

**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2018/2019**

Departamento de Engenharia Civil



**Ana Cristina**  
**Sarabando Pata**

**Construção e Reabilitação de Pavimentos**  
**Rodoviários – Relatório de Estágio Curricular**





**Universidade de Aveiro**  
Ano 2018/2019

Departamento de Engenharia Civil

**Ana Cristina  
Sarabando Pata**

**Construção e Reabilitação de Pavimentos  
Rodoviários – Relatório de Estágio Curricular**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



*À minha família e ao meu namorado!*



## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Doutor Luís Francisco Amaral Silva**  
Supervisor de Infraestruturas, Egis Road Operation Portugal

**Professor Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

Esta página serve para agradecer a todas as pessoas que sempre me apoiaram e ajudaram ao longo dos anos neste curso.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família, aos meus pais, meu irmão e meu namorado. Sem vocês nada seria possível, ou seria muito mais difícil; por isso, obrigado pelo apoio incondicional.

A todos os meus amigos, dentro e fora da universidade, o vosso apoio, companheirismo e amizade foram incríveis. Aos amigos da universidade, principalmente, obrigada por todas as experiências e memórias vividas ao longo dos melhores anos na vida de uma pessoa.

Por último, mas não menos importante, quero também agradecer ao meu orientador, Professor Agostinho Benta, pela ajuda, disponibilidade, compreensão e conhecimentos transmitidos ao longo do último ano do curso.

Muito obrigada, por tudo!



**palavras-chave**

Engenharia, estágio, pavimentos rodoviários, construção de pavimentos, patologias de pavimentos, reabilitação de pavimentos

**resumo**

Tendo em conta que a rede rodoviária nacional já está praticamente concluída e que a situação económica do país não é a mais favorável, a realização de novos trabalhos rodoviários é quase uma impossibilidade; pelo que, atualmente, o mais importante é a conservação e a reabilitação dos pavimentos rodoviários existentes.

O presente trabalho consiste no relatório de estágio realizado durante o atual ano letivo, de forma a obter o grau de Mestre em Engenharia Civil. Este estágio realizou-se na Universidade de Aveiro em parceria com a Câmara Municipal de Aveiro, num período de nove meses, tendo como principal objetivo o acompanhamento da construção e reabilitação de pavimentos rodoviários.

Para tal, utilizaram-se ferramentas práticas e teóricas de diversas disciplinas da Engenharia Civil, com especial ênfase nos ensaios de caracterização dos materiais de construção envolvidos e no acompanhamento da execução da empreitada, com vista à verificação do cumprimento das características dos materiais e dos métodos de aplicação em obra. O que permitiu colaborar nas tarefas propostas pela Câmara Municipal de Aveiro e pelo orientador do estágio.

Com este estágio foi possível adquirir novos conhecimentos relacionados com pavimentos rodoviários e perceber como se processa uma obra pública.



**keywords**

Engineering, traineeship, road pavements, pavements construction, pavements rehabilitation, pavement pathologies

**abstract**

Considering that the national road network is almost completed and the country's economic situation isn't the most favorable, new road works are almost impossible. Therefore, the most important is the conservation and rehabilitation of existing roads pavements.

The present work consists of the traineeship report made during the current school year, in order to obtain the degree of Master's in Civil Engineering. This traineeship was held at the University of Aveiro in partnership with the Aveiro City Council, over a period of nine months, with the main objective of monitoring the construction and rehabilitation of road pavements.

To this end, practical and theoretical tools from several Civil Engineering disciplines were used, with special emphasis on the characterization test of materials involved and on the monitoring of the execution of the contract, in order to verify the fulfillment of the characteristics of the materials and the application methods on-site. This allowed the collaboration in the tasks proposed by the Aveiro City Council and the traineeship advisor.

With this traineeship it was possible to acquire new knowledge related to road pavements and to understand how a public work is processed.



