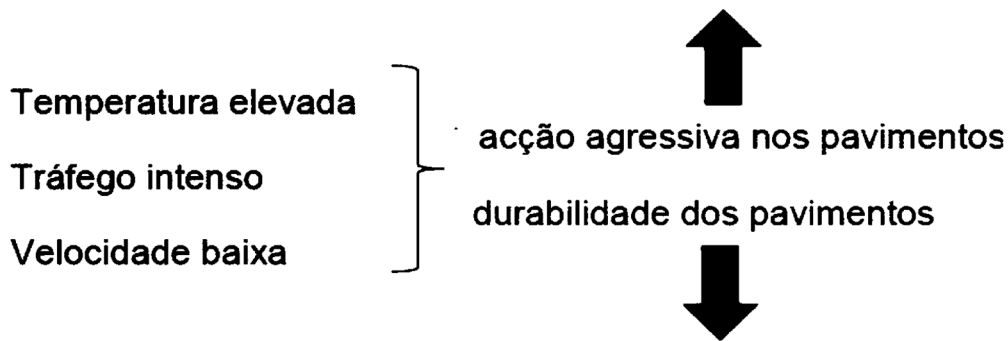


Figura 5.1 - Temperatura, tráfego e velocidade a conjugação das ações (JACOB, 2015)

VEÍCULOS		CONTAGEM HORARIA												TOTAL
CAI	SILHETAS													
F 1														
F 2														
F 3														
G 1														
G 2														
G 3														
G 4														
G 5														
H 1														
H 2														
H 3														
H 5														
I 1														
I 2														

Figura 5.2 - Exemplo de um documento para contagem de veículos e tipos de veículos (MACOPAV, JAE 1995)

Procurou-se representar de forma mais atual as classes dos veículos, com imagens reais para melhor compreensão. Todos estes tipos de veículos pesados têm peso máximo associado ao número de eixos, em que é sintetizado na tabela 5.1.



a) Veículo pesado da categoria f1 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)



b) Veículo pesado categoria f2 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.3 – Categorias dos veículos

Na figura 5.3 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria f1, como está representado, tem dois eixos: um frontal e um traseiro. Por sua vez, o veículo pesado da categoria f2, está dotado de três eixos: um frontal e dois traseiros.



a) Veículo pesado da categoria f3 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)



b) Veículo pesado da categoria g1 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.4 – Categorias dos veículos

Na figura 5.4 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria f3, como está representado, tem quatro eixos: dois frontais e dois traseiros. Por sua vez, o veículo pesado da categoria g1, está dotado de quatro eixos em que dois são do semirreboque.



a) Veículo pesado da categoria g2 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

b) Veículo pesado da categoria g3 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.5 – Categorias dos veículos

Na figura 5.5 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria g2, como está representado, tem cinco eixos, em que três deles encontram-se no semirreboque. Por sua vez, o veículo pesado da categoria g3, está dotado de cinco eixos, em que dois deles se encontram no semirreboque.



a) Veículo pesado da categoria g4 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

b) Veículo pesado da categoria h1 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.6 - Categorias dos veículos

Na figura 5.6 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria g4, como está representado, tem seis eixos, em que três deles encontram-se no reboque. Por sua vez, o veículo pesado da categoria h1, está dotado de três eixos, em que um deles se encontram no reboque.



a) Veículo pesado da categoria h2 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)



b) Veículo pesado da categoria h3 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.7 - Categorias dos veículos

Na figura 5.7 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria h2, como está representado, tem quatro eixos, em que dois deles encontram-se no reboque. Por sua vez, o veículo pesado da categoria h3, está dotado de cinco eixos, em que três deles se encontram no reboque.



a) Veículo pesado da categoria h5 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)



b) Veículo pesado da categoria h6 (EUROPA-CAMIÕES, 2016)

Figura 5.8 - Categorias dos veículos

Na figura 5.8 pode-se observar dois veículos pesados, em que o veículo da categoria h5, como está representado, tem cinco eixos, em que dois deles encontram-se no reboque. Por sua vez, o veículo pesado da categoria h6, está dotado de seis eixos, em que três deles se encontram no reboque.



a) Veículo pesado da categoria i1  
(AUTOHOJE, 2016)



b) Veículo pesado da categoria i2  
(AUTOHOJE, 2016)

Figura 5.9 - Categorias dos veículos

Na figura 5.9 pode-se observar dois veículos pesados de passageiros, em que o veículo da categoria i1, como está representado, tem dois eixos. Por sua vez, o veículo pesado da categoria i2, está dotado de três eixos. Estes veículos pesados também são conhecidos como autocarros ou BUS (designação internacional).

O tráfego é constituído por diferentes tipos de veículos, dentro dos quais, velocípedes, tratores agrícolas, camiões de transporte e autocarros. Para um correto dimensionamento dos pavimentos rodoviários, somente o tráfego de veículos pesados é contabilizado. Em Portugal, é o Decreto-lei nº 133/2014 que divulga o peso máximo dos veículos, como é representado na tabela 5.2.

Tabela 5.1 – Peso máximo das diferentes tipologias de veículos pesados (JACOB, 2015)

Tipologia do veículo	Peso máximo (toneladas)
A motor	
De dois eixos	19
De três eixos	26
De quatro ou mais eixos	32
Autocarros articulados de três eixos	28
Autocarros articulados de quatro ou mais eixos	32
Conjunto trator – semi-reboque	
De três eixos	29
De quatro eixos	38
De cinco ou mais eixos	40
De cinco ou mais eixos transportando um contentor ISSO de 40 pés	44
Conjunto motor-reboque	
De três eixos	29
De quatro eixos	37
De cinco ou mais eixos	40
Reboques	
De um eixo	10
De dois eixos	18
De três ou mais eixos	20

Neste decreto também se encontra definido o peso máximo para os diferentes tipos de eixos, eixo simples, eixo tandem e eixo tridem. O eixo simples é um tipo de eixo que tem um rodado em cada extremidade, já o eixo tandem tem dois rodados e o eixo tridem tem três rodados. A evolução da população também deve ser considerada no dimensionamento do pavimento. Esta pode fazer com que a região onde se insere a obra seja mais ou menos evoluída ao nível das infraestruturas rodoviárias dependendo, claro está, das suas necessidades. Para isso deve-se usar a seguinte expressão (5.1) que é usada para calcular o número de eixos padrão.

$$N = TMDAp \times g \times 365 \times \alpha \quad (5.1)$$

$$g = \sum_{i=1}^n (1 + t)^{(n-1)} \tag{5.2}$$

onde:

$N$  – número de eixos padrão;

$TMDA_p$  – Tráfego Médio Diário Anual de pesados;

$t$  – taxa de crescimento anual;

$g$  – fator de crescimento em função do período de dimensionamento;

$n$  – tempo de vida útil do pavimento (anos);

$\alpha$  – fator de agressividade (tabela seguinte).

Para ajudar no dimensionamento, o Manual de Pavimentação da CEPISA criou um quadro em que descreve o Tráfego médio diário anual pesados, por classes (T0 a T7).

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) <sup>a</sup>	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>c</sup>	Eixo 130 kN <sup>b</sup>
T <sub>7</sub>	< 50	Estudo específico			
T <sub>6</sub>	50 - 150	3	2	0,3	0,5
T <sub>5</sub>	150 - 300		3	0,4	0,6
T <sub>4</sub>	300 - 500	4	4	0,6	0,7
T <sub>3</sub>	500 - 800		4,5	0,7	0,8
T <sub>2</sub>	800 - 1200	5	5	0,7	0,9
T <sub>1</sub>	1200 - 2000		5,5	0,8	1,0
T <sub>0</sub>	> 2000	Estudo específico			

Figura 5.10 - Caracterização das classes de tráfego (JIMENÉZ, 2010)

$$N = TMDAp1 \times g \times n^\circ \text{ dias semana} \times \alpha + TMDAp2 \times g \times n^\circ \text{ dias f. semana} \times \alpha \tag{5.3}$$

onde:

$N$  – número de eixos padrão;

$TMDA_{p1}$  – Tráfego Médio Diário Anual em dias da semana;

$TMDA_{p2}$  – Tráfego Médio Diário Anual em dias de fim-de-semana;

$t$  – taxa de crescimento anual;

$g$  – fator de crescimento em função do período de dimensionamento;

$\alpha$  – fator de agressividade.

### 5.1.2 Temperatura

Falando agora um pouco das ações da temperatura, estas têm um papel preponderante, principalmente nos pavimentos flexíveis e têm forte impacto no desempenho ao nível estrutural do mesmo. Na temperatura é muito importante saber qual a temperatura de serviço equivalente anual que cada camada betuminosa tem, dependendo claro está da sua espessura adotada. A temperatura por si só é uma forte condicionante para o dimensionamento correto do pavimento, pois dependendo da zona em questão (quente, temperada ou fria), o tipo de betuminoso utilizado e as espessuras vão ser diferentes.

Outras das ações também ela importante é o caso da velocidade de tráfego. As velocidades de tráfego inferiores a 50 km/h causam uma descida acentuada do módulo de deformabilidade (E) e abaixo dos 20 km/h essa descida é ainda mais acentuada.

No dimensionamento dos pavimentos flexíveis, é imperativo saber todos os dados necessários ao nível da temperatura, uma vez que esta condiciona muito o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa (E). Sendo assim, existem vários métodos para o cálculo da temperatura de serviço, mas neste relatório será usado o método da *SHELL* (SHELL, 1977).

De forma a calcular a temperatura de serviço corretamente, é necessário conhecer a temperatura média mensal anual do local onde se insere a obra. Para isso é necessário saber corretamente a temperatura do ar no distrito em que a obra vai ser realizada para retirar com maior exatidão as temperaturas de serviço das camadas betuminosas.

### 5.1.2.1 Método da Shell

O método da *SHELL* é o método mais usado no dimensionamento de pavimentos. Este método relaciona as profundidades com a temperatura de projeto em que seguidamente é consultado um ábaco para retirar a temperatura de serviço. Na mistura betuminosa, que por sua vez depende da temperatura equivalente do ar anual. Existe também neste método de cálculo um fator de ponderação ( $W$ ) que é obtido através da seguinte expressão:

$$W = 0,0723 \times e^{0,1296 \times T_{mma}} \quad (5.4)$$

onde:

$W$  – Fator de Ponderação;

$T_{mma}$  – Temperatura Média Mensal Anual (°C).

Este fator de ponderação deve ser calculado para todos os meses do ano, e de seguida calcular a média para assim obter um valor médio.

Também o método da *SHELL* implica que se calcule a Temperatura Média Mensal Anual Ponderada,  $T_{MMAp}$ , que é obtida pela seguinte expressão:

$$T_{MMAp} = 7,7068 \times \ln(W_{médio}) + 20,257 \quad (5.5)$$

onde:

$T_{MMAp}$  – Temperatura Média Mensal Anual Ponderada (°C);

$W_{médio}$  – Média dos vários meses do Fator de Ponderação.

Obtendo o  $T_{MMAp}$  o passo seguinte será analisar graficamente segundo o gráfico da *SHELL*, que se encontra na figura 5.11, o valor de temperatura para cada uma das camadas betuminosas, tendo em conta que o zero de referência se encontra no topo da camada. No cálculo da temperatura das camadas, a espessura para as camadas inferiores à de desgaste deve contabilizar a espessura das camadas anteriores. Mais à frente é apresentado um esquema elucidativo para explicitar detalhadamente o processo de cálculo das temperaturas nas camadas.

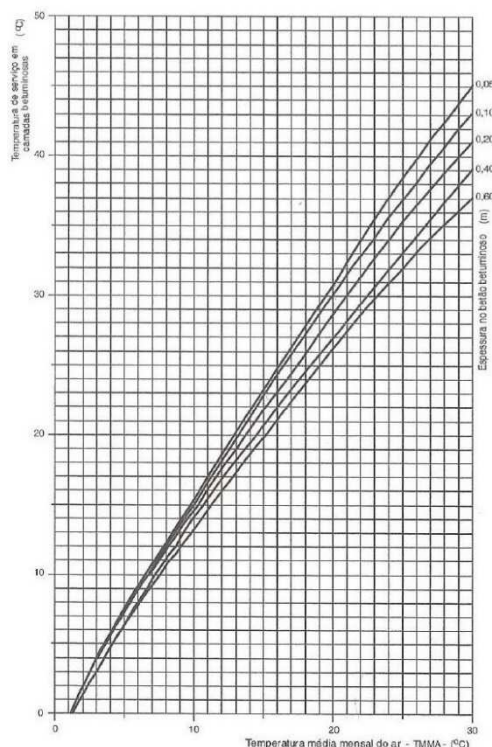


Figura 5.11 – Gráfico da SHELL (SHELL, 1977)

### 5.1.3 Solo de Fundação

A capacidade do suporte do solo de fundação, que em grandes obras é de uma importância extrema, e o seu conhecimento é imperativo para um correto dimensionamento de um pavimento rodoviário. Durante muitos anos, esta capacidade de suporte do solo de fundação era também conhecida pelo seu CBR – *California Bearing Ratio*, que é um método de descobrir a capacidade de carga de um solo. Este método é em função da força necessária para fazer penetrar, a certa velocidade (1mm/min), um cilindro de aço de 50 mm de diâmetro, até uma certa profundidade (2,5 mm e 5,0 mm), num provete de solo compactado num molde e sujeito previamente a imersão em água durante 4 dias (BRANCO, 2006).

Para realizar um correto dimensionamento deve-se conhecer corretamente as características do solo de fundação, também conhecidas como propriedades elásticas, a saber, o seu módulo de deformabilidade e coeficiente de *Poisson*, em que este segundo o Vocabulário de Estradas e Aeródromos (1962, p. 61) é uma “Constante elástica de um corpo homogéneo e isotropo, que define a relação entre a extensão principal mínima e a extensão principal máxima, quando o corpo está em estado de tensão simples.” O coeficiente de Poisson para o solo de fundação será de 0,45. Para esta camada vamos adotar dois métodos de dimensionamento um pouco distintos, *Powell e Shell*.

### 5.1.3.1 Powell

A expressão de *Powell* foi uma relação proposta na Grã-Bretanha em que se traduz da seguinte forma: (POWELL, 1984)

$$E_f = 17,6 \times CBR^{0,64} \quad (5.6)$$

onde:

$E_f$  – Módulo de deformabilidade do solo de fundação, em MPa;

$CBR$  – California Bearing Ratio, em %.

A expressão de *Powell* foi previamente testada para valores de  $CBR$  na ordem de 2 a 12 %, e relaciona os valores do módulo determinado por propagação de vibrações com valores do  $CBR$  retirados *in situ* (BRANCO, 2006).

### 5.1.3.2 Shell

O modelo da *Shell* também é usado para o cálculo do módulo de deformabilidade do solo de fundação, em que é definido na seguinte expressão: (SHELL, 1985)

$$E_f = 10 \times CBR \quad (5.7)$$

onde:

$E_f$  – módulo de deformabilidade do solo de fundação, em MPa;

$CBR$  – California Bearing Ratio, em %.

Esta fórmula assenta num valor médio, pois para um mesmo valor de  $CBR$ , o valor de  $E_f$  pode variar de 5 x  $CBR$  a 20x  $CBR$ , daí usar-se um valor médio de 10 x  $CBR$ .

Apesar de não existir uma relação entre estas duas grandezas, módulo de deformabilidade e o  $CBR$ , a expressão da *SHELL* é um valor muito razoável quando existe a impossibilidade de dados adicionais obtidos por ensaios mais vocacionados para comprovar esta relação (SHELL, 1985), sendo muito usada na comunidade projetista.

### 5.1.4 Camada de Sub-Base ou Base Granulares (ABGE)

O módulo de deformabilidade da Sub-Base é em muito relacionado com a camada adjacente, pois quanto maior o valor do módulo de deformabilidade da fundação, maior o valor deste. O coeficiente de *Poisson* para esta camada é considerado uma média de valores entre 0,30 e 0,40, ou seja, 0,35. Este valor foi

adotado do MACOPAV. A seguinte expressão determina o valor do módulo de deformabilidade e é a seguinte (CLAESSEN, 1997):

$$E_s = E_f \times (0,2 \times h_s^{0,45}) \quad (5.8)$$

onde:

$E_s$  – módulo de deformabilidade da sub-base, em MPa;

$E_f$  – módulo de deformabilidade do solo de fundação, em MPa;

$h_s$  – espessura da camada, em mm.

### 5.1.5 Camadas Betuminosas

#### 5.1.5.1 Modelo da Shell

As camadas betuminosas regem-se por um conjunto de fórmulas, fórmulas estas que encontram-se todas interligadas. O objetivo será obter um módulo de deformabilidade da mistura,  $E_{mb}$ .

$$E_{mb} = 10^A \quad (5.9)$$

onde:

$$A = \frac{S89 + S68}{2} \times (\log(S_b) - 8) + \frac{S89 - S68}{2} \times |\log(S_b) - 8| + Sm108 \quad (5.10)$$

onde:

$$S89 = 1,12 \times \left( \frac{Sm3109 - Sm108}{\log(30)} \right) \quad (5.11)$$

$$S68 = 0,6 \times \log \frac{1,37 \times Vb^2 - 1}{1,33 \times Vb - 1} \quad (5.12)$$

$$Sm3109 = 10,82 - \frac{1,342 \times (100 - Va)}{Va + Vb} \quad (5.13)$$

$$Sm108 = 8 + 5,68 \times 10^{-3} \times Va + 2,135 \times 10^{-4} \times Va^2 \quad (5.14)$$

onde:

$E_{mb}$  – módulo de deformabilidade da mistura betuminosa, em Pa;

$V_a$  – volume do agregado, em %;

$V_b$  – volume do betume, em %.

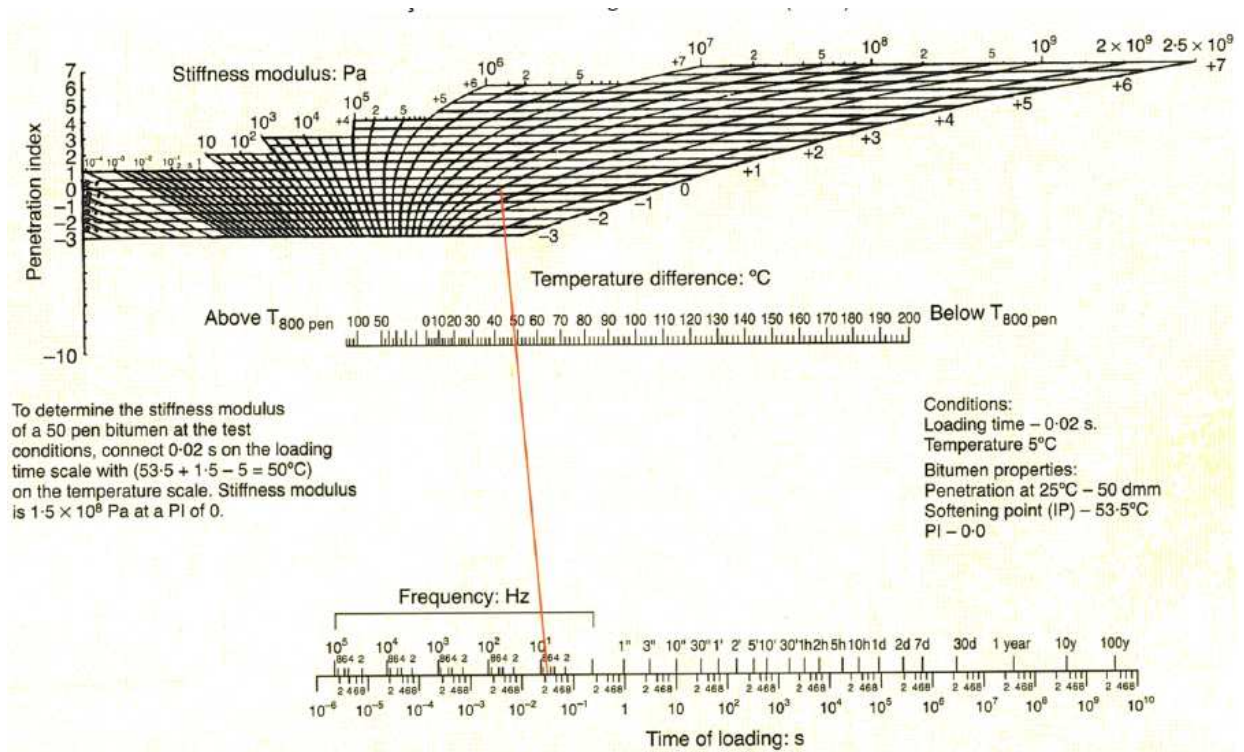


Figura 5.12 – Ábaco de *Van der Poel*, exemplo betume 35/50 (LOPES, 2008)

Pela análise gráfica do ábaco de *Van der Poel*, figura 5.12, poder-se-á retirar uma estimativa do módulo de rigidez do betume sabendo previamente o seu índice de penetração. Este gráfico elaborado por *Van der Poel* tinha uma grande desvantagem devido ao facto de ser um pouco impreciso aquando a sua consulta, o que levou *Ullidtz* e *Peatti* a desenvolver a seguinte expressão (BRANCO, 2006):

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t_c^{-0,368} \times 2,718^{-IPENr} \times (T_{AB} - T)^5 \quad (5.15)$$

$$t_c = \frac{1}{V} \quad (5.16)$$

onde:

$S_b$  – rigidez do betume, em MPa;

$T_{AB}$  – temperatura Anel e Bola, em °C;

$T$  – Temperatura da mistura betuminosa, em °C;

$t_c$  – tempo de carregamento, em s;

$V$  – velocidade, em Km/h.

$$IPEN_r = \frac{1951,55 - 500 \times \log(PEN_{25r}) - 20 \times T_{ABr}}{50 \times \log(PEN_{25r}) - T_{ABr} - 120,15} \quad (5.17)$$

$$T_{ABr} = 99,13 - 26,35 \times \log(PEN_{25r}) \quad (5.18)$$

$$PEN_{25r} = 0,65 \times PEN_{25} \quad (5.19)$$

onde:

$IPEN_r$  – índice de penetração reduzido;

$T_{ABr}$  – temperatura Anel e Bola reduzida, em °C;

$PEN_{25r}$  – penetração reduzida do betume a 25 °C reduzida, em °C;

$PEN_{25}$  – penetração do betume a 25 °C, em °C.

### 5.1.5.2 Modelo de Silvino Capitão (Alto Módulo)

Adotou-se o modelo de Capitão (CAPITÃO, 2009), em que chega-se ao módulo de deformabilidade através da seguinte expressão (5.20) e (5.21):

$$E_{MBAM} = 30231 - 2151,1 \times t_c - 331,9 \times T - 853,5 \times V_b - 16,94 \times \varepsilon_{Tadm} + 6,33 \times S_b \quad (5.20)$$

$$V_b = \frac{\%V_{bet} \times 2300}{1040} \quad (5.21)$$

onde:

$E_{MBAM}$  – módulo de deformabilidade de MBAM, em MPa;

$t_c$  – tempo de carregamento, em s;

$T$  – temperatura da mistura betuminosa, em °C;

$V_b$  – percentagem volumétrica de betume, em %;

$\varepsilon_{Tadm}$  – máxima extensão que é submetido o material, em  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ;

$S_b$  – rigidez do betume, em MPa;

$V_{bet}$  – volume de betume da mistura em massa, em %.

O  $V_b$  é obtido em relação à percentagem de betume da mistura em massa, através da aplicação da expressão (5.21). As percentagens de betume, segundo Pimentel (2013), sendo dado como certo que não existe uma percentagem de betume exata, que garanta todas as exigências funcionais de uma determinada mistura betuminosa, procurou-se no presente estudo determinar uma percentagem de betume que melhor cumpra as diversas exigências requeridas. Para a formulação de uma determinada mistura betuminosa deve-se ter em conta a finalidade e condições de colocação em obra. Neste estudo é proposto um método de compactação laboratorial que simula as condições verificadas em obra.

Seguindo o estudo de (PIMENTEL, 2013) em que foram considerados vários provetes com percentagens de betume de 4% a 6%, em que entre estes valores teriam um incremento de 0,5%, ou seja, realizou-se o estudo para 5 provetes. Chega-se à conclusão que o valor médio de betume será de 5% em massa.

### 5.1.6 Extensões

Para finalizar o cálculo do pavimento, deve-se calcular as extensões admissíveis, sendo obtidas pelas seguintes expressões 5.22 e 5.23:

$$\varepsilon_t = (0,856 \times V_b + 1,08) \times E_{mb}^{-0,36} \times N_{80}^{-0,20} \quad (5.22)$$

onde:

$V_b$  – percentagem volumétrica de betume, em %;

$\varepsilon_t$  – extensão de tração, em microns;

$N_{80}$  – número de eixos padrão de 80 kN;

$E_{mb}$  – módulo de deformabilidade das misturas betuminosas, em Pa.

$$\varepsilon_v = 1,8 \times 10^{-2} \times N_{80}^{-0,25} \quad (5.23)$$

onde:

$\varepsilon_v$  – extensão vertical, em microns;

$N_{80}$  – número de eixos padrão de 80 kN.

## 5.2 PAVIMENTOS DIMENSIONADOS NO MUNICÍPIO DE VALONGO

### 5.2.1 Avenida Visconde de Oliveira Futuro Centro Cívico de Campo – Alameda da Igreja

Esta obra tem como o objetivo um novo traçado de estrada em frente à igreja da freguesia de Campo. Para isso procedeu-se ao cálculo da estrutura de pavimento e adotaram-se várias soluções. De seguida serão apresentados todos os cálculos, bem como plantas e imagens da zona onde sofrerá a intervenção. A velocidade adotada foi de 40 Km/h.

#### 5.2.1.1 Planta Antes da Intervenção



Figura 5.13 – Planta com a identificação da Avenida Visconde Oliveira

Esta figura 5.13 mostra a planta em que o local se insere e a cor vermelha representa as intervenções que irão ocorrer, desde a estrada, estacionamentos, entre outros pormenores.

### 5.2.1.2 Planta Final



Figura 5.14 – Nova planta da Avenida Visconde Oliveira pormenor da estrada (2016)

Nesta figura 5.14 tem-se uma visão geral da implementação da estrada e das obras envolventes a esta. Como se pode observar, esta estrada não terá uma grande extensão, e insere-se num arranjo urbanístico.

### 5.2.1.3 Programa

O dimensionamento foi realizado com base no programa desenvolvido nesta tese/relatório de estágio, e tem como objetivo principal a otimização e rapidez do dimensionamento do pavimento. As bases de cálculo já foram referidas anteriormente, e de seguida apresentam-se todos os cálculos necessários para um correto dimensionamento. A base e código de programação do programa desenvolvido encontram-se em anexo e com o manual de utilizador, no Anexo A.

### 5.2.1.4 TMDAp

Esta obra é inserida numa zona em que o nível de tráfego de veículos pesados não é muito significativo, daí considerar-se um Tráfego Médio Diário Anual de Pesados na ordem de 50 veículos pesados por dia. Segundo o Manual de Pavimentação, este valor de veículos pesados por dia corresponde a uma classe de tráfego T6.

### 5.2.1.5 Solo de Fundação

O solo de fundação tem características muito importantes no dimensionamento do pavimento, pois o valor do CBR dita, em muito, a capacidade resistente do solo para com as forças que irão atuar nas camadas adjacentes e posteriormente transmitidas para o solo. O valor adotado, com base em analogias a pavimentos adjacentes, foi de 7 %. Este valor de 7 % será para salvaguardar o dimensionamento pelo lado da segurança.

Para um correto dimensionamento, o ideal seria fazer ensaios ao solo por forma a obter um valor de CBR mais real.

### 5.2.1.6 Sub-Base

A sub-base considerada é constituída por ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa), com 30 cm de espessura. Os cálculos serão apresentados nas seguintes figuras.

The screenshot shows a software window titled 'Cálculo' with a close button (X) in the top right corner. The window has three tabs: 'Camadas Granulares', 'Camadas Betuminosas', and 'Camadas Hidráulicas'. The 'Camadas Granulares' tab is selected and highlighted. Below the tabs, the text 'CAMADAS GRANULARES' is displayed. The interface contains several input fields and buttons:

- 'CBR Solo' is a dropdown menu set to '7%'.
- 'Módulo Solo (SHELL)' is a text input field containing '70 MPa', with a radio button selected next to it.
- 'Módulo Solo (POWELL)' is an empty text input field with an unselected radio button next to it.
- 'Espessura Sub-Base' is a dropdown menu set to '30 cm'.
- 'E Sub-Base' is a text input field containing '182,32 MPa'.
- On the right side, there are three radio buttons labeled 'Camadas Granulares', 'Camadas Betuminosas', and 'Camadas Hidráulicas', all of which are unselected.
- At the bottom center, there is a 'GUARDAR' button with a red document icon.
- At the bottom right, there is a 'PROSSEGUIR' button.

Figura 5.15 – Módulo de deformabilidade do solo e sub-base (PAVDim, 2016)

Esta figura 5.15 apresenta o módulo de deformabilidade do solo, em que, segundo o método da *Shell*, é de 70 MPa. O módulo de deformabilidade da sub-base é obtido em função do módulo de deformabilidade do solo, e tem um valor de 182,32 MPa.

### 5.2.1.7 Temperatura

Tendo por base o *WeatherOnline*, retirou-se as temperaturas máximas e mínimas registadas no distrito do Porto nos últimos 20 anos, e de seguida os dados foram inseridos no programa PAVDim.

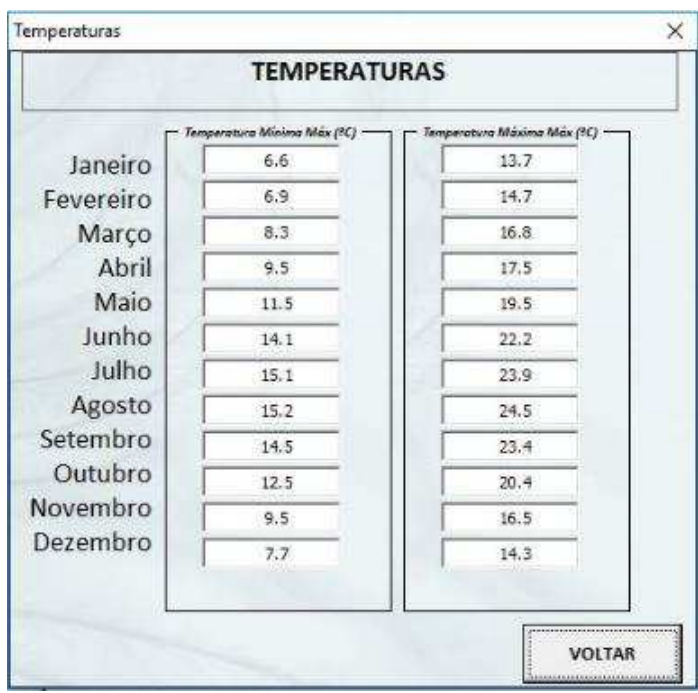


Figura 5.16 – Temperaturas máximas e mínimas registadas nos últimos 20 anos (WEATHERONLINE)

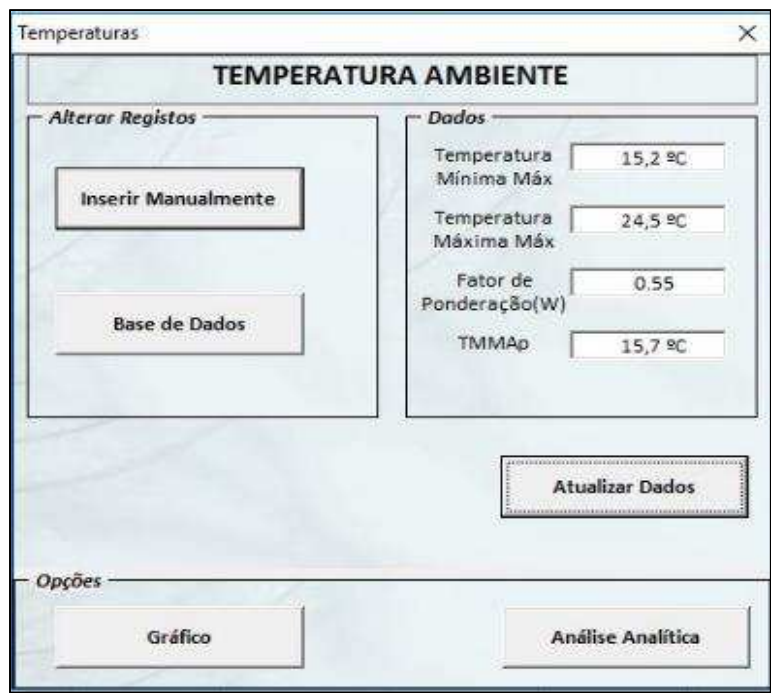


Figura 5.17 – Menu principal da Temperatura Ambiente (PAVDim, 2016)

**5.2.1.8 Temperatura das Camadas – Método Analítico**

Este método foi desenvolvido durante a elaboração do programa PAVDim, e traduz-se na adaptação do método gráfico da Shell. Esta análise é de uma certa forma mais correta, pois uma análise gráfica acarreta

sempre erros, e principalmente usando o gráfico da Shell, em que este é um pouco expedito na forma de retirar as temperaturas. Na seguinte figura 5.18 serão apresentadas as temperaturas das camadas.

Camada	TMMAp (°C)	Espessura (cm)	Temperatura (°C)
Camada de Desgaste	15,7	5	24,74
Camada de Ligação	15,7		
Camada de Regularização	15,7	6	23,99
Camada de Base	15,7	8	23,18

Figura 5.18 – Temperatura das camadas (PAVDim, 2016)

Também poder-se-á retirar as temperaturas pelo método gráfico da *Shell*, embora o ideal será retirar as temperaturas pela análise analítica.

### 5.2.1.9 Camadas Betuminosas

A seguinte figura 5.19 indica a temperatura das camadas e suas respectivas espessuras. A partir destes dados é necessário obter uma ficha técnica dos betumes e dos agregados aplicados nas diversas camadas para retirar as percentagens de betume, agregado e volume de vazios. O betume utilizado é o betume corrente, 35/50 para todas as camadas, em que vem em anexo uma ficha técnica desta tipologia de betume.

<p><b>CAMADA DE DESGASTE</b></p> <p><i>Desgaste</i></p> <p>Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="24,74 °C"/></p> <p>Espessura <input type="text" value="5 cm"/></p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <p>% Betume (Volume) <input type="text" value="11"/></p> <p>% Agregado <input type="text" value="84"/></p> <p>% Volume Vazios <input type="text" value="5"/></p> <p>Velocidade (Km/h) <input type="text" value="40"/></p> <p>Pen25 <input type="text" value="50"/></p> <p>Tab (°C) <input type="text" value="58"/></p> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <p>Pen25r <input type="text" value="32.5"/> Sm108 <input type="text" value="9.984"/></p> <p>Tabr <input type="text" value="59.29"/> Sm3109 <input type="text" value="10.594"/></p> <p>IPENr <input type="text" value="-0.09409"/> S68 <input type="text" value="0.649"/></p> <p>tc <input type="text" value="0.025"/> S89 <input type="text" value="0.463"/></p> <p>Sb <input type="text" value="20.105"/> A <input type="text" value="9.531"/></p> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="3397,2 MPa"/></p> <p style="text-align: right;"><a href="#">Limpar</a></p>	<p><b>CAMADA DE LIGAÇÃO</b></p> <p><i>Ligação</i></p> <p>Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value=""/></p> <p>Espessura <input type="text" value=""/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <p>% Betume (Volume) <input type="text" value=""/></p> <p>% Agregado <input type="text" value=""/></p> <p>% Volume Vazios <input type="text" value=""/></p> <p>Velocidade (Km/h) <input type="text" value=""/></p> <p>Pen25 <input type="text" value=""/></p> <p>Tab (°C) <input type="text" value=""/></p> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <p>Pen25r <input type="text" value=""/></p> <p>Tabr <input type="text" value=""/></p> <p>IPENr <input type="text" value=""/></p> <p>tc <input type="text" value=""/></p> <p>Sb <input type="text" value=""/></p> <p>Vb <input type="text" value=""/></p> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value=""/></p> <p style="text-align: right;"><a href="#">Limpar</a></p>	<p><b>CAMADA DE REGULARIZAÇÃO</b></p> <p><i>Regularização</i></p> <p>Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="23,99 °C"/></p> <p>Espessura <input type="text" value="6 cm"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <p>% Betume (Volume) <input type="text" value="10"/></p> <p>% Agregado <input type="text" value="84"/></p> <p>% Volume Vazios <input type="text" value="6"/></p> <p>Velocidade (Km/h) <input type="text" value="40"/></p> <p>Pen25 <input type="text" value="50"/></p> <p>Tab (°C) <input type="text" value="58"/></p> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <p>Pen25r <input type="text" value="32.5"/> Sm108 <input type="text" value="9.984"/></p> <p>Tabr <input type="text" value="59.29"/> Sm3109 <input type="text" value="10.592"/></p> <p>IPENr <input type="text" value="-0.09409"/> S68 <input type="text" value="0.626"/></p> <p>tc <input type="text" value="0.025"/> S89 <input type="text" value="0.461"/></p> <p>Sb <input type="text" value="22.473"/> A <input type="text" value="9.578"/></p> <p>Vb <input type="text" value=""/></p> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="3780,93 MPa"/></p> <p style="text-align: right;"><a href="#">Limpar</a></p>	<p><b>CAMADA DE BASE</b></p> <p><i>Base</i></p> <p>Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="23,18 °C"/></p> <p>Espessura <input type="text" value="8 cm"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <p>% Betume (Volume) <input type="text" value="9"/></p> <p>% Agregado <input type="text" value="84"/></p> <p>% Volume Vazios <input type="text" value="7"/></p> <p>Velocidade (Km/h) <input type="text" value="40"/></p> <p>Pen25 <input type="text" value="50"/></p> <p>Tab (°C) <input type="text" value="58"/></p> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <p>Pen25r <input type="text" value="32.5"/> Sm108 <input type="text" value="9.984"/></p> <p>Tabr <input type="text" value="59.29"/> Sm3109 <input type="text" value="10.589"/></p> <p>IPENr <input type="text" value="-0.09409"/> S68 <input type="text" value="0.601"/></p> <p>tc <input type="text" value="0.025"/> S89 <input type="text" value="0.459"/></p> <p>Sb <input type="text" value="25.279"/> A <input type="text" value="9.625"/></p> <p>Vb <input type="text" value=""/></p> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="4215,5 MPa"/></p> <p style="text-align: right;"><a href="#">Limpar</a></p>
<p><a href="#">VER DESENHO</a></p>		<p><a href="#">CÁLCULO EXTENSÕES</a></p>	

Figura 5.19 – Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Emb (PAVDim, 2016)

### 5.2.1.10 Extensões

Na seguinte figura 5.13 serão apresentadas as extensões máximas admissíveis que devem ser superiores às extensões máximas verificadas num programa de cálculo comercial.

The screenshot displays the 'EXTENSÕES' window of the PAVDim software. It includes input fields for TMDAp (50), Classe (T6), Período de Dimensionamento (20), and Taxa de Crescimento Anual (3%). Under 'PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - CAMADAS CONSTITUINTES', the 'EIXO PADRÃO' is set to Eixo 80 kN with a value of 841042.8 and a Fator de Agressividade (a) of 2. The Fator de Agressividade (g) is 26.87. A section for 'Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?' is set to 'Sim' with a 50% reduction factor. The 'CAMADA DE DESGASTE' section shows an Emb Camada of 3397,2 MPa and 11% Betume. The calculated results are: EXTENSÃO TRACÇÃO = 2.54013342782855E-04 and EXTENSÃO VERTICAL = 5.943852E-04. A table of 'Factores de agressividade' is also visible.

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) <sup>a</sup>	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>c</sup>	Eixo 130 kN <sup>d</sup>
T <sub>7</sub>	< 50		Estudo específico		
T <sub>6</sub>	50 - 150	3	2	0,29	0,5
T <sub>5</sub>	150 - 300		3	0,43	0,6
T <sub>4</sub>	300 - 500	4	4	0,57	0,7
T <sub>3</sub>	500 - 800		4,5	0,65	0,8
T <sub>2</sub>	800 - 1200	5	5	0,72	0,9
T <sub>1</sub>	1200 - 2000		5,5	0,79	1,0
T <sub>0</sub>	> 2000		Estudo específico		

Figura 5.20 – Extensões admissíveis (PAVDim, 2016)

Nesta figura 5.20 também é possível retirar alguns dados do dimensionamento, entre os quais, o período de dimensionamento e o tráfego médio diário anual de pesados. Tem-se a atenção de colocar um fator de redução para os fins-de-semana, na ordem dos 50 %, e com isto reduzir um pouco a fadiga no pavimento. De seguida é apresentado o documento tipo gerado pelo programa de cálculo PAVDim, em que este contém módulos de deformabilidade das camadas betuminosas, espessuras, temperaturas e as extensões calculadas para o local com o tráfego adotado.