# Índices

---





# Índice

Índice de Figuras .....	XIX
Índice de Gráficos .....	XXI
Índice de Tabelas .....	XXIII
Lista de Abreviaturas .....	XXV
<b>1. Introdução</b> .....	29
<b>1.1. Motivação</b> .....	29
<b>1.2. Objetivos</b> .....	29
<b>1.3. Calendarização</b> .....	30
<b>1.4. Descrição dos Trabalhos Acompanhados</b> .....	30
<b>1.5. Estrutura do Documento</b> .....	31
<b>2. Execução das Obras de Pavimentação</b> .....	35
<b>2.1. Enquadramento Teórico</b> .....	35
<b>2.2. Descrição do Troço a Reabilitar</b> .....	36
<b>2.3. Trabalhos a Realizar</b> .....	38
<b>2.4. Desenvolvimento dos Trabalhos</b> .....	40
<b>3. Avaliação da Qualidade Funcional dos Pavimentos</b> .....	45
<b>3.1. Constituição dos Pavimentos</b> .....	45
<b>3.2. Patologias de Pavimentos Rodoviários</b> .....	45
<b>3.3. Caracterização do Estado Superficial do Pavimento</b> .....	51
<b>4. Ensaio de Controlo da Qualidade</b> .....	55
<b>4.1. Controlo da Qualidade da Fundação de Pavimentos</b> .....	55
<b>4.2. Controlo da Qualidade do Tout-Venant</b> .....	55
<b>4.3. Controlo da Qualidade das Misturas Betuminosas</b> .....	56
<b>5. Ensaio Realizados em Laboratório</b> .....	59
<b>5.1. Solo de Fundação</b> .....	59
<b>5.1.1. Granulometria</b> .....	60
<b>5.1.2. Equivalente de Areia</b> .....	62
<b>5.1.3. Ensaio de Compactação - Proctor</b> .....	63
<b>5.2. Tout-Venant 1 (Amarelo)</b> .....	65
<b>5.2.1. Granulometria</b> .....	65
<b>5.2.2. Equivalente de Areia</b> .....	67
<b>5.2.3. Ensaio de Compactação - Proctor</b> .....	68
<b>5.3. Tout-Venant 2 (Cinzento)</b> .....	68
<b>5.3.1. Granulometria</b> .....	68

5.3.2. Equivalente de Areia .....	70
5.4. Mistura Betuminosa – Camada de Base .....	70
5.4.1. Índices Físicos .....	71
5.4.2. Extração de Betume.....	72
5.4.3. Granulometria .....	73
5.4.4. Ensaio de Marshall .....	74
5.5. Mistura Betuminosa – Camada de Regularização.....	75
5.5.1. Índices Físicos .....	75
5.5.2. Extração de Betume.....	76
5.5.3. Granulometria .....	76
5.5.4. Ensaio de Marshall .....	78
5.6. Ensaio de Laboratório vs. Documentação Fornecida .....	79
5.6.1. Solo de Fundação .....	79
5.6.2. Tout-Venant (ABGE) .....	79
5.6.3. Mistura Betuminosa da Camada de Base.....	79
5.6.4. Mistura Betuminosa da Camada de Regularização .....	81
6. Considerações Finais.....	85
Anexo A – Declaração de Desempenho do Tout-Venant.....	89
Anexo B - Ensaio de Compactação – Tout-Venant.....	91
Anexo C – Valores do Ensaio de Marshall (Camada de Base).....	93
Anexo D – Valores do Ensaio de Marshall (Camada de Regularização).....	95
Anexo E - Registos de Temperaturas.....	97
Referências Bibliográficas .....	101