Na seguinte figura 5.21 é gerado um documento em que se representam as extensões das diferentes camadas betuminosas bem como outros dados que são pertinentes conhecer.

## PAVDIM

### RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

	Base	Regularização	Ligação	Desgaste
Módulos de Deformabilidade (MPa)	4215,50	3780,93	0,00	3397,20
Espessura (cm)	8	6	0	5
Temperatura das Camadas (°C)	23,18	23,99	0,00	24,74

### EXTENSÕES CALCULADAS

	$\epsilon_{Tracção}(\mu m)$	$\epsilon_{Vertical}(\mu m)$
Desgaste	254,01	594,39
Ligação	0,00	0,00
Regularização	224,48	594,39
Base	196,69	594,39

Figura 5.21 – Extensões admissíveis (PAVDim, 2016)

O valor da extensão para comparar com o programa de cálculo será o valor da camada de base em que este tem um valor na ordem de 196,69 *microns*. Compara-se este valor pois é nesta interação entre a camada de base e a camada de sub-base (ABGE) que estes valores são mais prejudiciais para o pavimento.

#### 5.2.1.11 Extensões Calculadas/Verificadas

Para se obterem as extensões verificadas, teve que se recorrer a um programa de cálculo comercial no mercado. Este programa possibilita o cálculo das extensões para um determinado pavimento. A figura 5.22 mostra os dados inseridos no programa de cálculo.

	Esp. {m}	M. Deformabilidade de [MPa]	C. Poisson	Material
Ligada	0,05	3397,2	0,35	Betume
Ligada	0,06	3780,93	0,35	Betume
Ligada	0,08	4215,5	0,35	Betume
Ligada	0,30	182,32	0,35	ABGE
Ligada	∞	70	0,45	Solo

Figura 5.22 – Dados inseridos no programa de cálculo

De acordo com a figura seguinte 5.23, podem-se visualizar os valores obtidos pelo programa de cálculo. Estes valores são posteriormente comparados para comprovar se o pavimento está corretamente dimensionado.

Esp. (m)	M. Deform (MPa)	C. Poisson	Z (m)	Extensões $\epsilon$ ( $\mu$ def)	SigmaT (MPa)	ExtensõesV ( $\mu$ def)	SigmaZ (MPa)
0,050	3397,2	0,350	0,000	55,0	0,413	-21,0	0,575
			0,050	19,8	0,299	64,5	0,510
0,060	3780,9	0,350	0,050	19,8	0,331	55,0	0,510
			0,110	-28,7	-0,042	72,1	0,272
0,080	4215,5	0,350	0,110	-28,7	-0,052	67,4	0,272
			0,190	-131,3	-0,728	123,8	0,057
0,300	182,3	0,350	0,190	-131,3	-0,002	309,6	0,057
			0,490	-124,6	-0,023	197,8	0,021
$\infty$	70,0	0,450	0,490	-124,6	0,002	270,6	0,021

Figura 5.23 – Extensões máximas admissíveis

O valor obtido no programa de cálculo deve ser inferior ao valor calculado anteriormente. Portanto segundo os cálculos do PAVDim, o valor da extensão no interface da camada de base é de 196,69 *microns*, superior ao obtido pelo programa de cálculo, em que este tem valores na ordem dos 131,3 *microns*. Pode-se também concluir que este valor do programa de cálculo tem uma margem de folga aproximadamente de 34 %, pelo lado da segurança.

Assim sendo, a nova estrutura terá a seguinte constituição, para um período de vida útil de 20 anos:

- 0,05 m de camada de desgaste em betão betuminoso 35/50;
- 0,06 m de camada de regularização em betão betuminoso 35/50 ;
- 0,08 m de camada de base betão betuminoso 35/50;
- 0,30 m de Sub-Base em (ABGE).

### 5.2.1.12 Novo Dimensionamento

Devido a problemas essencialmente do foro monetário, foi proposto um novo dimensionamento em que o período de vida útil do pavimento fosse apenas de 10 anos. Também esta redução de 50 % da vida útil do pavimento flexível, em que deve ser preferencialmente 20 anos, vai permitir que com novos cálculos seja possível reduzir o número de camadas ou a espessura.

Betumes X	<b>CAMADA DE DESGASTE</b>	<b>CAMADA DE LIGAÇÃO</b>	<b>CAMADA DE REGULARIZAÇÃO</b>	<b>CAMADA DE BASE</b>																																																																																																																																												
	<p><b>Desgaste</b>                  Temperatura Serviço da Camada: 24,61 °C                  Espessura: 6 cm</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td>11</td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td>84</td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td>5</td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td>40</td></tr> <tr><td>Pen25</td><td>50</td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td>58</td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td>32.5</td><td>Sm108</td><td>9.984</td></tr> <tr><td>Tabr</td><td>59.29</td><td>Sm3109</td><td>10.594</td></tr> <tr><td>IPENr</td><td>-0.09409</td><td>S68</td><td>0.649</td></tr> <tr><td>tc</td><td>0.025</td><td>S89</td><td>0.463</td></tr> <tr><td>Sb</td><td>20.5</td><td>A</td><td>9.537</td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade: 3440,4 MPa <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	11	% Agregado	84	% Volume Vazios	5	Velocidade (Km/h)	40	Pen25	50	Tab (°C)	58	Pen25r	32.5	Sm108	9.984	Tabr	59.29	Sm3109	10.594	IPENr	-0.09409	S68	0.649	tc	0.025	S89	0.463	Sb	20.5	A	9.537	<p><b>Ligação</b>                  Temperatura Serviço da Camada: <input type="text"/>                  Espessura: <input type="text"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text"/></td><td>S68</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text"/></td><td>S89</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text"/></td><td>A</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text"/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade: <input type="text"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text"/>	% Agregado	<input type="text"/>	% Volume Vazios	<input type="text"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text"/>	Pen25	<input type="text"/>	Tab (°C)	<input type="text"/>	Pen25r	<input type="text"/>	Sm108	<input type="text"/>	Tabr	<input type="text"/>	Sm3109	<input type="text"/>	IPENr	<input type="text"/>	S68	<input type="text"/>	tc	<input type="text"/>	S89	<input type="text"/>	Sb	<input type="text"/>	A	<input type="text"/>	Vb	<input type="text"/>			<p><b>Regularização</b>                  Temperatura Serviço da Camada: 23,49 °C                  Espessura: 10 cm</p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td>10</td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td>84</td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td>6</td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td>40</td></tr> <tr><td>Pen25</td><td>50</td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td>58</td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td>32.5</td><td>Sm108</td><td>9.984</td></tr> <tr><td>Tabr</td><td>59.29</td><td>Sm3109</td><td>10.592</td></tr> <tr><td>IPENr</td><td>-0.09409</td><td>S68</td><td>0.626</td></tr> <tr><td>tc</td><td>0.025</td><td>S89</td><td>0.461</td></tr> <tr><td>Sb</td><td>24.196</td><td>A</td><td>9.598</td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text"/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade: 3959,94 MPa <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	10	% Agregado	84	% Volume Vazios	6	Velocidade (Km/h)	40	Pen25	50	Tab (°C)	58	Pen25r	32.5	Sm108	9.984	Tabr	59.29	Sm3109	10.592	IPENr	-0.09409	S68	0.626	tc	0.025	S89	0.461	Sb	24.196	A	9.598	Vb	<input type="text"/>			<p><b>Base</b>                  Temperatura Serviço da Camada: <input type="text"/>                  Espessura: <input type="text"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text"/></td><td>S68</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text"/></td><td>S89</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text"/></td><td>A</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text"/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade: <input type="text"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text"/>	% Agregado	<input type="text"/>	% Volume Vazios	<input type="text"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text"/>	Pen25	<input type="text"/>	Tab (°C)	<input type="text"/>	Pen25r	<input type="text"/>	Sm108	<input type="text"/>	Tabr	<input type="text"/>	Sm3109	<input type="text"/>	IPENr	<input type="text"/>	S68	<input type="text"/>	tc	<input type="text"/>	S89	<input type="text"/>	Sb	<input type="text"/>	A	<input type="text"/>	Vb	<input type="text"/>		
% Betume (Volume)	11																																																																																																																																															
% Agregado	84																																																																																																																																															
% Volume Vazios	5																																																																																																																																															
Velocidade (Km/h)	40																																																																																																																																															
Pen25	50																																																																																																																																															
Tab (°C)	58																																																																																																																																															
Pen25r	32.5	Sm108	9.984																																																																																																																																													
Tabr	59.29	Sm3109	10.594																																																																																																																																													
IPENr	-0.09409	S68	0.649																																																																																																																																													
tc	0.025	S89	0.463																																																																																																																																													
Sb	20.5	A	9.537																																																																																																																																													
% Betume (Volume)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Agregado	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Volume Vazios	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Velocidade (Km/h)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Pen25	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Tab (°C)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Pen25r	<input type="text"/>	Sm108	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Tabr	<input type="text"/>	Sm3109	<input type="text"/>																																																																																																																																													
IPENr	<input type="text"/>	S68	<input type="text"/>																																																																																																																																													
tc	<input type="text"/>	S89	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Sb	<input type="text"/>	A	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Vb	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Betume (Volume)	10																																																																																																																																															
% Agregado	84																																																																																																																																															
% Volume Vazios	6																																																																																																																																															
Velocidade (Km/h)	40																																																																																																																																															
Pen25	50																																																																																																																																															
Tab (°C)	58																																																																																																																																															
Pen25r	32.5	Sm108	9.984																																																																																																																																													
Tabr	59.29	Sm3109	10.592																																																																																																																																													
IPENr	-0.09409	S68	0.626																																																																																																																																													
tc	0.025	S89	0.461																																																																																																																																													
Sb	24.196	A	9.598																																																																																																																																													
Vb	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Betume (Volume)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Agregado	<input type="text"/>																																																																																																																																															
% Volume Vazios	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Velocidade (Km/h)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Pen25	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Tab (°C)	<input type="text"/>																																																																																																																																															
Pen25r	<input type="text"/>	Sm108	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Tabr	<input type="text"/>	Sm3109	<input type="text"/>																																																																																																																																													
IPENr	<input type="text"/>	S68	<input type="text"/>																																																																																																																																													
tc	<input type="text"/>	S89	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Sb	<input type="text"/>	A	<input type="text"/>																																																																																																																																													
Vb	<input type="text"/>																																																																																																																																															
	VER DESENHO	CÁLCULO EXTENSÕES																																																																																																																																														

Figura 5.24 – Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Bem da nova estrutura (PAVDim, 2016)

**EXTENSÕES**

TMDAp: 50      Classe: T6  
 Período de Dimensionamento (Anos): 10      Taxa de Crescimento Anual: 3%

**PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - CAMADAS CONSTITUINTES**

**EIXO PADRÃO**  
 Eixo 80 kN: 358819.4      Fator de Agressividade (α) (MACOPAV): 2  
 Eixo 130kN:      β: 11.46

*Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?*  
 Sim      Fator de Redução (%): 50  
 Não

Camada de Desgaste | Camada de Ligação | Camada de Regularização | Camada de Base

**CAMADA DE DESGASTE**  
 Emb Camada: 3440,4 MPa      % Betume: 11 %

**EXTENSÃO TRACÇÃO**      **EXTENSÃO VERTICAL**  
 εTracção: 2.99826147966087E-04      εVertical: 7.354506E-04

GUARDAR      E-MAIL      MENU INICIAL

Figura 5.25 – Extensões admissíveis no novo dimensionamento (PAVDim, 2016)

Esp. {m}	M. Deformabilidade de {MPa}	C. Poisson	Material
Ligada	0,06	0,35	Betume
Ligada	0,10	0,35	Betume
Ligada	0,30	0,35	ABGE
Ligada	∞	0,45	Solo

Figura 5.26 – Dados inseridos no programa de cálculo

Esp. {m}	M. Deform {MPa}	C. Poisson	Z {m}	Extensões <sup>t</sup> (μdef)	SigmaT (MPa)	Extensões <sup>v</sup> (μdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	3440,4	0,350	0,000	63,8	0,496	-47,3	0,575
			0,060	8,9	0,222	66,4	0,450
0,100	3959,9	0,350	0,060	8,9	0,252	55,7	0,450
			0,160	-163,0	-0,856	156,8	0,075
0,300	182,3	0,350	0,160	-163,0	-0,001	402,5	0,075
			0,460	-155,0	-0,028	242,6	0,026
∞	70,0	0,450	0,460	-155,0	0,002	332,1	0,026

Figura 5.27 – Extensões máximas admissíveis no novo dimensionamento

## PAVDIM

### RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

	<u>Base</u>	<u>Regularização</u>	<u>Ligação</u>	<u>Desgaste</u>
Módulos de Deformabilidade (MPa)	0,00	3959,94	0,00	3440,40
Espessura (cm)	0	10	0	6
Temperatura das Camadas (°C)	0,00	23,49	0,00	24,61

### EXTENSÕES CALCULADAS

	$\epsilon_{Tracção}(\mu m)$	$\epsilon_{Vertical}(\mu m)$
<b>Desgaste</b>	299,83	735,45
<b>Ligação</b>	0,00	0,00
<b>Regularização</b>	261,78	735,45
<b>Base</b>	0,00	0,00

Figura 5.28 – Extensões admissíveis para o novo dimensionamento (PAVDim, 2016)

Como se pode observar nas anteriores figuras, este novo dimensionamento contempla duas camadas e um período de vida útil de 10 anos. Contudo é preciso esclarecer que este dimensionamento é um tipo de dimensionamento não comum, pois é apenas para metade do tempo previsto. Esta nova solução cumpre todas as imposições para um correto dimensionamento, e pode-se concluir que existe uma margem de folga de aproximadamente 38 %, pelo lado da segurança.

## 5.2.2 Avenida 5 de Outubro – Paragem do Autocarro

Esta intervenção incidirá na recuperação total da paragem de autocarros situada na Avenida 5 de Outubro. As suas características a nível de acabamento da superfície de rolamento não vão ser modificadas, pelo que o cubo será reutilizado. Este dimensionamento é realizado para dotar o pavimento com uma vida útil de 20 anos, como se tratasse de um pavimento flexível, ou semirrígido.

### 5.2.2.1 Enquadramento da Obra

A seguinte figura 5.29 apresenta a configuração da atual paragem dos autocarros.



Figura 5.29 – Paragem de Autocarros Avenida 5 de Outubro, Valongo

Como é perceptível, esta zona encontra-se fortemente afetada pela deformação devido aos autocarros, e uma intervenção ao nível estrutural é indispensável. Esta intervenção requer uma mudança das várias camadas, o que leva a um encerramento temporário desta paragem de autocarros. Este encerramento pode durar vários dias, pois deve-se ter em conta a adequada cura do betão.



Figura 5.30 – Deformação de rodeiras longitudinais na Avenida 5 de Outubro, Valongo

### 5.2.2.2 Cálculo

Este dimensionamento foi feito com base no programa desenvolvido nesta tese/relatório de estágio, e tem como objetivo principal a otimização e rapidez do dimensionamento do pavimento. As bases de cálculo já foram referidas anteriormente, e de seguida apresenta-se todos os cálculos necessários para um correto dimensionamento.

### 5.2.2.3 TMDAp

Esta obra é inserida numa zona em que o nível de tráfego de veículos pesados é significativo, daí considerar-se um Tráfego Médio Diário Anual de Pesados na ordem de 200 veículos pesados por dia. Segundo o Manual de Pavimentação, este valor de veículos pesados por dia corresponde a uma classe T5. De seguida é apresentada a tabela 5.2, em que é explicitado os diferentes tipos de autocarros que param nesta paragem.

Tabela 5.2 – Tráfego na paragem da Avenida 5 de Outubro, Valongo

Operador	Linha	n° circulações/dia
STCP - Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, SA	700, 705, 7M	82
VALPI BUS	61	30
Resende Urbanos	107, 121	54
ET Gondomarense	50	30
	Somatório	194

#### 5.2.2.4 Solo de Fundação

O solo de fundação tem características muito importantes no dimensionamento do pavimento, pois o valor do CBR dita, em muito, a capacidade resistente do solo para com as forças que irão atuar nas camadas adjacentes e posteriormente transmitidas para o solo. O valor adotado, com base em analogias a pavimentos adjacentes, foi de 7 %. Para um correto dimensionamento o ideal seria fazer ensaios ao solo de forma a obter um valor de CBR correto, mas este valor que se considerou acaba por ser conservativo.

#### 5.2.2.5 Sub-Base

A sub-base considerada é constituída por ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa), com 15 cm de espessura. Os cálculos são apresentados nas seguintes figuras.

The screenshot shows a software window titled 'Cálculo'. At the top, there are three tabs: 'Camadas Granulares', 'Camadas Betuminosas', and 'Camadas Hidráulicas'. The 'Camadas Granulares' tab is active, displaying the title 'CAMADAS GRANULARES'. Below the title, there are several input fields and buttons:

- 'CBR Solo' is set to 7%.
- 'Espessura Sub-Base' is set to 15 cm.
- 'Módulo Solo (SHELL)' is set to 70 MPa.
- 'E Sub-Base' is calculated as 133,47 MPa.
- There is a 'Módulo Solo (POWELL)' field which is currently empty.
- On the right side, there are three radio buttons: 'Camadas Granulares' (selected), 'Camadas Betuminosas', and 'Camadas Hidráulicas'.
- At the bottom right, there is a 'PROSSEGUIR' button.
- At the bottom center, there is a 'GUARDAR' button with a PDF icon.

Figura 5.31 – Módulo de deformabilidade do Solo e Sub-Base (PAVDim, 2016)

### 5.2.2.6 Base

A base nesta obra, como será bastante solicitada devido ao peso dos autocarros parados, optou-se por uma base rígida em betão pobre C16/20 com uma classe de consistência S1 ou S2. A dosagem de cimento será na ordem de 70 a 100 kg/m<sup>3</sup>. O módulo de deformabilidade para esta camada de 15 cm em betão pobre é valor tabelado, na ordem dos 10000 MPa e o valor do coeficiente de Poisson é de 0,20, embora que segundo JAE (1995) este valor do módulo de deformabilidade seja mais alto, na ordem dos 20000 MPa.

### 5.2.2.7 Almofada de Areia

Este tipo de obras, em que a última camada tem um acabamento em cubos de granito deve conter entre a camada rígida de base e os cubos da camada de desgaste, uma almofada de areia na ordem dos 4 a 6 cm. Esta camada tem como objetivo principal preparar o terreno para a aplicação dos cubos. Na seguinte figura 5.32 tem-se um exemplo elucidativo de uma almofada de areia.



Figura 5.32 – Exemplo tipo de uma almofada de areia (PIZARRAS BERNARDOS)

A resistência da areia é desprezável ao nível do cálculo, daí não ser considerada no dimensionamento do pavimento.

#### 5.2.2.8 Camada de Paralelepípedos

A camada de desgaste ou rolamento dos autocarros será em paralelepípedos de granito em que terão medidas 11cm × 11cm x 21cm, em que estas poderão. Esta camada tem um módulo de deformabilidade na ordem dos 20000 MPa e o coeficiente de Poisson é de 0,20. A seguinte figura 5.33 apresenta um cubo de granito tipo.



Figura 5.33 – Cubo de granito

**5.2.2.9 Método de Cálculo**

O método de cálculo utilizado para este tipo de pavimento é muito particular. Segundo JAE (1995) usam-se as seguintes expressão em que se calcula a tensão máxima de tração:

$$\sigma_t = R_f \times (1 - p \times \log N_{adm}) \quad (5.24)$$

onde:

$\sigma_t$  – valor máximo da tensão de tração na camada, em MPa;

$R_f$  – valor da tensão característica de resistência à tração sob flexão do material aos 28 dias, em MPa;

$N_{adm}$  – número de eixos padrão admissíveis de 130 kN;

$p$  – constante que depende do material, sendo corrente o uso de valores entre 0,06 e 0,1, em que os menores valores são para materiais com maior quantidade de cimento e maior controlo de qualidade na produção.

As expressões 5.25 e 5.26 apresentam o cálculo da lei da fadiga (JAE, 1995).

$$R_{td} = 0,3 \times R_c^{\frac{2}{3}} \quad (5.25)$$

$$R_f \cong 1,5 \times R_{td} \quad (5.26)$$

onde:

$R_{td}$  – resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

$R_c$  – resistência à compressão, em MPa;

$R_f$  – resistência à tração sob flexão aos 28 dias, em MPa.

**5.2.2.10 Apresentação do Cálculo das Trações e Extensões**

Este subcapítulo incide essencialmente no cálculo através da lei da fadiga e da tensão máxima de tração (JAE, 1995). De seguida apresentam-se os cálculos que posteriormente serão comparados com um programa de cálculo para verificar se o pavimento está corretamente dimensionado.

$$R_{td} = 0,3 \times R_c^{\frac{2}{3}}$$

onde:

$$R_{td} = 0,3 \times 20^{\frac{2}{3}}$$

$$R_{td} = 2,21$$

$$R_f \cong 1,5 \times R_{td}$$

onde:

$$R_f \cong 1,5 \times 2,21$$

$$R_f = 3,316$$

O  $N_{adm}$  é calculado tendo em conta um TMDAp de 200 veículos pesados por dia, com uma redução de 50 % aos fins-de-semana. Segundo o MACOPAV, relativamente ao número de veículos pesados por dia, será a classe T5.

$$g = \sum_{i=1}^n (1 + t)^{(n-1)}$$

onde:

$$g = \sum_{i=1}^{20} (1 + 0,03)^{(20-1)}$$

$$g = 26,87$$

$$N_{130} = TMDA_{p \text{ semana}} \times g \times \text{dias semana} \times \alpha + TMDA_{p \text{ fds}} \times g \times \text{dias fds} \times \alpha$$

onde:

$$N_{130} = 200 \times 26,87 \times 261 \times 0,6 + 100 \times 26,87 \times 104 \times 0,6$$

$$N_{130} = 1042785,501$$

$$\sigma_t = R_f \times (1 - p \times \log N_{adm})$$

onde:

$$\sigma_t = 3,316 \times (1 - 0,09 \times \log \times 723286,22)$$

$$\sigma_t = 1,52MPa$$

Este valor da tensão de tração deverá ser superior ao retirado no programa de cálculo utilizado.

Esp. {m}	M. Deform {MPa}	C. Poisson	Z {m}	Extensões (μdef)	SigmaT (MPa)	Extensões (μdef)	SigmaZ (MPa)
0,110	20000,0	0,200	0,000	27,6	0,900	-4,7	0,659
			0,110	-84,8	-1,938	52,1	0,343
0,150	10000,0	0,200	0,110	56,7	0,828	-11,1	0,343
			0,260	-95,9	1,102	42,9	0,044
0,150	182,3	0,350	0,260	-95,9	0,000	234,0	0,044
			0,410	-149,0	-0,023	251,7	0,031
∞	70,0	0,450	0,410	-149,0	0,008	337,5	0,031

Figura 5.34 – Extensões de tração

Como é possível observar na anterior figura 5.34, entre a camada de base e a sub-base encontra-se uma tensão de tração na ordem dos 1,102 MPa, sensivelmente inferior à calculada. O eixo padrão utilizado foi de 130 kN. Esta verificação confirma que este pavimento está bem dimensionado. Também foi desenvolvida uma ferramenta no programa de cálculo PAVDim em que o utilizador pode calcular este tipo de pavimento, sendo uma base rígida. De seguida, na figura 5.35 será apresentado o interface do programa.

The screenshot shows a software window titled "Base Rígida" with a close button. The main content is divided into sections:

- DADOS DO TRÁFEGO**
  - Tráfego**: TMDAp (200), Fator de Agressividade (α) (MACOPAV) (0.6), Período de Dimensionamento (Anos) (20).
  - Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?**: Radio buttons for "Sim" (selected) and "Não". Fator de Redução (%) (40), E (26.87).
  - Classe Betão**: Classe do Betão Base (C 16/20), Rtd (2.2104), Rf (3.3156).
- Número acumulado de eixos padrão**: N 130 (1042785.501).
- TENSÃO**
  - Tensão**: p (0.09), σ (1,5198 MPa).

At the bottom right, there are buttons for "GUARDAR" (with a PDF icon) and "VOLTAR".

Figura 5.35 – Interface do programa (PAVDim, 2016)

De salientar que foi considerado um período de dimensionamento de 20 anos em que existe um fator de redução ao fim de semana na ordem de 50 % e o fator  $p$  é tanto maior quanto menor é a qualidade do betão. Na seguinte figura 5.36 é apresentado o documento tipo em que é gerado pelo PAVDim.

**PAVDIM**

**RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS HIDRÁULICAS**

**Número acumulado de eixos padrão**

N <sub>130</sub>	1042785,5
------------------	-----------

**TENSÃO DE TRACÇÃO**

σ (MPa)	1,52
---------	------

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 5.36 – Relatório gerado pelo PAVDim (PAVDim, 2016)

Assim sendo, a estrutura terá a seguinte constituição:

- 0,11 m de camada de desgaste em cubo granítico;
- 0,04 m de uma almofada de areia;
- 0,15 m de camada de base rígida em betão pobre 70 a 100 kg/m<sup>3</sup>;
- 0,15 m de Sub-Base em (ABGE).

### **5.2.3 Rua Central da Ribeira – Campo e Sobrado**

Esta obra tem como objetivo, uma nova pavimentação, com substituição integral de todas as camadas granulares que fazem parte do pavimento. Para isso foi dimensionado um novo tipo de pavimento em que como é uma zona industrial e terá um tráfego significativo de veículos pesados, procedendo-se à utilização de tipos de betumes um pouco diferentes dos utilizados nos dimensionamentos anteriores. Portanto de seguida será explicado o procedimento e a adoção deste tipo de betumes.

#### **5.2.3.1 TMDAp**

Esta obra é inserida numa zona em que o nível de tráfego de veículos é significativo, daí considerar-se um Tráfego Médio Diário Anual de Pesados na ordem de 150 veículos pesados por dia. Segundo o Manual de Pavimentação da Cepsa, este valor de veículos pesados por dia corresponde a uma classe T6.

#### **5.2.3.2 Solo de Fundação**

O valor adotado, com base em analogias a pavimentos adjacentes, foi de 7 %. Este valor de 7 % será para salvaguardar o nosso dimensionamento pelo lado da segurança.

Para um correto dimensionamento o ideal seria fazer ensaios ao solo de forma a obter um valor de CBR mais real, mas este valor que se considerou é um pouco conservativo.

#### **5.2.3.3 Sub-Base**

A sub-base considerada é constituída por ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa), com 40 cm de espessura. Os cálculos serão apresentados nas seguintes figuras.

Figura 5.37 - Módulo de deformabilidade do solo e sub-base (PAVDim, 2016)

Esta figura 5.37 apresenta o módulo de deformabilidade do solo, em que, segundo o método da *Shell*, é de 70 MPa. O módulo de deformabilidade da sub-base é obtido em função do módulo de deformabilidade do solo, e tem um valor de 207,52 MPa.

#### 5.2.3.4 Temperatura

Tendo por base o *WeatherOnline*, retirou-se as temperaturas máximas e mínimas registadas no distrito do Porto nos últimos 20 anos, e de seguida os dados foram inseridos no programa PAVDim.

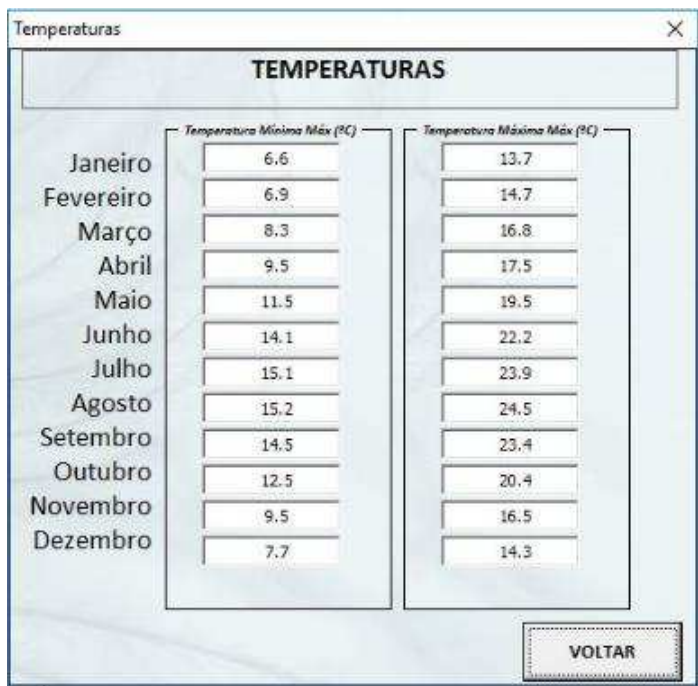


Figura 5.38 – Temperaturas máximas e mínimas registadas nos últimos 20 anos (WEATHERONLINE)

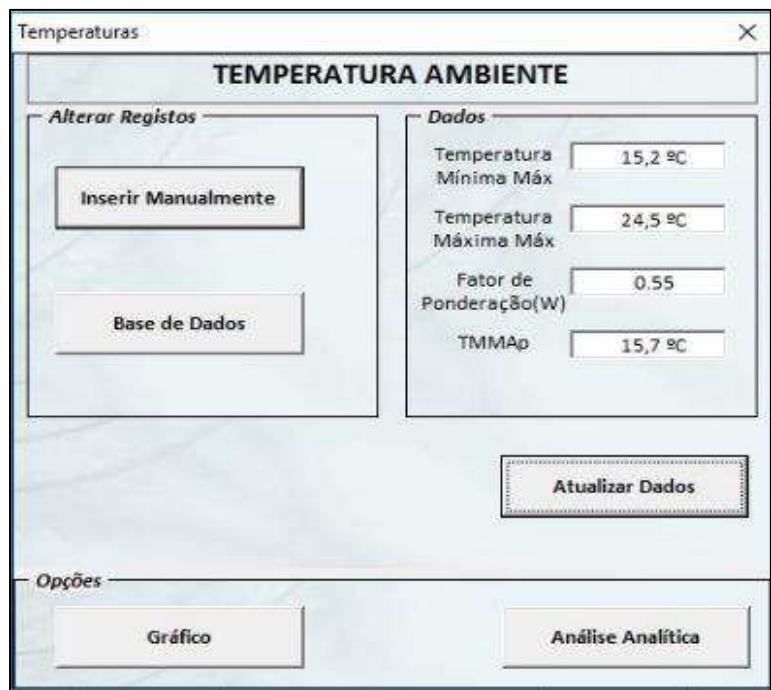


Figura 5.39 – Menu principal da Temperatura Ambiente (PAVDim, 2016)

Este método foi desenvolvido durante a elaboração do programa PAVDim, e traduz-se na adaptação do método gráfico da Shell. Esta análise é de uma certa forma mais correta, pois uma análise gráfica acarreta

sempre erros, e principalmente usando o gráfico da Shell, em que este é um pouco expedito na forma de retirar as temperaturas. Na seguinte figura 5.40 serão apresentadas as temperaturas das camadas.

Camada	TMMAp (°C)	Espessura (cm)	Temperatura (°C)
Camada de Desgaste	15,7	6	24,61
Camada de Ligação	15,7		
Camada de Regularização	15,7	7	23,79
Camada de Base	15,7	10	22,88

Figura 5.40 – Temperatura das camadas (PAVDim, 2016)

De seguida é apresentado o cálculo do modo de deformabilidade das camadas betuminosas. Estas camadas como a zona de inserção da obra é numa zona industrial, em que as cargas induzidas pelos veículos essencialmente pesados são muito elevadas, optou-se por usar um betume duro 10/20 na base, um betume corrente 35/50 na camada de regularização e na camada de desgaste, um betume modificado de borracha, denominado de PMB 45/80 – 65, em que a ficha técnica se encontra em anexo.

### 5.2.3.5 Camadas Betuminosas

A seguinte figura 5.41 indica a temperatura das camadas e suas respectivas espessuras. A partir destes dados é necessário obter uma ficha técnica dos betumes e dos agregados aplicados nas diversas camadas para retirar as percentagens de betume, agregado e volume de vazios.

CAMADA DE DESGASTE	CAMADA DE LIGAÇÃO	CAMADA DE REGULARIZAÇÃO	CAMADA DE BASE																																																																																																																																												
<p><b>Desgaste</b>                      Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="24,61 °C"/>                      Espessura <input type="text" value="6 cm"/></p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text" value="11"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text" value="84"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text" value="5"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text" value="40"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text" value="80"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text" value="65"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text" value="52"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text" value="9,984"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text" value="53,91"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text" value="10,594"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text" value="-0,17314"/></td><td>S68</td><td><input type="text" value="0,649"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text" value="0,025"/></td><td>S89</td><td><input type="text" value="0,463"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text" value="57,461"/></td><td>A</td><td><input type="text" value="9,827"/></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="6719,02 MPa"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text" value="11"/>	% Agregado	<input type="text" value="84"/>	% Volume Vazios	<input type="text" value="5"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>	Pen25	<input type="text" value="80"/>	Tab (°C)	<input type="text" value="65"/>	Pen25r	<input type="text" value="52"/>	Sm108	<input type="text" value="9,984"/>	Tabr	<input type="text" value="53,91"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,594"/>	IPENr	<input type="text" value="-0,17314"/>	S68	<input type="text" value="0,649"/>	tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,463"/>	Sb	<input type="text" value="57,461"/>	A	<input type="text" value="9,827"/>	<p><b>Ligação</b>                      Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="23,79 °C"/>                      Espessura <input type="text" value="7 cm"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text" value="10"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text" value="84"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text" value="6"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text" value="40"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text" value="50"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text" value="58"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text" value="32,5"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text" value="9,984"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text" value="59,29"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text" value="10,592"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text" value="-0,09409"/></td><td>S68</td><td><input type="text" value="0,626"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text" value="0,025"/></td><td>S89</td><td><input type="text" value="0,461"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text" value="23,15"/></td><td>A</td><td><input type="text" value="9,586"/></td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text" value=""/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="3851,86 MPa"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text" value="10"/>	% Agregado	<input type="text" value="84"/>	% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>	Pen25	<input type="text" value="50"/>	Tab (°C)	<input type="text" value="58"/>	Pen25r	<input type="text" value="32,5"/>	Sm108	<input type="text" value="9,984"/>	Tabr	<input type="text" value="59,29"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,592"/>	IPENr	<input type="text" value="-0,09409"/>	S68	<input type="text" value="0,626"/>	tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,461"/>	Sb	<input type="text" value="23,15"/>	A	<input type="text" value="9,586"/>	Vb	<input type="text" value=""/>			<p><b>Regularização</b>                      Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="22,88 °C"/>                      Espessura <input type="text" value="10 cm"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text" value="5"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text" value="89"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text" value="6"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text" value="40"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text" value="20"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text" value="76"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text" value="13"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text" value="10,197"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text" value="69,78"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text" value="10,663"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text" value="0,00725"/></td><td>S68</td><td><input type="text" value="0,462"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text" value="0,025"/></td><td>S89</td><td><input type="text" value="0,354"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text" value="188,83"/></td><td>A</td><td><input type="text" value="10,294"/></td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text" value="11,06 %"/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="11800,22 MPa"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text" value="5"/>	% Agregado	<input type="text" value="89"/>	% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>	Pen25	<input type="text" value="20"/>	Tab (°C)	<input type="text" value="76"/>	Pen25r	<input type="text" value="13"/>	Sm108	<input type="text" value="10,197"/>	Tabr	<input type="text" value="69,78"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,663"/>	IPENr	<input type="text" value="0,00725"/>	S68	<input type="text" value="0,462"/>	tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,354"/>	Sb	<input type="text" value="188,83"/>	A	<input type="text" value="10,294"/>	Vb	<input type="text" value="11,06 %"/>			<p><b>Base</b>                      Temperatura Serviço da Camada <input type="text" value="22,88 °C"/>                      Espessura <input type="text" value="10 cm"/></p> <p>Mistura é de alto Módulo? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não</p> <p><b>FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>% Betume (Volume)</td><td><input type="text" value="5"/></td></tr> <tr><td>% Agregado</td><td><input type="text" value="89"/></td></tr> <tr><td>% Volume Vazios</td><td><input type="text" value="6"/></td></tr> <tr><td>Velocidade (Km/h)</td><td><input type="text" value="40"/></td></tr> <tr><td>Pen25</td><td><input type="text" value="20"/></td></tr> <tr><td>Tab (°C)</td><td><input type="text" value="76"/></td></tr> </table> <p><b>CÁLCULOS AUTOMÁTICOS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Pen25r</td><td><input type="text" value="13"/></td><td>Sm108</td><td><input type="text" value="10,197"/></td></tr> <tr><td>Tabr</td><td><input type="text" value="69,78"/></td><td>Sm3109</td><td><input type="text" value="10,663"/></td></tr> <tr><td>IPENr</td><td><input type="text" value="0,00725"/></td><td>S68</td><td><input type="text" value="0,462"/></td></tr> <tr><td>tc</td><td><input type="text" value="0,025"/></td><td>S89</td><td><input type="text" value="0,354"/></td></tr> <tr><td>Sb</td><td><input type="text" value="188,83"/></td><td>A</td><td><input type="text" value="10,294"/></td></tr> <tr><td>Vb</td><td><input type="text" value="11,06 %"/></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Módulo de Deformabilidade <input type="text" value="11800,22 MPa"/> <span style="float: right;">Limpar</span></p>	% Betume (Volume)	<input type="text" value="5"/>	% Agregado	<input type="text" value="89"/>	% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>	Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>	Pen25	<input type="text" value="20"/>	Tab (°C)	<input type="text" value="76"/>	Pen25r	<input type="text" value="13"/>	Sm108	<input type="text" value="10,197"/>	Tabr	<input type="text" value="69,78"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,663"/>	IPENr	<input type="text" value="0,00725"/>	S68	<input type="text" value="0,462"/>	tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,354"/>	Sb	<input type="text" value="188,83"/>	A	<input type="text" value="10,294"/>	Vb	<input type="text" value="11,06 %"/>		
% Betume (Volume)	<input type="text" value="11"/>																																																																																																																																														
% Agregado	<input type="text" value="84"/>																																																																																																																																														
% Volume Vazios	<input type="text" value="5"/>																																																																																																																																														
Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>																																																																																																																																														
Pen25	<input type="text" value="80"/>																																																																																																																																														
Tab (°C)	<input type="text" value="65"/>																																																																																																																																														
Pen25r	<input type="text" value="52"/>	Sm108	<input type="text" value="9,984"/>																																																																																																																																												
Tabr	<input type="text" value="53,91"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,594"/>																																																																																																																																												
IPENr	<input type="text" value="-0,17314"/>	S68	<input type="text" value="0,649"/>																																																																																																																																												
tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,463"/>																																																																																																																																												
Sb	<input type="text" value="57,461"/>	A	<input type="text" value="9,827"/>																																																																																																																																												
% Betume (Volume)	<input type="text" value="10"/>																																																																																																																																														
% Agregado	<input type="text" value="84"/>																																																																																																																																														
% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>																																																																																																																																														
Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>																																																																																																																																														
Pen25	<input type="text" value="50"/>																																																																																																																																														
Tab (°C)	<input type="text" value="58"/>																																																																																																																																														
Pen25r	<input type="text" value="32,5"/>	Sm108	<input type="text" value="9,984"/>																																																																																																																																												
Tabr	<input type="text" value="59,29"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,592"/>																																																																																																																																												
IPENr	<input type="text" value="-0,09409"/>	S68	<input type="text" value="0,626"/>																																																																																																																																												
tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,461"/>																																																																																																																																												
Sb	<input type="text" value="23,15"/>	A	<input type="text" value="9,586"/>																																																																																																																																												
Vb	<input type="text" value=""/>																																																																																																																																														
% Betume (Volume)	<input type="text" value="5"/>																																																																																																																																														
% Agregado	<input type="text" value="89"/>																																																																																																																																														
% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>																																																																																																																																														
Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>																																																																																																																																														
Pen25	<input type="text" value="20"/>																																																																																																																																														
Tab (°C)	<input type="text" value="76"/>																																																																																																																																														
Pen25r	<input type="text" value="13"/>	Sm108	<input type="text" value="10,197"/>																																																																																																																																												
Tabr	<input type="text" value="69,78"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,663"/>																																																																																																																																												
IPENr	<input type="text" value="0,00725"/>	S68	<input type="text" value="0,462"/>																																																																																																																																												
tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,354"/>																																																																																																																																												
Sb	<input type="text" value="188,83"/>	A	<input type="text" value="10,294"/>																																																																																																																																												
Vb	<input type="text" value="11,06 %"/>																																																																																																																																														
% Betume (Volume)	<input type="text" value="5"/>																																																																																																																																														
% Agregado	<input type="text" value="89"/>																																																																																																																																														
% Volume Vazios	<input type="text" value="6"/>																																																																																																																																														
Velocidade (Km/h)	<input type="text" value="40"/>																																																																																																																																														
Pen25	<input type="text" value="20"/>																																																																																																																																														
Tab (°C)	<input type="text" value="76"/>																																																																																																																																														
Pen25r	<input type="text" value="13"/>	Sm108	<input type="text" value="10,197"/>																																																																																																																																												
Tabr	<input type="text" value="69,78"/>	Sm3109	<input type="text" value="10,663"/>																																																																																																																																												
IPENr	<input type="text" value="0,00725"/>	S68	<input type="text" value="0,462"/>																																																																																																																																												
tc	<input type="text" value="0,025"/>	S89	<input type="text" value="0,354"/>																																																																																																																																												
Sb	<input type="text" value="188,83"/>	A	<input type="text" value="10,294"/>																																																																																																																																												
Vb	<input type="text" value="11,06 %"/>																																																																																																																																														
<input type="button" value="VER DESENHO"/>		<input type="button" value="CÁLCULO EXTENSÕES"/>																																																																																																																																													