## Índice de Figuras

Figura 1 – Localização do cruzamento a intervir e sua envolvente (Google Earth, 2019).....	36
Figura 2 - Estrutura do pavimento a construir e respetiva legenda (Ripórtico Engenharia, 2018a).....	37
Figura 3 - Principais locais a intervir (Ripórtico Engenharia, 2018a).....	38
Figura 4 - Cruzamento antes da requalificação (Avenida da Universidade) (Google Earth, 2019).....	39
Figura 5 - Antiga Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários(Google Earth, 2019).....	39
Figura 6 – Antigo acesso ao estacionamento da UA (“Google Earth,” 2019).....	40
Figura 7 - Novo acesso ao Campus da UA depois da intervenção (Pata, 2019).....	41
Figura 8 - Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários após trabalhos de reabilitação (Pata, 2019) ...	41
Figura 9 - Vista aérea do resultado da reformulação do nó da Avenida da Universidade.....	42
Figura 10 - Interação entre degradações (Branco et al., 2016).....	46
Figura 11 - Exemplo de abatimento num pavimento (Madeira, 2018).....	48
Figura 12 – Fendilhação "pele de crocodilo" (Neves, 2017).....	49
Figura 13 - Exemplo de ninhos/covas em avançado estado (Neves, 2012).....	50
Figura 14 - Exemplo de exsudação (Google, 2019).....	50
Figura 15 - Indicação qualitativa referente a vários intervalos do índice de qualidade (IQ) (Benta et al., 2008).....	51
Figura 16 - Exemplo das degradações existentes na Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários.....	52
Figura 17 - Exemplo da degradação da Avenida de Universidade.....	52
Figura 18 - Classificação Unificada (Fernandes, 2016).....	60
Figura 19 – Amostra da granulometria do solo de fundação.....	62
Figura 20 - Determinação do EA (Branco et al., 2016).....	62
Figura 21 – Instrumento usado na realização do ensaio de compactação.....	65
Figura 22 - Amostra da granulometria do tout-venant 1 (amarelo).....	67
Figura 23 - Amostra da granulometria do tout-venant 2 (cinzento).....	70
Figura 24 - Representação dos provetes utilizados na camada de base.....	71
Figura 25 - Processo de extração do betume.....	72

Figura 26 – Amostra da granulometria da MB da camada de base .....	74
Figura 27 - Representação dos provetes utilizados na camada de regularização .....	75
Figura 28 - Amostra da granulometria da MB da camada de regularização .....	78
Figura 29 - Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 31 de março de 2019 em Portugal continental (Atmosfera, 2019b).....	97
Figura 30 - Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 31 de maio de 2019 em Portugal continental(Atmosfera, 2019a).....	97

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Curva granulométrica do solo de fundação.....	61
Gráfico 2 - Relação entre baridade seca e teor em água.....	64
Gráfico 3 - Curva granulométrica do tout-venant 1 (amarelo).....	66
Gráfico 4 - Curva granulométrica do tout-venant 2 (cinzento).....	69
Gráfico 5 - Curva granulométrica da MB da camada de base.....	73
Gráfico 6 - Curva granulométrica da MB da camada de regularização.....	77
Gráfico 7 - Distribuição de valores do teste 1 do Marshall da camada de base.....	93
Gráfico 8 - Distribuição de valores do teste 2 do Marshall da camada de base.....	93
Gráfico 9 - Distribuição de valores do teste 3 do Marshall da camada de base.....	94
Gráfico 10 - Distribuição de valores do teste 4 do Marshall da camada de base.....	94
Gráfico 11 - Distribuição de valores do teste 1 do Marshall da camada de regularização.....	95
Gráfico 12 - Distribuição de valores do teste 2 do Marshall da camada de regularização.....	95
Gráfico 13 - Distribuição de valores do teste 3 do Marshall da camada de regularização.....	96
Gráfico 14 - Distribuição de valores do teste 4 do Marshall da camada de regularização.....	96