Figura 5.41 - Formulação das camadas betuminosas, parâmetros para cálculo Emb (PAVDim, 2016)

Extensões

### EXTENSÕES

TMDAp  Classe   
 Período de Dimensionamento (Anos)  Taxa de Crescimento Anual

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) <sup>a</sup>	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>c</sup>	Eixo 130 kN <sup>b</sup>
T <sub>7</sub>	< 50		Estudo específico		
T <sub>8</sub>	50 - 150	3	2	0,29	0,5
T <sub>9</sub>	150 - 300		3	0,43	0,6
T <sub>4</sub>	300 - 500	4	4	0,57	0,7
T <sub>3</sub>	500 - 800		4,5	0,65	0,8
T <sub>2</sub>	800 - 1200	5	5	0,72	0,9
T <sub>1</sub>	1200 - 2000		5,5	0,79	1,0
T <sub>0</sub>	> 2000		Estudo específico		

#### PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - CAMADAS CONSTITUINTES

##### EIXO PADRÃO

Eixo 80 kN  Fator de Agressividade (α) (MACOPAV)   
 Eixo 130kN  g

*Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?*

Sim Fator de Redução (%)   
 Não

Camada de Desgaste | Camada de Ligação | Camada de Regularização | Camada de Base

#### CAMADA DE DESGASTE

Emb Camada  % Betume

**EXTENSÃO TRACÇÃO**                      **EXTENSÃO VERTICAL**

$\epsilon_{Tracção}$       $\epsilon_{Vertical}$

Figura 5.42 – Extensões admissíveis novo dimensionamento (PAVDim, 2016)

	Esp. (m)	M. Deformabilidade de (MPa)	C. Poisson	Materiais
Ligada	0,06	6719,02	0,35	Betume
Ligada	0,07	3851,86	0,35	Betume
Ligada	0,10	11800,22	0,35	Betume
Ligada	0,40	207,52	0,35	ABGE
Ligada	∞	70	0,45	Solo

Figura 5.43 – Dados inseridos no programa de cálculo

Esp. {m}	M. Deform {MPa}	C. Poisson	Z {m}	Extensões t (μdef)	SigmaT (MPa)	Extensões v (μdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	6719,0	0,350	0,000	19,6	0,344	-16,4	0,575
			0,060	-2,6	0,245	46,5	0,489
0,070	3851,9	0,350	0,060	-2,6	0,176	80,3	0,489
			0,130	-0,2	0,078	43,0	0,270
0,100	11800,2	0,350	0,130	-0,2	0,140	13,6	0,270
			0,230	54,8	-0,866	49,7	0,031
0,400	207,5	0,350	0,230	-54,8	0,001	140,1	0,031
			0,630	-59,7	-0,013	94,2	0,011
∞	70,0	0,450	0,630	-59,7	0,001	134,6	0,011

Figura 5.44 – Extensões máximas admissíveis

**PAVDIM**  
RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

	Base	Regularização	Ligação	Desgaste
Módulos de Deformabilidade (MPa)	11800,22	3851,86	0,00	6719,02
Espessura (cm)	10	7	0	6
Temperatura das Camadas (°C)	22,88	23,79	0,00	24,61

EXTENSÕES CALCULADAS

	εTracção(μ m)	εVertical(μ m)
Desgaste	159,52	451,64
Ligação	0,00	0,00
Regularização	179,00	451,64
Base	66,51	451,64

Figura 5.45 – Extensões admissíveis para o novo dimensionamento (PAVDim, 2016)

O valor obtido no programa de cálculo deve ser inferior ao valor calculado anteriormente. Portanto segundo os cálculos do PAVDim, o valor da extensão admissível de tração no interface da camada de base é de 66,51 *microns*, superior ao obtido pelo programa de cálculo, em que este tem valores na ordem dos 54,8 *microns*. Pode-se concluir que este valor do programa de cálculo tem uma folga aproximadamente de 18 % em relação ao valor admissível, pelo lado da segurança.

Assim sendo, a nova estrutura terá a seguinte constituição:

- 0,06 m de camada de desgaste em betão betuminoso PMB 45/80 – 65;
- 0,07 m de camada de regularização em betão betuminoso 35/50 ;
- 0,10 m de camada de base betão betuminoso 10/20;
- 0,40 m de Sub-Base em (ABGE).

#### 5.2.4 Considerações Finais

Todos estes dimensionamentos foram devidamente estudados de forma a minimizar o investimento por parte da Câmara Municipal de Valongo. Também houve ajuda exterior, nomeadamente do professor Ângelo Jacob. Como se pode observar pelos dimensionamentos realizados, houve uma intenção de abranger os mais variados tipos, desde a utilização de betumes duros, 10/20, betume corrente utilizado em Portugal, 35/50, bem como o dimensionamento de uma paragem de autocarros em que se utiliza o paralelepípedo como camada superior/desgaste. Tudo isto motivou a um estudo mais aprofundado de diferentes soluções, e qual a mais indicada para as características do local em questão. Atualmente o Município de Valongo padece de vários problemas nas vias do Município, por isso existiu a intenção da DPOM revitalizar algumas das mais importantes vias. Neste sentido foi desenvolvido um programa de cálculo para apoiar os projetistas da Câmara nas próximas intervenções, fazendo com que estes dimensionem o pavimento da maneira mais correta. Os problemas encontrados devem-se essencialmente ao tráfego excessivo em certas vias, originando várias patologias que foram mencionadas em capítulos anteriores. O PAVDim é uma ferramenta que pode evitar alguns destes problemas, mas a manutenção destes pavimentos também é fulcral para tentar minimizar a ocorrência destas patologias. Este programa também tem problemas. Como é baseado num processo iterativo devem-se ter várias precauções, pois ao mínimo erro em cálculos intermédios pode levar a módulos de deformabilidade que não são os esperados. Portanto deve-se ter alguma sensibilidade aquando a utilização deste programa. Pavimentos rígidos armados não são calculados por este programa, porém futuramente pode ser desenvolvido essa vertente.



## **6 CONCLUSÃO**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As principais funções do estagiário na DPOM – Divisão de Projetos e Obras Municipais passou principalmente pelo dimensionamento e identificação de problemas dos pavimentos rodoviários, bem como elaborar um programa de cálculo automático de pavimentos e expor o correto dimensionamento ao corpo técnico do departamento deste município de Valongo. Este último ano do curso de Engenharia Civil – Ramo Infraestruturas lecionado no ISEP, permitiu adquirir conhecimentos que ajudaram em grande parte para solucionar problemas bem como metodologias e formas de cálculo para os diferentes tipos de pavimentos, que ajudaram a Câmara Municipal de Valongo a decidir algumas intervenções. Um pavimento desenvolve vários tipos de patologias, patologias essas que são diretamente proporcionais com o volume de tráfego elevado, temperaturas, manutenções deficientes, incorreto dimensionamento ou mesmo condições climáticas adversas. Um pavimento é algo que acarreta elevados custos, daí a elevada importância num bom dimensionamento estrutural, de forma a suportar todas as cargas em que é solicitado. Uma rápida manutenção nos pavimentos quando se inicia algum problema na sua estrutura, pode evitar a substituição total do mesmo, ou seja, uma boa manutenção é sinónimo de um pavimento ter um tempo maior de vida útil. Foi visível, em várias vias do Município de Valongo estes problemas de má manutenção das vias, pelo que se deveria ter mais atenção a este aspeto.

Este relatório foi fruto de um estágio na C.M. Valongo, com a duração de seis meses, em que o aluno foi inserido na vertente profissional. A parceria aluno C.M. Valongo permitiu a elaboração de várias obras, entre as quais foram expostas neste relatório, algumas delas lançadas a concurso enquanto o aluno realizava o seu estágio. Entretanto e para simplificar, também foi realizado um programa de cálculo que foi testado e usado para o dimensionamento dos pavimentos no município.

Foram realizados vários dimensionamentos, a paragem de autocarros da Avenida 5 de Outubro no centro de Valongo, a Alameda da Igreja em Campo e na zona industrial de Campo - Rua Central da Ribeira. Todos eles foram dimensionamentos distintos, e, os principais problemas prende-se ao fato de não existirem dimensionamentos corretos anteriores, ou seja, maioritariamente as vias do Município estão mal dimensionadas. O ideal seria realizar vários ensaios de forma a saber qual o valor do CBR do solo, mas como a Câmara não possui os aparelhos para realizar esse estudo, ponderou-se um valor pelo lado da

segurança. Foi também desenvolvido um programa de cálculo automático – PAVDim, que foi elaborado com o intuito de dotar os projetistas da Câmara Municipal de Valongo com uma ferramenta útil e rápida no dimensionamento correto de pavimentos.

O estagiário com esta nova realidade do que é o mundo profissional passa a adquirir vários conhecimentos, não só a nível profissional, mas também ao nível relações interpessoais e sociais. Foi também benéfico para o estagiário a convivência com diferentes tipos de profissionais, desde Engenheiros Eletrotécnicos, Ambientais, Informáticos, Desenhadores, Topógrafos, tudo isto serviu para adquirir um pouco mais de conhecimento em outras áreas, não só teórico, mas também em contexto de obra.

Para finalizar, este estágio permitiu o dimensionamento de obras de pavimentação com os melhores métodos a ele associados, mas principalmente ajudou a expor ao engenheiro encarregue da parte das pavimentações um pouco do conhecimento do estagiário em prol duma melhora significativa no que diz respeito ao dimensionamento dos pavimentos.

## **6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Esta etapa ao nível de estágio numa empresa foi realizada com sucesso e foi peça importante na realização pessoal do aluno/estagiário. Contudo o trabalho desenvolvido pode ser melhorado significativamente.

No programa de cálculo PAVDim, como em alguns programas existe uma base de dados, em que esta pode ser atualizada permanentemente. Este programa também poderá ser aperfeiçoado, de forma a recorrer só a um programa de cálculo para comparar certos valores ao nível das extensões das camadas betuminosas e granulares, desenvolvendo a parte do cálculo das extensões.

Um dos objetivos do presente estágio era permitir à Divisão de Projetos e Obras Municipais um maior conhecimento sobre dimensionamento dos pavimentos rodoviários com o intuito de sensibilizar o que um tráfego excessivo pode originar num pavimento. Tudo isto permite à Câmara Municipal de Valongo de adotar estratégias para conservar as suas vias municipais. Uma delas, e das mais importantes, será o controlo de tráfego, ou seja, restringir em certas zonas a circulação de pesados.

Para finalizar, um próximo estagiário poderá desenvolver estudos de forma a rentabilizar ao máximo as vias do Município de Valongo, usando algumas bases deste relatório/tese. Também poderão ser estudadas alternativas de forma a reciclar o pavimento de forma a dotar o Município de Valongo de mais opções para as suas vias municipais

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, Henrique – Introdução à Pavimentação – TT 051 – PAVIMENTAÇÃO. Brasil: [s.n.]. Universidade Federal do Paraná - [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdule%201%20-%20Introducao.pdf>
- ANTUNES, Lourenço - Boletins Técnicos ATIC, Vol. 1. (1977).
- BATISTA, Fátima Alexandra – Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos – Misturas betuminosas densas a frio. Porto: [s.n.], 2004. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação para Obtenção do Grau de Doutoramento em Engenharia.
- BERNUCCI, Liedi et al. – Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros [Em linha]. 2008 [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: [http://www.proasfalto.com.br/pdf/proasfalto\\_capitulo\\_01.pdf](http://www.proasfalto.com.br/pdf/proasfalto_capitulo_01.pdf)
- BIANCHI, Flavia - Estudo Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível [Em linha]. Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste. 2008 [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: [http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav\\_apresentacoes/ISIS\\_RAQUEL.pdf](http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/ISIS_RAQUEL.pdf)
- BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; PICADO, Luís Santos – Pavimentos Rodoviários. Coimbra: Edições Almedina, SA, 2006. 9789724026480.
- CÂMARA MUNICIPAL DE VALONGO (1) - [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.cm-valongo.pt/descobrir/historia>
- CÂMARA MUNICIPAL DE VALONGO (2) - [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.cm-valongo.pt/municipio/camara-municipal>
- CAPITÃO, Silvino Dias et al. – Deformabilidade, comportamento à fadiga e resistência à deformação permanente de misturas betuminosas de alto módulo para camadas de base – 3º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, [Em linha]. (2004), [Consult. 4 Mai. 2016]. Disponível na: [http://www.crp.pt/docs/A11S96-pavimentos\\_05.pdf](http://www.crp.pt/docs/A11S96-pavimentos_05.pdf)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPITÃO, Silvino; BAPTISTA, A.; PICADO, Luís Santos. - Statistical analysis of unconventional bituminous mixtures performance based on 4PB Tests - 2nd Workshop on Four Point Bending. Universidade do Minho. Braga. (2009). ISBN 978-972-8692-42-1. p. 231-240.
- CLAESSEN *et al.* - Asphalt Pavement Design Manual: - The Shell Method. Proceedings, 4th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan. (1977).
- COST 333 - Development of New Bituminous Pavement Design Method : Final Report of the Action. [s.d.], General Directorate for Transport. (1999).
- DECRETO-LEI n° 99/2005. D.R. I Série-A. 117 (2005 – 06 - 21) 3881 – 3887.
- DECRETO-LEI n° 163/2006. D.R. I Série. 152 (2006 – 10 – 08) 5670 – 5689.
- DECRETO-LEI n° 203/2007. D.R. I Série. 102 (2007 – 05 - 28) 3439 – 3446.
- DECRETO-LEI n° 380/2007. D.R. I Série. 102 (2007 – 11 - 13) 8403 – 8437.
- DECRETO-LEI n° 305/2009. D.R. I Série. 206 (2009 – 10 - 23) 3335 – 3352.
- DECRETO-LEI n° 133/2010. D.R. I Série. 246 (2010 – 12 - 22) 5884 – 5890.
- DECRETO-LEI n° 11-A/2013. D.R. I Série. 19 (2013 – 01 – 28) 552-(2) - 552-(147).
- DECRETO-LEI n° 133/2014. D.R. I Série. 171 (2014 – 09 - 05) 4785 – 4792.
- EP - Catálogo de Degradações das Estradas de Portugal. Estradas de Portugal S. A. Lisboa. 2008.
- EUROPA - CAMIÕES – [Consult. 28 Jul. 2016]. Disponível na: [http://www.europa-camioes.com/camioes-usados/1-32/anuncios-camioes.html?gclid=Cj0KEQjw\\_eu8BRDC-YLHusmTmMEBEiQArW6c-PBudzip4sNzen7VtGJz0i\\_t7Jmc8drMhu9pvU7GULsaAtWT8P8HAQ](http://www.europa-camioes.com/camioes-usados/1-32/anuncios-camioes.html?gclid=Cj0KEQjw_eu8BRDC-YLHusmTmMEBEiQArW6c-PBudzip4sNzen7VtGJz0i_t7Jmc8drMhu9pvU7GULsaAtWT8P8HAQ)
- FERREIRA, José Miguel - Pavimentos em Espaços Públicos Urbanos - Contribuição para a Análise e Conceção de Soluções. Lisboa: [s.n.], 2007. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.
- FIGUEIREDO, Nélia Patrícia - Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego - Contribuição para uma Metodologia de Apoio. Coimbra: [s.n.], 2011. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- FORUM AUTO HOJE – [Consult. 29 Jul. 2016]. Disponível na: <http://forum.autohoje.com/forum.php>
- FREITAS, E. – Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Comportamento dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis – Fendilhamento com Origem na Superfície. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Guimarães. (2004).

- GALLO, Isaac Moreno – Vías Romanas: Ingeniería y Técnica Constructiva. [s.n.], 2006. [Consult. 4 Mar. 2016]. Disponível na: <http://www.traianvs.net/viasromanas/viasromanas.pdf>
- GARBA, R.; HORVLI, I. – Simplified Testing Method for Evaluation of Asphalt Mixtures for their Susceptibility to Permanent Deformation. [s.n.], 2002. [Consult. 4 Mar. 2016]. Disponível na: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1768>
- INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL. [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/rodoviaria/prn>
- INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL. [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/rodoviaria>
- INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS IP - Construção e Reabilitação de Pavimentos Ligantes Betuminosos: Disposições Normativas [Em linha]. [Consult. 4 Mar. 2016]. Disponível na: <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Diulgao%20Tcnica/ConstrucaoReabilitacaoPavimentosLigantesBetuminosos.pdf>
- INTERACTIVE PAVEMENT - [Consult. 3 Mar. 2016]. 2008. Disponível na: <http://www.pavementinteractive.org>
- JACOB, Ângelo - Pavimentos Rodoviários, Apontamentos das aulas. [Texto Policopiado] Porto: [s.n.], 2015. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- JAE – Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional. 1995. JAE (Atual Infraestruturas de Portugal). Lisboa.
- JIMÉNEZ, Félix Edmundo - Manual de Pavimentação [Em linha]. Lisboa: Cepsa Betumes, 2010. [Consult. 3 Mar. 2016]. Disponível na: [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaPt/O%20Que%20oferecemos/Produtos%20Asf%C3%A1ltico/s/Ficheros\\_Produtos%20Asf%C3%A1lticos/Manual\\_Pavimentacao\\_Web.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaPt/O%20Que%20oferecemos/Produtos%20Asf%C3%A1ltico/s/Ficheros_Produtos%20Asf%C3%A1lticos/Manual_Pavimentacao_Web.pdf)
- KAEFER, Luís Fernando - A Evolução do Concreto Armado. São Paulo. [s.n.], 1998.
- LAY, Maxwell Gordon - Ways of the World: a history of the world's roads and the vehicles that used them. New Jersey: Rutgers University Press, (1992).
- LEI DAS XII TÁBUAS – [Consult. 03 Mar. 2016]. Disponível na: <http://api.adm.br/direito/TABUAS.htm>
- LEITÃO, Carlos Reis; BOTELHO, Isabel da Silveira - Relatório de Monitorização da Rede Rodoviária. [Em linha]. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes, IP (IMT, IP), 2013. [Consult. 30 Jun. 2016]. Disponível na:

[http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/RedeRodoviaria/Relatrios/Relatorio\\_Monitorizacao\\_RRN\\_2012-2013.pdf](http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/RedeRodoviaria/Relatrios/Relatorio_Monitorizacao_RRN_2012-2013.pdf)

LNEC - Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários. Lisboa: LNEC, 2005.

LNEC – Vocabulário de Estradas e Aeródromos: Especificação E1 do LNEC. Lisboa: LNEC, 1962. ISBN 0870-8592

LNEC – Emulsões Betuminosas Aniónicas de Pavimentação: E 128. Lisboa: LNEC, 1984.

LNEC – Emulsões Betuminosas Catiónicas de Pavimentação. Características e Recepção: E 354. Lisboa: LNEC, 1984.

LOPES, Óscar Miguel – Misturas Betuminosas: Determinação das Características para o Cálculo dos Pavimentos. Porto: [s.n.], 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.

MAIA, Iva Marlene - Caraterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários. Porto: [s.n.], 2012. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO. Faculdade de Engenharia do Porto.

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Espanha – Cepsa Betumes. 2010.

MAP OF THE ENVIRONS OF ROME – [Consult. 03 Mar. 2016]. Disponível na: <http://www.romeartlover.it/Roads.html>

MARÉ, Florbela Lima - História das Infra-Estruturas Rodoviárias. Porto: [s.n.], 2011. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO.

MOPU - Catálogo de deterioros en firmes, Espanha: Secretaria General Tecnica, 1989.