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Calendarização do estágio .....	30
Tabela 2 - Famílias e tipos de patologias (Branco et al., 2016).....	47
Tabela 3 - Valores do IQ em diferentes anos nas duas ruas estudadas.....	52
Tabela 4 - Resultados da granulometria do solo de fundação .....	61
Tabela 5 - Valor do EA do solo de fundação.....	63
Tabela 6 - Características referentes ao molde do ensaio PROCTOR .....	63
Tabela 7 - Valores referentes á determinação da baridade seca .....	64
Tabela 8 - Resultados da granulometria do tout-venant 1 (amarelo).....	66
Tabela 9 - Valor do EA do tout-venant 1 (amarelo).....	67
Tabela 10 - Resultados da granulometria do tout-venant 2 (cinzento).....	69
Tabela 11 - Valor do EA do tout-venant 2 (cinzento) .....	70
Tabela 12 - Valores referentes à baridade da MB da camada de base.....	71
Tabela 13 - Valores referentes à baridade máxima e à porosidade da MB da camada de base.....	72
Tabela 14 - Valores referentes à extração de betume da MB da camada de base .....	72
Tabela 15 - Resultados da granulometria do material constituinte da MB da camada de base.....	73
Tabela 16 – Sumário dos valores da compressão marshall - MB da camada de base .....	74
Tabela 17 - Valores referentes à baridade da MB da camada de regularização .....	75
Tabela 18 - Valores referentes à baridade máxima e à porosidade da MB da camada de regularização .....	76
Tabela 19 - Valores referentes à extração de betume da MB da camada de regularização .....	76
Tabela 20 - Resultados da granulometria do material constituinte da MB da camada de regularização.....	77
Tabela 21 – Sumário dos valores da compressão marshall - MB da camada de regularização.....	78
Tabela 22 - Informação referente à MB da camada de base (Ripórtico Engenharia, 2018a) .....	80
Tabela 23 - Informação referente à MB da camada de base (Pereira, 2016b).....	80
Tabela 24 - Tabela resumo das verificações referentes à camada de base .....	81
Tabela 25 - Informação referente à MB da camada de regularização (Ripórtico Engenharia, 2018a).....	81

Tabela 26 - Informação referente à MB da camada de regularização (Pereira, 2016a).....	82
Tabela 27 - Tabela resumo das verificações referentes à camada de regularização .....	82
Tabela 28 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de base.....	93
Tabela 29 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de base (continuação).....	94
Tabela 30 - Valores máximos referentes ao ensaio Marshall (camada de base) .....	94
Tabela 31 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de regularização .....	95
Tabela 32 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de regularização (continuação) .....	96
Tabela 33 - Valores máximos referentes ao ensaio Marshall (camada de regularização) .....	96



## Lista de Abreviaturas

AASHO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AC	<i>Asphalt Concret</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BB	Betão Betuminoso
CE	Caderno de Encargos
CMA	Câmara Municipal de Aveiro
DCI	Diâmetro Circular Interno
DD	Declaração de Desempenho
DD <sub>AC14</sub> , DD <sub>AC20</sub>	Declaração de Desempenho da Mistura Betuminosa
DD <sub>T</sub>	Declaração de Desempenho do Tout-Venant
DEC	Departamento de Engenharia Civil
EA	Equivalente de Areia
EN	<i>European Norm</i>
IQ	Índice de Qualidade Global
IRI	<i>International Roughness Index</i>
ISCAA	Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro
JAE	Junta Autónoma de Estradas
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MACOPAV	Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional
MB	Mistura Betuminosa
MD	Memória Descritiva
NP	Norma Portuguesa
UA	Universidade de Aveiro



# Capítulo 1

---

Introdução



## 1. Introdução

O presente relatório de estágio refere-se ao Estágio Curricular integrante do plano curricular do Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade de Aveiro (UA), fazendo parte dos estudos referentes à Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio. E teve como principais objetivos o estudo de materiais constituintes de obras rodoviárias, bem como o acompanhamento destas.

Este relatório baseia-se na unidade curricular de Estágio, e versa sobre o tema “Construção e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários”, para que seja possível compreender os processos de construção e de reabilitação de pavimentos rodoviários. O presente documento reporta o trabalho realizado durante o estágio desenvolvido em parceria com a Câmara Municipal de Aveiro (CMA), no ano letivo de 2018/2019.

### 1.1. Motivação

O motivo para optar pela realização do estágio curricular deveu-se ao interesse em realizar um trabalho prático, ou seja, poder aplicar conhecimentos teóricos na prática da engenharia civil através do estágio na CMA. Outro fator considerado foi a realidade das necessidades de trabalho hoje em dia, na medida em que a experiência profissional é muito importante.

### 1.2. Objetivos

Os objetivos desta unidade curricular remetem para a relação entre a teoria e a prática da engenharia e a integração no âmbito profissional. Nomeadamente:

- Consolidação de conhecimentos teóricos adquiridos e desenvolvimento de capacidades profissionais na área da Engenharia Civil;
- Desenvolvimento de capacidades específicas na área das Infraestruturas;
- Desenvolvimento de capacidades de trabalho individual e em equipa;
- Aquisição de conhecimentos sobre construção e reabilitação de pavimentos.

Já os objetivos deste estágio são o acompanhamento dos trabalhos *in situ*, o estudo de materiais (como solos e misturas betuminosas) utilizados em obra e a verificação da conformidade da qualidade dos mesmos.

### 1.3. Calendarização

O plano de estágio foi elaborado no início do ano letivo, em conjunto com o Orientador. Tendo em conta a obra e as exigências da mesma, desenvolveu-se a calendarização que se apresenta na Tabela 1, que faz referência às diferentes partes do estágio e que foram desenvolvidas durante o período letivo.

Tabela 1 - Calendarização do estágio

	2018			2019					
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
A									
B									
C									
D									
E									
F									

Em que as tarefas são as seguintes:

- A – Pesquisa bibliográfica;
- B – Acompanhamento de obras de pavimentação da CMA;
- C – Avaliação de qualidade funcional de pavimento existente;
- D – Verificações da conformidade da execução das obras de pavimentação;
- E – Ensaios de controlo de qualidade;
- F – Redação do relatório de estágio.

As atividades planeadas acabaram por decorrer de uma forma mais flexível. Enquanto a obra decorria foi havendo o acompanhamento da mesma e as atividades tiveram de se adaptar às exigências da prática. Por exemplo, apesar de os ensaios de controlo de qualidade estarem agendados para Janeiro começaram a ser feitos em Dezembro, porque ao iniciarem as obras verificaram que o solo de fundação poderia ser o mesmo, o que poupou tempo e fez com que a calendarização se adiantasse.

### 1.4. Descrição dos Trabalhos Acompanhados

O trabalho acompanhado durante o estágio insere-se na obra de Reformulação do Nó da Avenida da Universidade (ISCAA), localizada no entroncamento da Avenida da Universidade com a Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários, com o intuito de substituir a sinalização luminosa por uma rotunda.

De acordo com a Memória Descritiva (MD) fornecida pela CMA (Ripórtico Engenharia, 2018b), a rotunda faz a assimilação de cinco ramos e conta com uma faixa de rodagem com duas vias e um ilhéu central com 20 m de diâmetro e um Diâmetro Circular Interno (DCI) de 41,8 m.

Os pavimentos que constituem a faixa de rodagem são pavimentos flexíveis constituídos por camadas com as seguintes características:

- Camada de Desgaste – asphalt concret ac 14 surf 50/70 (BB) e espessura de 0,06 m;
- Camada de Regularização – asphalt concret ac 20 reg 50/70 (MB) e espessura de 0,07 m;
- Camada de Base – asphalt concret ac 20 base 50/70 (MB) e espessura de 0,07 m;
- Camadas de Base, Sub-base e Leito de Pavimento – material britado de granulometria extensa e espessura de 0,15 m. (Ripórtico Engenharia, 2018b)

A construção desta rotunda pretende aumentar a capacidade de escoamento de tráfego nas duas vias principais existentes e a construção de um novo acesso ao Campus da Universidade de Aveiro. Para além de dar continuidade aos trajetos cicláveis e aos percursos pedonais na sua envolvente. (Ripórtico Engenharia, 2018b)

## **1.5. Estrutura do Documento**

O presente relatório encontra-se dividido em seis capítulos, anexos e referências bibliográficas.