NORMA DNIT 005/2003 – TER - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia [Em linha]. Brasil: Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. 2003. [Consult. 3 Mar. 2016]. Disponível na: [https://www.feb.unesp.br/Home/Departamentos343/EngenhariaCivil/gustavogarciamanzato/dnit005\\_2003\\_ter.pdf](https://www.feb.unesp.br/Home/Departamentos343/EngenhariaCivil/gustavogarciamanzato/dnit005_2003_ter.pdf)

PEREIRA, Paulo; MIRANDA, Valverde - Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários. Braga: Paulo Pereira, 1999. 972-8533-04-7.

PIMENTEL, Carlos Alberto - Formulação de Misturas Betuminosas a Quente - Contribuição para um novo método de formulação. Lisboa: [s.n.], 2013. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias Lisboa. Faculdade de Engenharia.

- PONTE, Vanessa – Las técnicas y las construcciones de la Ingeniería Romana Régimen jurídico de las vías romana [s.n.], 2010. [Consult. 03 Mar. 2016]. p. 75 – 118. Disponível na: [http://www.traianvs.net/pdfs/2010\\_03\\_ponte.pdf](http://www.traianvs.net/pdfs/2010_03_ponte.pdf)
- O INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS – [Consult. 29 Fev. 2016] Disponível na: <http://samstroy.com/pt/%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BB%D0%BE-%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0-%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3/>
- OLIVEIRA, Patrícia – Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto. São Carlos: [s.n.], 2000. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Estruturas.
- RODRIGUES, José Luís - Conceção de Pavimentos Rígidos. Porto: [s.n.], 2011. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO. Faculdade de Engenharia do Porto.
- QuarryScapes - [Consult. 28 Jul. 2016]. Disponível na: [http://www.quarryscapes.no/news\\_april1\\_06.php](http://www.quarryscapes.no/news_april1_06.php)
- SAUNIER, B.; DOLFUS, C. E GEFFROY, G. - Histoire de la locomotion terrestre (La locomotion naturelle L'Attelage-La voiture Le Cyclisme La Locomotion mécanique L'automobile. (1936).
- SERRAS DE SANTA JUSTA - [Consult. 29 Fev. 2016]. Disponível na: <http://www.valongoambiental.com/index.php?section=34>
- SHELL – Asphalt pavement design manual: Shell International Petroleum Company, London. 1977.
- SHELL - Addendum to the Shell Pavement Design Manual. Shell International Petroleum Company (SHELL). London. 1985.
- SILVA, Rita Justo - Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Fendilhamento de Pavimentos Rodoviários. Lisboa: [s.n.], 2012. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa.
- SUPERINERTES – [Consult. 27 Jul. 2016]. Disponível na: <http://www.superinertes.pt/produtos/lancis-guias/>
- TELES, Paula – Guia da Acessibilidade e Mobilidade para Todos: Apontamentos para uma melhor interpretação do DL 163/2006 de 8 de Agosto. [Consult. 28 Jul. 2016] Disponível na:

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.inr.pt/uploads/docs/acessibilidade/GuiaAcessEmobi.pdf> Secretário Nacional de Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência. Porto: 2007. 978-989-8051-04-2.

TENG, T. Paul - Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies. [Em linha]. Washington: 2009, [Consult. 3 Mar. 2016]. Disponível na: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltpdp/reports/03031/03031.pdf>

THE ROMAN ROADS – [Consult. 3 Mar. 2016]. Disponível na: <http://catedu.es/aragonromano/roads.htm>

VIDEIRA, Fátima Isabel - Manual de Conservação de Pavimentos para Pequenas Redes Rodoviárias Municipais: bases para a sua elaboração. Coimbra: [s.n.], 2014. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construção Urbana.

WEATHERONLINE - [Consult. 3 Mar. 2016]. Disponível na: <http://www.weatheronline.pt>

## **ANEXOS**

ANEXO A – MANUAL DE UTILIZADOR – PAVDIM

ANEXO B – PORMENORES TIPO DE CAMADAS DE BETUMINOSO ADOTADOS PELA  
CÂMARA MUNICIPAL DE VALONGO

ANEXO C – PORMENORES DE PAVIMENTOS PEDONAIS DA CÂMARA MUNICIPAL DE  
VALONGO

ANEXO D – PORMENORES DE RUAS DIMENSIONADAS NO MUNICÍPIO DE VALONGO

ANEXO E – FICHAS TÉCNICAS DE BETUMES

ANEXO F – CARTA MILITAR DO MUNICÍPIO DE VALONGO

ANEXO G – DOCUMENTOS GERADOS PELO PAVDIM



ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO A**



# Manual do Utilizador - PAVDim

## INTRODUÇÃO

Este programa tem como principal objetivo dotar o projetista de mais uma ferramenta de cálculo automático de forma a rentabilizar o seu tempo, ou seja, este programa trata em questões de minutos um dimensionamento de qualquer tipo de pavimento flexível, contendo uma Sub-Base de ABGE e várias camadas, dependendo claro está, da adoção que o engenheiro/projetista achar mais conveniente. Inicialmente este programa não era previsto ser em VBA mas com a necessidade de fazer algo diferente de certos projetos/dissertações de mestrado, optou-se por programar em VBA.

## INTERFACE DO PROGRAMA

Como se pode ver pela seguinte figura 1, este será o interface inicial do programa, em que é pedido vários dados, dentro dos quais, o CBR do solo em que a obra vai ser realizada bem como o método de cálculo para saber o módulo de deformabilidade do solo (Método da *Shell* ou método de *Powell*). De seguida é escolhida uma espessura de Sub-Base em que esta é em ABGE e posteriormente calculado o valor do seu módulo de deformabilidade, dependendo claro esta da camada adjacente que é o solo.

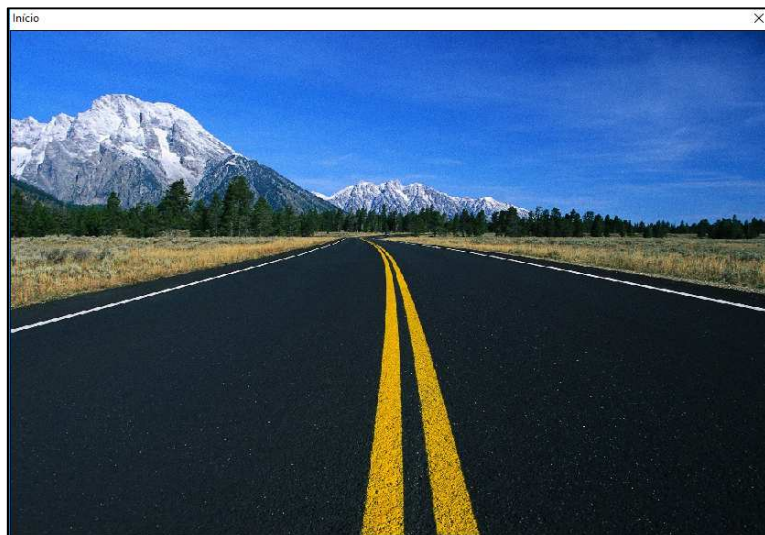


Figura 1 - Interface tipo do PAVDim (PAVDim, 2016)

Para seguir no programa será necessário clicar neste menu e aparece a seguinte figura 2 em que uma das seguintes opções deve ser selecionada, caso contrário o programa não desenvolve.

## CAMADAS



Figura 1 - Menu inicial de cálculo (PAVDim, 2016)

Dentro deste menu pode-se calcular três tipos distintos de camadas: camadas granulares, camadas betuminosas e camadas hidráulicas. Se for selecionada as camadas granulares, a aparência do menu é a seguinte como se encontra na próxima figura.

### Camadas Granulares

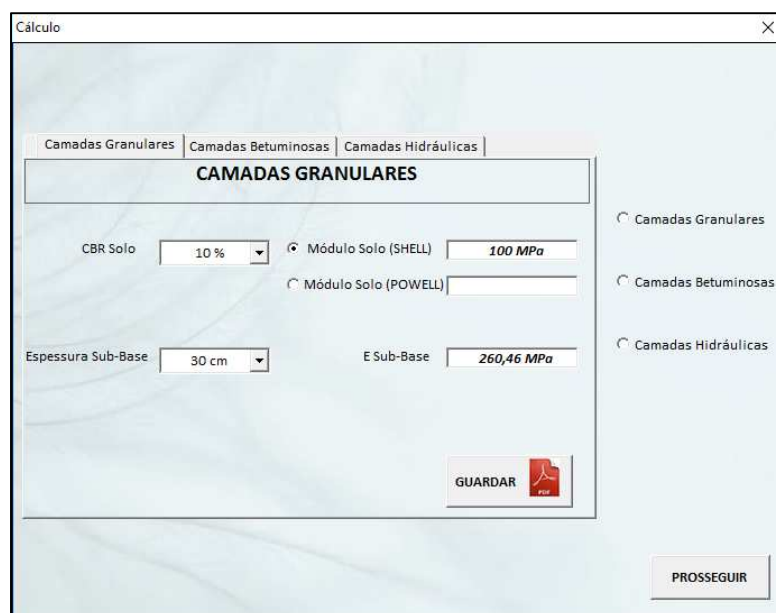


Figura 3 - Apresentação do menu das camadas granulares (PAVDim, 2016)

No final de preencher este menu, em que é necessário saber o CBR do solo bem como a espessura da sub-base, e o método de cálculo, *Shell* ou *Powell*, poderá guardar os dados em um ficheiro PDF que será representado na seguinte figura 4.

**PAVDIM**

**RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS GRANULARES**

**SOLO**

CBR (%)	10
Módulo de Deformabilidade (MPa)	100

**SUB-BASE**

Espessura (cm)	30
Módulo de Deformabilidade (MPa)	260,46

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 4 - Folha tipo de dados camadas granulares (PAVDim, 2016)

### Camadas Hidráulicas

De seguida, como se pode observar na figura ao escolher a opção camadas hidráulicas irá aparecer o seguinte interface.

Base Rígida

**DADOS DO TRÁFEGO**

**Tráfego**

TMDAp  Fator de Agressividade ( $\alpha$ ) (MACOPAV)

Período de Dimensionamento (Anos)

**Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?**

Sim Fator de Redução (%)

Não

**Classe Betão**

Classe do Betão Base

Rtd

Rf

**Número acumulado de eixos padrão**

N 130

**TENSÃO**

**Tensão**

$p$

$\sigma$

Figura 5 - Apresentação do menu de camadas hidráulicas (PAVDim, 2016)

Neste menu das camadas hidráulicas em que se calcula as tensões na base rígida, é necessário vários dados, entre os quais o TMDAp (Tráfego Médio Diário Anual de pesados), o período de dimensionamento bem como o fator de agressividade adotado, consultando o (MACOPAV, p. 16) na parte dos pavimentos rígidos ou semirrígidos. Também é necessário conhecer o tipo de betão utilizado na base e o valor  $p$  em que este depende da qualidade do betão em que este é tanto melhor quanto menor for o valor de  $p$ .

É possível guardar também um documento com informações acerca desta camada, em que é apresentado o documento tipo na seguinte imagem.

**PAVDIM**  
**RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS HIDRÁULICAS**  
**Número acumulado de eixos padrão**

N <sub>130</sub>	1009251,27
------------------	------------

**TENSÃO DE TRACÇÃO**

$\sigma$ (MPa)	1,524
----------------	-------

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Figura 6 - Folha tipo de dados camadas hidráulicas (PAVDim, 2016)

### Camadas Betuminosas

Esta camada tem três opções de cálculo para seguir para o próximo menu. Como se pode observar na seguinte figura 7.

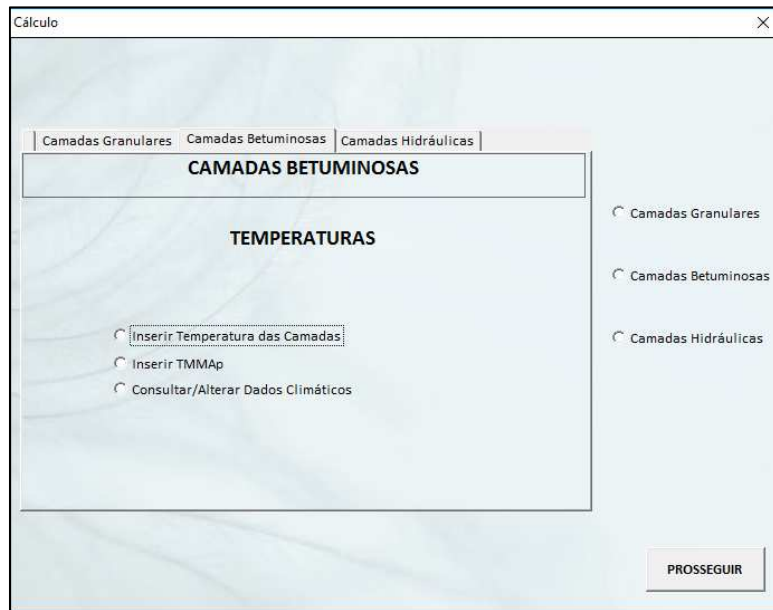


Figura 7 - Menu tipo das camadas betuminosas (PAVDim, 2016)

De seguida, como se pode observar na figura 8, ao escolher a primeira opção: inserir temperatura das camadas irá aparecer um novo menu.

### Temperatura das Camadas e Espessuras

The image shows a dialog box titled 'Temperatura das Camadas e Espessuras'. It is divided into two main sections: 'TEMPERATURAS' and 'ESPESSURAS'. Each section has a sub-section titled 'Camadas'. In the 'TEMPERATURAS' section, there are four input fields: 'Desgaste (°C)', 'Ligação (°C)', 'Regularização (°C)', and 'Base (°C)'. Each field has a red 'X' icon to its right. In the 'ESPESSURAS' section, there are also four input fields: 'Desgaste (cm)', 'Ligação (cm)', 'Regularização (cm)', and 'Base (cm)', each with a red 'X' icon to its right. At the bottom right of the dialog box, there is a button labeled 'PROSSEGUIR'.

Figura 8 - Temperatura das Camadas e Espessuras (PAVDim 2016)

Este novo menu tem como objetivo registrar as temperaturas e espessuras escolhidas para o dimensionamento do pavimento. Como se pode visualizar, este interface é iniciado com a Camada de Ligação desativa, pois neste programa essa camada por defeito vem desativada. Contudo, podemos ativar ou desativar qualquer das outras camadas, mas o programa só prossegue se for preenchido certos dados. À partida é do conhecimento de um projetista que para um bom dimensionamento deve-se ter no mínimo três camadas de Betuminoso, portanto só prossegue o programa se três ou mais camadas forem preenchidas. Quando um botão é bloqueado, seja das espessuras ou temperaturas, o outro botão bloqueia respetivamente à camada tratada em questão. Este interface tem como objetivo registrar as temperaturas e espessuras pretendidas e remetemos para o menu da Mistura, que mais à frente vai ter a sua devida ênfase neste trabalho.

Escolhendo a opção Inserir TMMAp, como será possível visualizar na figura 9, este interface sugere que seja inserido uma Temperatura Média Mensal Anual Ponderada.

### Inserir TMMAp



The image shows a software window titled "TMMAp" with a close button in the top right corner. The window contains a header "INSERIR O TMMAp". Below the header is a text input field labeled "TMMAp (°C)". At the bottom of the window, there are two buttons: "Análise Gráfica" on the left and "Análise Analítica" on the right.

Figura 9 - Inserir TMMAp (PAVDim, 2016)

Depois de preencher este interface, o qual não segue para um novo menu se não for preenchido, pode-se optar por duas opções de análise, análise analítica ou análise gráfica. Como se pode ver de seguida, estes dois métodos têm como objetivo abrir o menu da Mistura.

## Temperaturas

The screenshot shows a window titled 'Temperaturas' with a close button (X) in the top right corner. The main title is 'TEMPERATURA AMBIENTE'. The interface is divided into three main sections:

- Alterar Registos:** Contains two buttons: 'Inserir Manualmente' and 'Base de Dados'.
- Dados:** Contains four input fields with values:
  - Temperatura Mínima Máx: 14,4 °C
  - Temperatura Máxima: 22,1 °C
  - Fator de Ponderação(W): 0,56
  - TMMAp: 15,81 °C
- Opções:** Contains two buttons: 'Gráfico' and 'Análise Analítica'.

At the bottom right of the 'Dados' section, there is an 'Atualizar Dados' button.

Figura 10 - Interface de Consultar/Alterar dados (PAVDim, 2016)

Este interface também pode remeter o utilizador para a análise analítica ou gráfica, mas tem duas opções anteriores que são consultar uma base de dados ou inserir os valores máximos de temperatura mínima ou máxima registada nos últimos 20 anos. Depois disso deve-se sempre atualizar os dados para o programa atualizar na sua base de dados. E assim sendo tem-se tudo operacional para prosseguir com o programa.

## Temperaturas – Inserir todos os dados

The screenshot shows a window titled 'Temperaturas' with a close button (X) in the top right corner. The main title is 'TEMPERATURAS'. The interface is divided into two main columns:

- Left Column:** Lists the months of the year: Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro, and Dezembro.
- Right Column:** Contains two columns of input fields. The left column is labeled 'Temperatura Mínima Máx (°C)' and the right column is labeled 'Temperatura Máxima (°C)'. Each month has a corresponding pair of input fields.

At the bottom right of the interface, there is a 'VOLTAR' button.

Figura 11 - Inserir Valores de Temperatura (PAVDim, 2016)

## Base de Dados



Figura 12 - Base de dados Portugal (PAVDim, 2016)

Esta base de dados ainda pode ser modificada, pois todos os dados de temperatura, ao nível dos Concelhos de Portugal, não foram devidamente preenchidos.

Nas figuras seguintes pode-se ver estes dois métodos, ambos baseiam-se no método da *Shell*, só que na análise analítica o gráfico da *Shell* foi “transformado” em gráfico para curvas, curvas essas que interpolam os valores inseridos e obtém-se os valores de temperatura, ajuste de funções no Excel.

## Gráfico da SHELL – Análise Gráfica

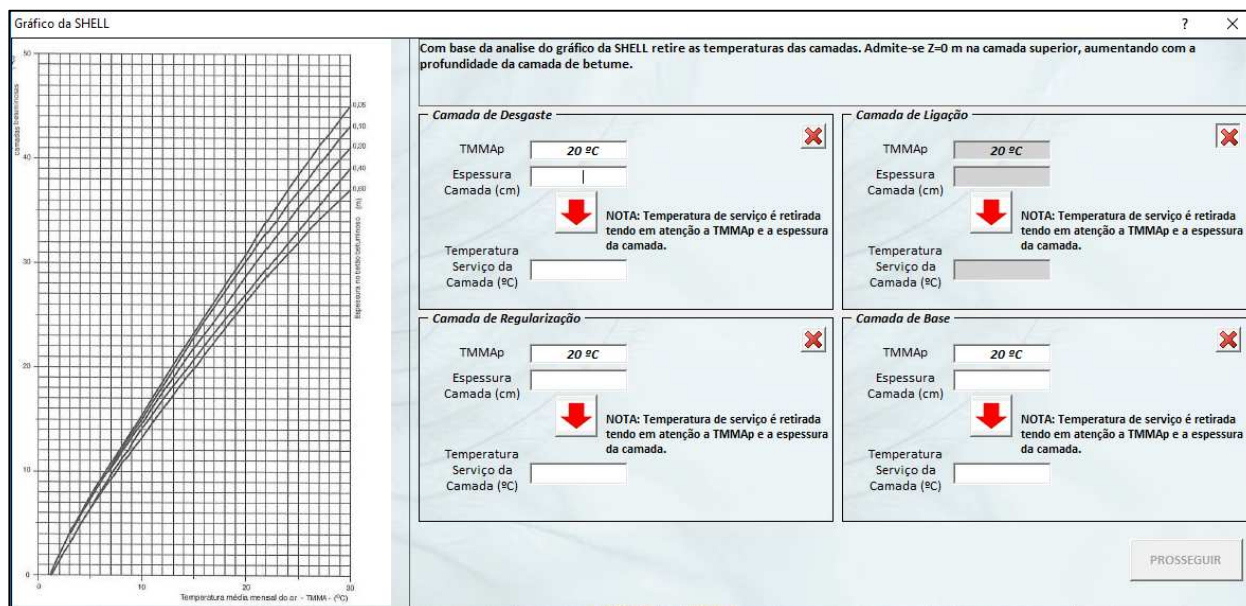


Figura 13 - Análise gráfica pelo método da Shell (PAVDim, 2016)

É também importante referir que o programa só avança se o interface for preenchido, neste interface como pode-se observar, a camada de ligação encontra-se também desativa. O utilizador pode escolher quantas camadas deseja e tem a possibilidade de desbloquear ou bloquear qualquer uma das quatro camadas, basta premir no canto superior direito de cada menu da camada o botão em questão.

## Análise Analítica pelo método da SHELL

The image shows a software interface for shell analysis. It is titled "ANÁLISE ANALÍTICA PELO MÉTODO DA SHELL". The interface is divided into four sections, each representing a different layer of a pavement structure:

- Camada de Desgaste:** TMMAp is set to 20 °C. There is a red arrow pointing to the Temperatura field, which is currently empty.
- Camada de Ligação:** TMMAp is set to 20 °C. There is a red arrow pointing to the Temperatura field, which is currently empty.
- Camada de Regularização:** TMMAp is set to 20 °C. There is a red arrow pointing to the Temperatura field, which is currently empty.
- Camada de Base:** TMMAp is set to 20 °C. There is a red arrow pointing to the Temperatura field, which is currently empty.

Each section also has an "Espessura (cm)" field. At the bottom right of the interface is a button labeled "PROSEGUIR".

Figura 14 - Análise analítica pelo método da Shell (PAVDim, 2016)

É possível este interface “substituir” o anterior, sendo mais prático ao nível do cálculo das temperaturas no interface das camadas.

Todos estes interfaces anteriores tinham como principal objetivo obter a temperatura das camadas e as suas espessuras, para assim abrir o próximo interface, denominado de betumes. Como se pode observar na seguinte figura.

# Camadas Betuminosas

Betumes
X

### CAMADA DE DESGASTE

**Desgaste**  
Temperatura Serviço da Camada:   
Espessura:

Mistura é de alto Módulo?  Sim  Não

**FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS**

% Betume (Volume):   
 % Agregado:   
 % Volume Vazios:   
 Velocidade (Km/h):   
 Pen25:   
 Tab (°C):

**CÁLCULOS AUTOMÁTICOS**

Pen25r:  Sm108:   
 Tabr:  Sm3109:   
 IPENr:  S68:   
 tc:  S89:   
 Sb:  A:

Módulo de Deformabilidade:

[Limpar](#)

### CAMADA DE LIGAÇÃO

**Ligação**  
Temperatura Serviço da Camada:   
Espessura:

Mistura é de alto Módulo?  Sim  Não

**FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS**

% Betume (Volume):   
 % Agregado:   
 % Volume Vazios:   
 Velocidade (Km/h):   
 Pen25:   
 Tab (°C):

**CÁLCULOS AUTOMÁTICOS**

Pen25r:  Sm108:   
 Tabr:  Sm3109:   
 IPENr:  S68:   
 tc:  S89:   
 Sb:  A:

Módulo de Deformabilidade:

[Limpar](#)

### CAMADA DE REGULARIZAÇÃO

**Regularização**  
Temperatura Serviço da Camada:   
Espessura:

Mistura é de alto Módulo?  Sim  Não

**FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS**

% Betume (Volume):   
 % Agregado:   
 % Volume Vazios:   
 Velocidade (Km/h):   
 Pen25:   
 Tab (°C):

**CÁLCULOS AUTOMÁTICOS**

Pen25r:  Sm108:   
 Tabr:  Sm3109:   
 IPENr:  S68:   
 tc:  S89:   
 Sb:  A:

Módulo de Deformabilidade:

[Limpar](#)

### CAMADA DE BASE

**Base**  
Temperatura Serviço da Camada:   
Espessura:

Mistura é de alto Módulo?  Sim  Não

**FORMULAÇÃO DA MISTURA - INSERIR DADOS**

% Betume (Volume):   
 % Agregado:   
 % Volume Vazios:   
 Velocidade (Km/h):   
 Pen25:   
 Tab (°C):

**CÁLCULOS AUTOMÁTICOS**

Pen25r:  Sm108:   
 Tabr:  Sm3109:   
 IPENr:  S68:   
 tc:  S89:   
 Sb:  A:

Módulo de Deformabilidade:

[Limpar](#)

VER DESENHO

CÁLCULO EXTENSÕES

Figura 15 - Interface que calcula os módulos de deformabilidade das camadas betuminosas, Emb (PAVDim, 2016)

Seguindo a anterior figura 15, este interface proporciona ao utilizador duas finalidades, a principal e mais importante será o cálculo das extensões das camadas betuminosas, mas também pela análise do desenho do pavimento pode-se verificar os módulos de deformabilidade das camadas e suas espessuras escolhidas. Este programa por defeito encontra-se bloqueada a camada de ligação, mas se o utilizador pretender pode desbloquear a camada de ligação. Se desejar prosseguir para o cálculo das extensões, deve preencher alguns campos deste interface, caso contrário o programa não avança. Os dados devem ser preenchidos onde aparece na figura anterior a parte da formulação da mistura – inserir dados. Depois de todos os dados inseridos, o programa automaticamente faz as restantes operações para obter o módulo de deformabilidade. As camadas que têm a opção de mistura de alto módulo, só se escolhe se sim ou não no final da inserção dos dados.

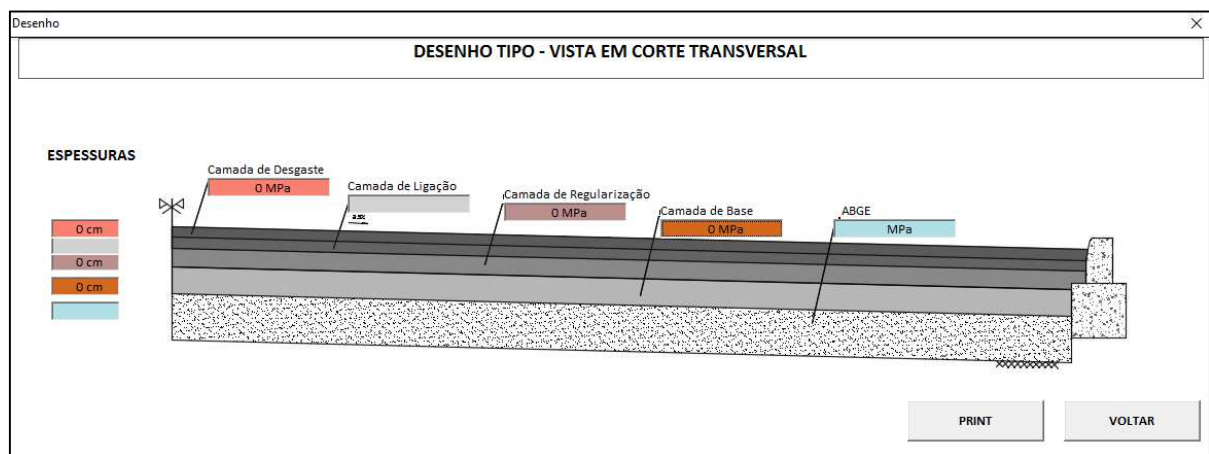


Figura 16 - Desenho tipo de um pavimento geral (PAVDim, 2016)

Como se pode observar na figura 16, este interface do programa fornece um esquema tipo do pavimento, apresentando as camadas betuminosas e suas respectivas espessuras. Também tem a opção de tirar uma impressão, em que este remete-nos para o programa *Microsoft Paint* e deve-se guardar como imagem. Se deseja voltar ao menu anterior, é só pressionar o botão voltar.

## Extensões

Neste novo passo do programa, as extensões só são calculadas para as camadas que se dimensionam anteriormente, sendo o seu valor registado numa folha do Excel que pode ser enviada por correio eletrónico ou guardada no próprio computador um ficheiro do tipo PDF. Explicitando melhor agora esta parte do programa, se o valor inserido no TMDAp (tráfego médio diário anual de pesados) for inferior a 50 veículos pesados por dia ou superior a 2000 veículos pesados por dia, o programa automaticamente abre uma nova janela em que neste novo interface é necessário colocar todos os dados. Seguidamente pode-se visualizar nas próximas figuras, o seu aspeto a nível ótico.

Extensões

### EXTENSÕES ADMISSÍVEIS

TMDAp  Classe   
 Período de Dimensionamento (Anos)  Taxa de Crescimento Anual

**PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - CAMADAS CONSTITUINTES**

**EIXO PADRÃO**

Eixo 80 kN  Fator de Agressividade (a)   
 Eixo 130 kN  g

*Deseja Fator de Redução ao Fim de Semana?*

Sim  Não Fator de Redução (%)

Camada de Desgaste | Camada de Ligação | Camada de Regularização | Camada de Base

**CAMADA DE DESGASTE**

Emb Camada  % Betume

**EXTENSÃO TRACÇÃO** **EXTENSÃO VERTICAL**

$\epsilon_{Tracção}$    $\epsilon_{Vertical}$

SAVE E-MAIL MENU INICIAL

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) <sup>a</sup>	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>b</sup>
T <sub>1</sub>	< 50		Estudo específico		
T <sub>2</sub>	50 - 150	3	2	0,29	0,5
T <sub>3</sub>	150 - 300		3	0,43	0,6
T <sub>4</sub>	300 - 500	4	4	0,57	0,7
T <sub>5</sub>	500 - 800		4,5	0,65	0,8
T <sub>6</sub>	800 - 1200	5	5	0,72	0,9
T <sub>7</sub>	1200 - 2000		5,5	0,79	1,0
T <sub>8</sub>	> 2000		Estudo específico		



Figura 17 - Extensões admissíveis (PAVDim, 2016)

De seguida mostra-se o menu para certos casos que são específicos e são necessários dados que depende muito de cada projeto e projetista. Este interface tem ainda a opção de inserir manualmente o número de eixos dos veículos que passam na via por dia, o que na ótica do utilizador facilita bastante os cálculos. Estes valores são registados no *Microsoft Excel* em que de seguida calcula através de fórmulas os valores do seu eixo padrão.

Estudo Especifico

### PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

**Inserir Dados**

TMDAp   
 Período de Dimensionamento (Anos)   
 Taxa de Crescimento Anual (%)

**Cálculos**

g

**Eixo Padrão**

N80 kN   
 N130 kN

Camada de Desgaste | Camada de Ligação | Camada de Regularização | Camada de Base

**CAMADA DE BASE**

Emb Camada  % Betume

**EXTENSÃO TRACÇÃO** **EXTENSÃO VERTICAL**

$\epsilon_{Tracção}$    $\epsilon_{Vertical}$

SAVE E-MAIL VOLTAR

Figura 18 - Extensões admissíveis para casos específicos (PAVDim, 2016)

The image shows a software window titled "TIPO DE EIXOS - CONTAGEM DIÁRIA" (Axle Type - Daily Counting). The window is divided into three columns for different axle configurations:

- Nº Eixo Simples (Simple Axle):** Includes input fields for 4S, 5S, 6S, 7S, 8S, 9S, 10S, 12S, 14S, and 16S.
- Nº Eixo Tandem (Tandem Axle):** Includes input fields for 12t, 14t, 16t, 18t, 20t, 30t, and 34t.
- Nº Eixo Tridem (Tridem Axle):** Includes input fields for 14tr, 16tr, 18tr, 38tr, and 40tr.

A "VOLTAR" (Return) button is located at the bottom right of the window.

Figura 19 - Inserir manualmente contágem diária (PAVDim, 2016)

## ERROS

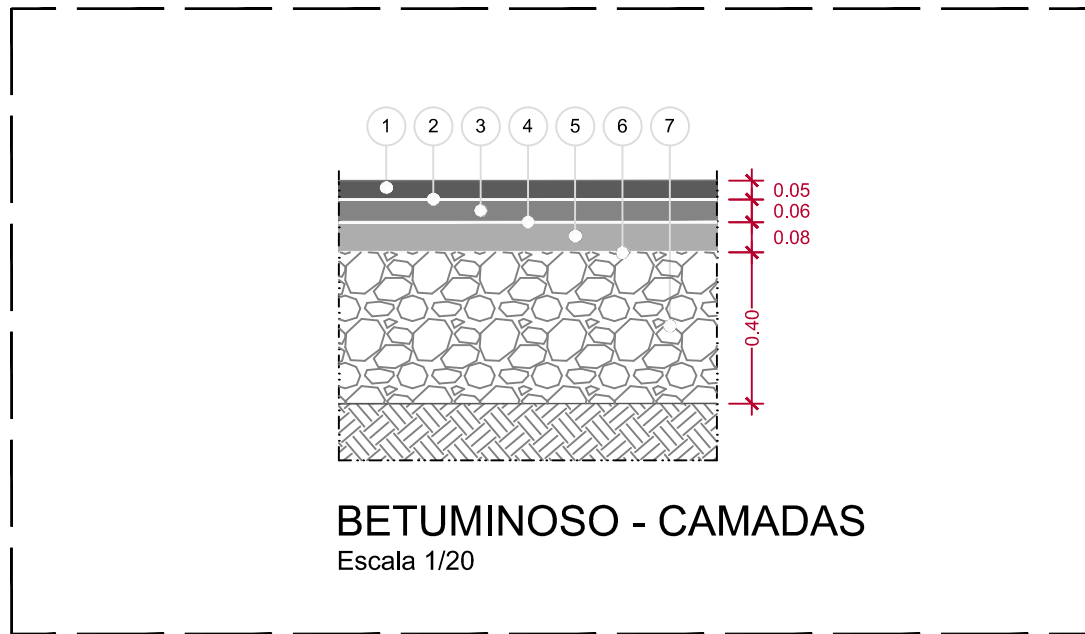
Este programa contém um erro quando se inicia pela primeira vez o cálculo das misturas betuminosas, em que o utilizador anteriormente preenche os dados com as temperaturas e as espessuras admitidas, e o programa não regista no novo *userform*, também conhecido como mistura. Portanto, para solucionar este problema, o que será mais conveniente é fechar a janela da mistura das camadas betuminosas e inserir novamente os dados de temperatura e espessuras, e de seguida o programa corre normalmente.

Também quando é inserido uma vírgula (,) em vez de ponto (.), o programa dá erro e tem de ser iniciado novamente.

ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO B**





**DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS**

**1**

Proc. **.DAT/DOM.2016**

Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
BETUMINOSOS

Data:  
**07/22/2016**

VIAS DISTRIBUIDORAS PRINCIPAIS E LOCAIS

Escala:  
**1:20**

Top.

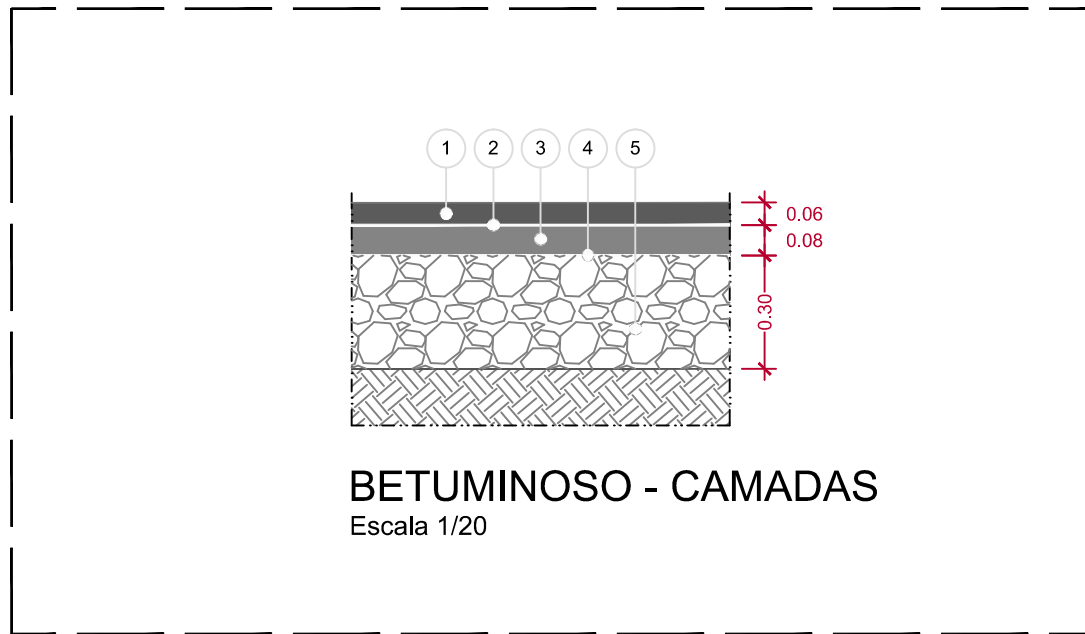
Proj.

Des.Cad.

Verif.

Des. nº





**DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS**

**2**

Proc. **.DAT/DOM.2016**

**Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
BETUMINOSOS**

Data: **07/22/2016**

**VIAS DE ACESSO LOCAL**

Escala: **1:20**

Top.

Proj.

Des.Cad.

Verif.

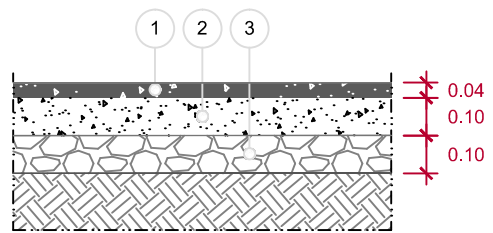
Des. nº



ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO C**





**PASSEIOS EM BETONILHA  
ESQUARTELADA**

Escala 1/20



**DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS**

**1**

Proc.  
\_DAT/DOM.2016

Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
PASSEIOS

Data:  
07/22/2016

PORMENOR COM ACABAMENTO EM BETONILHA ESQUARTELADA

Escala:  
1:20

Top.

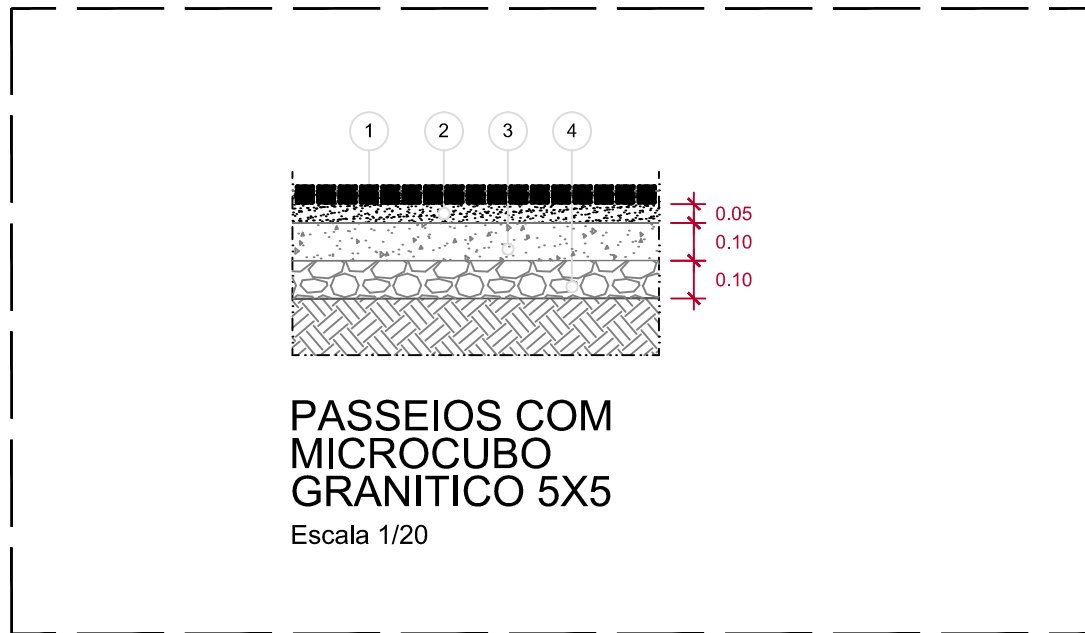
Proj.

Des.Cad.

Verif.

Des. nº





**DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS**

**4**

Proc.  
\_DAT/DOM.2016

Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
PASSEIOS

Data:  
07/22/2016

PORMENOR COM ACABAMENTO EM MICROCUBO GRANITICO 5X5

Escala:  
1:20

Top.

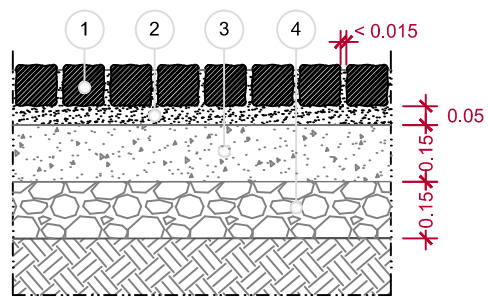
Proj.

Des.Cad.

Verif.

Des. nº





**PAVIMENTADAS COM  
CUBO GRANITO 11X11**  
Escala 1/20



**DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS**

**3**

Proc.  
\_DAT/DOM.2016

Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
VIAS DE ACESSO LOCAL

Data:  
07/22/2016

PORMENOR COM ACABAMENTO EM MICROCUBO GRANITICO

Escala:  
1:20

Top.

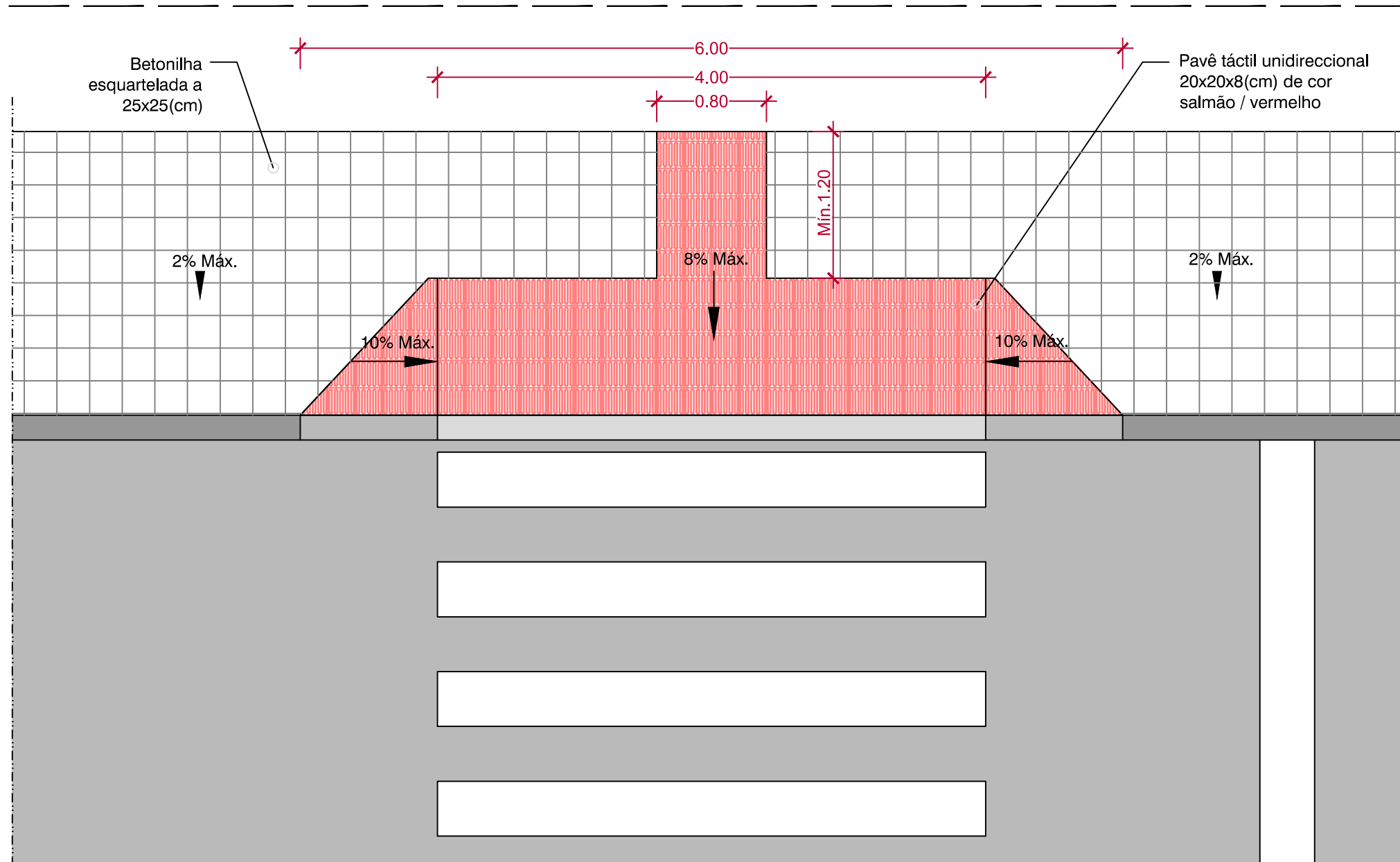
Proj.

Des.Cad.

Verif.

Des. nº





Solução A



DIVISÃO DE PROJETOS E OBRAS MUNICIPAIS

1

Proc. .DAT/DOM.2016

Pormenores de Pavimentos  
R.M.U.E.  
PASSEIOS

Data:  
07/22/2016

PORMENOR DO REBAIXO DO PASSEIO - SOLUÇÃO A

Escala:  
1:50

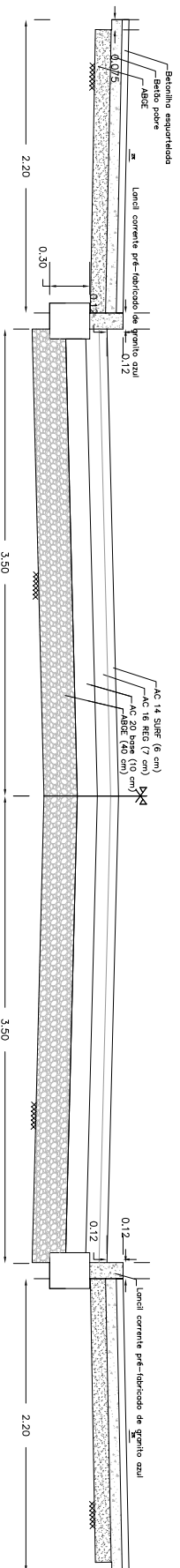
Top. Proj. Des.Cad. Verif. Des. nº



ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO D**



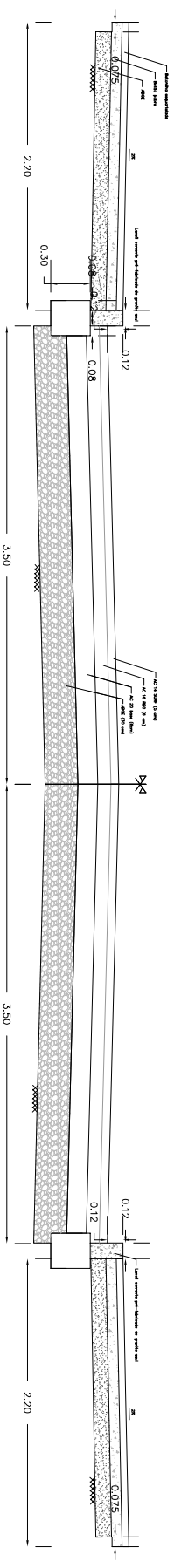


ZONA INDUSTRIAL – RUA CENTRAL DA RIBEIRA – CAMPO E SOBRADO  
 RELATÓRIO DE ESTÁGIO  
 PORMENOR TIPO DE PAVIMENTO E PASSEIOS

Folha n°	1
Data	Julho/2016
Escala	1:50

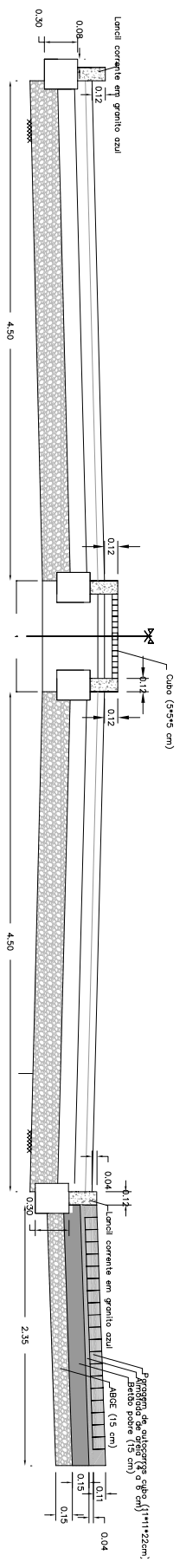
O Técnico





ALAMEDA DA IGREJA – CAMPO E SOBRADO	Folha n°	2	O Técnico
RELATÓRIO DE ESTÁGIO	Data	Julho/2016	
PORMENOR TIPO DE PAVIMENTO E PASSEIOS	Escala	1:50	





AVENIDA 5 DE OUTUBRO – VALONGO (PARAGEM DE AUTOCARRO)

Folha n.º 3

O Técnico

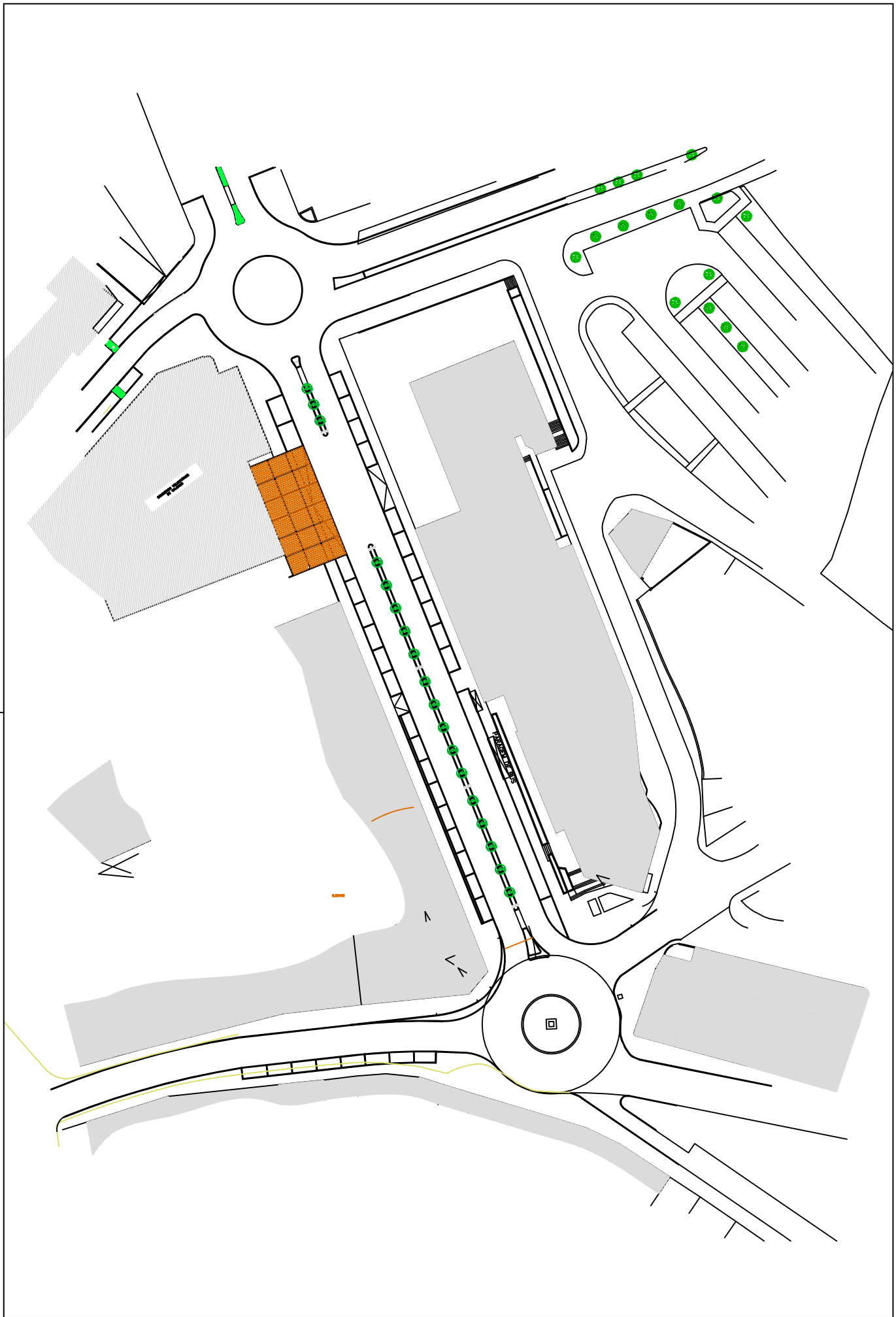
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Data Julho/2016

PORMENOR TIPO DE PAVIMENTO E PASSEIOS

Escala 1:50





CENTRO DE VALONGO	Folha n.º	1	O Técnico
RELATÓRIO DE ESTÁGIO	Data	Setembro/16	
PLANTA	Escala	1/1000	



ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO E**



# BETUME 35/50

**DEFINIÇÃO:**

Betume asfáltico para pavimentação, de acordo com as especificações da EN 12591 para o betume 35/50.

**ESPECIFICAÇÕES:**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	35	50
Índice de penetração	-	EN 12591	-1,5	+0,7
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	50	58
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	-	-5
Solubilidade	%	EN 12592	99,0	-
Ponto de inflamação	°C	EN ISO 2592	240	-
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Varição de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	0,5
Penetração retida	%	EN 1426	53	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-	11

**APLICAÇÕES:**

- Misturas betuminosas a quente

**TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:**

- Temperatura da mistura (°C): 160-165
- Temperatura do ligante (°C): 160-165
- Temperatura de compactação (°C): 150-160



# BETUME 10/20

**DEFINIÇÃO:**

Betume asfáltico para pavimentação, de acordo com as especificações da EN 13924 para o betume 10/20.

**ESPECIFICAÇÕES:**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração (25°C)	0,1 mm	EN 1426	10	20
Índice de penetração	-	EN 12591	-1,5	+0,7
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	60	76
Solubilidade	%	EN 12592	99,0	-
Ponto de inflamação	°C	EN ISO 2592	245	-
Resistência ao endurecimento a 163°C (EN 12607-1)				
Varição de massa (valor absoluto)	%	EN 12607-1	-	0,5
Penetração retida	%	EN 1426	55	-
Δ Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	-	10

**APLICAÇÕES:**

- Misturas betuminosas de alto módulo

**TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:**

- Temperatura da mistura (°C): 165-175
- Temperatura do ligante (°C): 165-175
- Temperatura de compactação (°C): 160-170



# FLEXODUR BMC-3c (PMB 45/80-65 C)

**DEFINIÇÃO:**

Betume asfáltico modificado com pó de borracha proveniente de pneus usados, que cumpre as especificações da EN 14023 para um PMB 45/80-65 C.

**ESPECIFICAÇÕES:**

CARACTERÍSTICAS		UNIDADE	NORMA	MIN.	MAX.
Penetração, 25°C		0,1 mm	EN 1426	45	80
Temperatura de amolecimento		°C	EN 1427	65	-
Coesão Força-Ductilidade, a 5°C (Tracção a 50 mm/min)		J/cm <sup>2</sup>	EN 13589 EN 13703	3	-
Ponto de fragilidade Fraass		°C	EN 12593	-	-15
Recuperação elástica a 25°C		%	EN 13398	70	-
Estabilidade ao armazenamento:	Diferença penetração (25°C)	0,1 mm	EN 13399 EN 1427	-	9
	Diferença temperatura de amolecimento	°C	EN 13399 EN 1426	-	5
Temperatura de inflamação		°C	ISO 2592	235	-
Durabilidade – Resistência ao envelhecimento EN 12607-1					
Variação de massa		%	EN 12607-1	-	1
Penetração retida		%	1426	60	-
Δ Temperatura de amolecimento		°C	1427	-	10

**APLICAÇÕES:**

- Misturas drenantes
- Misturas descontínuas
- Misturas resistentes à fadiga para camadas de desgaste com categoria de tráfego pesado T00 a T2
- Misturas betuminosas convencionais

**TEMPERATURAS ORIENTATIVAS DE TRABALHO:**

- Temperatura da mistura (°C): 170-180
- Temperatura do ligante (°C): 170-180
- Temperatura de compactação (°C): 165-175
- Temperatura máxima de aquecimento (°C): 190



ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO F**



# CARTA MILITAR DE PORTUGAL

## INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO

# Concelho de Valongo

## Montagem de Cartas



LEVANTAMENTO, DIGITALIZAÇÃO, PROCESSAMENTO E DESENHO POR MEIOS AUTOMÁTICOS EXECUTADOS PELO INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO

Arroz. Dunas	
Arroz. Escarpado	
Arroz. Deserto	
Terrano pedregoso. Pedreira	
Terrano rochoso. Rochedão	
Dado acesso a automóvel	
Camioneta	
De pré-posto	
Via larga	
Ónibus	
Via: estrada; reduzida; em construção	

Auto-estrada. Estrada com separador central	
5,5m ou mais de faixa de rodagem	
Estradas menos de 5,5m de faixa de rodagem em construção	
Estação de abastecimento de combustível	
Presse-pneus de nível inferior; superior	
De ferro; de betão ou alvenaria; de madeira	
Postes	
Mais abastecido que a estrada	
Muro de suporte em alvenaria; em chapeamento	
Costas de terreno; de vértice	
Curvas de nível	

ESCALA 1/25 000

PROJEÇÃO DE GAUßES-ELIPSOIDE INTERNACIONAL DATUM DE LISBOA

ALTITUDES EM METROS QUADRICENTAS DAS CURVAS 10 METROS NATURAL VERTICAL MANEJAMENTO DE CASCAS

A QUANTIDADE MANEJADA A CAS- TADO, ENTRE AS 2 QUANTIDADES QUADRICENTAS, QUANTIDADE MANEJADA A QUANTIDADE QUADRICENTAS, QUANTIDADE MANEJADA A QUANTIDADE QUADRICENTAS, QUANTIDADE MANEJADA A QUANTIDADE QUADRICENTAS.

ESTEREOCOTOMIA ALTA - TRANSLAÇÃO DE CAMPO 1982

INSTRUÇÕES SOBRE O EMPREGO DAS QUADRICENTAS GAUßES E UTM

REGRAS PARA CETERAS AS QUADRICENTAS HECTOMÉTRICAS SÃO PONTOS DESTA FOIHA

DESIGNAÇÃO DA ZONA DA QUADRICENTAS	GAUßES	UTM
IDENTIFICAÇÃO DOS QUADROS DE 100 000 m <sup>2</sup>		
GAUßES		
UTM		

Marco de fronteira	
Sabonete. Sazonais	
Verticais geo- désicos	
De outro orden; auxiliar	
Gruta. Capela. Cruzeiro. Torre isolada	
Fuente. Radifoneal. Antena. Aeromonte	
Casa. Casinh. Chaminé de telha. Molino	
Avançado; espelho; diâmetro	
Monte. Arbolado ou mata densa	
Pomar. Vinha; pomar-vinha	

Sebe ou valado. Jardim ou hortas	
Antena de rádio; em cortina; isolada	
Estação de TSF. Radifoneal	
Canal eléctrico. Posto de transformação	
Linhas de alta tensão; aérea; subterránea	
Aeromonte. Antena. Estação eléctrica	
Apexidade; elevado; subterráneo	
Apexidade em vãos de comunicação	
Arrozal. Terrano que cobre e descobre	
Charneira ou fonte. Nascente. Tanque	
Depósitos de água; elevado; férreo; cisterna	
Popo. Popo com engenho. Furo artesiano	

Lagoa ou albufera. Alagado ou pântano	
Linhas de água	
Mariúbas	
Cais fluvial importante	
Cais fluvial	
Barco de passagem	
Limite de navegabilidade	
Válvula	
Estreito; largo	
Ilhéu; ilha	
A pé	
Via: para carros	
Para automóvel	



ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS  
AFETOS ÀS VIAS MUNICIPAIS DE VALONGO E  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO DE  
PAVIMENTOS

# **ANEXO G**



# PAVDIM

## RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

<u>Base</u>	<u>Regularização</u>	<u>Ligação</u>	<u>Desgaste</u>
-------------	----------------------	----------------	-----------------

Módulos de Deformabilidade (MPa)	4215,50	3780,93	0,00	3397,20
Espessura (cm)	8	6	0	5
Temperatura das Camadas (°C)	23,18	23,99	0,00	24,74

### EXTENSÕES CALCULADAS

	<i><math>\epsilon</math>Tracção (<math>\mu m</math>)</i>	<i><math>\epsilon</math>Vertical (<math>\mu m</math>)</i>
Desgaste	254,01	594,39
Ligação	0,00	0,00
Regularização	224,48	594,39
Base	196,69	594,39

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_



# PAVDIM

## RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS GRANULARES

### SOLO

CBR (%)	7
Módulo de Deformabilidade (MPa)	70

### SUB-BASE

Espessura (cm)	30
Módulo de Deformabilidade (MPa)	182,32

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_



# PAVDIM

## RELATÓRIO DE RESULTADOS DAS CAMADAS HIDRÁULICAS

Número acumulado de eixos padrão

N130	723296,75
------	-----------

### TENSÃO DE TRACÇÃO

$\sigma$ (MPa)	1,567
----------------	-------

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_