Neste capítulo descrevem-se as considerações gerais do tema do estágio, os objetivos a atingir, a calendarização dos trabalhos e a sua descrição generalista.

No Capítulo 2 “Execução de Obras de Pavimentação” aborda-se, teoricamente, o enquadramento das obras de pavimentação e faz-se uma descrição do troço a reabilitar bem como uma apresentação, resumida, dos trabalhos realizados e como estes se desenvolveram ao longo do estágio.

Os Capítulos 3 e 4 consistem na avaliação da qualidade funcional dos pavimentos. O primeiro, “Avaliação da Qualidade Funcional dos Pavimentos”, faz referência à constituição destes, às suas patologias (as mais comuns de existir) e, o mais importante para a realização deste estágio, o estado superficial do pavimento. No Capítulo 4 “Ensaio de Controlo de Qualidade” é referenciado as exigências presentes no Caderno de Encargos (CE) para o controlo de qualidade, tanto para a fundação do pavimento como para as misturas betuminosas.

No capítulo 5 “Ensaio Realizados em Laboratório” são apresentados todos os valores referentes aos ensaios realizados aos materiais constituintes do pavimento e que foram utilizados em obra, como solo de fundação, tout-venant e misturas betuminosas das camadas de base, de regularização e de desgaste. E é também feita uma comparação entre os valores destes ensaios e os valores presentes no CE Declaração de Desempenho (DD) e que deverão ser cumpridos.

Por último no Capítulo 6 “Considerações Finais” apresentam-se as conclusões finais do relatório de estágio.

Os anexos de A a D complementam o estudo realizados aos materiais constituintes, pois consistem em resultados de ensaios efetuados exteriormente ao laboratório do DEC e em resultados obtidos informaticamente.



## **Capítulo 2**

---

### **Execução de Obras de Pavimentação**



## 2. Execução das Obras de Pavimentação

### 2.1. Enquadramento Teórico

O pavimento é um dos elementos das obras rodoviárias mais sujeito a ações agressivas durante o seu período de vida útil, reduzindo a capacidade estrutural e funcional, o que resulta em degradações que devem ser evitadas ou reparadas o mais rápido possível. (Branco et al., 2016)

Os pavimentos rodoviários flexíveis são projetados de modo a que o seu nível de serviço se mantenha durante um determinado número de passagens do tráfego pesado. Mas, após a sua construção, qualquer pavimento rodoviário está sujeito a diversas ações, como climáticas e de tráfego, o que provoca a sua degradação. Esta, como referido anteriormente, deve ser evitada e/ou reparada pois é a causa principal da perda de qualidade do pavimento, no que diz respeito a condições de conforto, segurança e capacidade de carga. (Branco et al., 2016)

O conforto e a segurança na circulação rodoviária são assegurados pelas características estruturais e funcionais das camadas constituintes dos pavimentos. A parte estrutural está relacionada com a capacidade que as camadas têm de *“resistir às cargas aplicadas pelos veículos e às ações climáticas, sem que sofra degradações que ponha em risco a funcionalidade do pavimento”*. Enquanto a parte funcional se relaciona *“com as características de segurança e conforto da superfície da camada de desgaste do pavimento”*. (Pais et al., 2000)

Na maioria dos casos de reabilitação verifica-se que a solução adotada passa pela reabilitação estrutural, recorrendo-se à realização de reforços de pavimento com espessuras de mistura betuminosa relevantes que se colocam sobre o pavimento já existente e fendilhado. Contudo, também é possível executar intervenções apenas na componente funcional dos pavimentos, apesar de estas só poderem ser realizadas quando o pavimento se encontra com boa capacidade estrutural e se pretende melhorar as características de conforto e segurança.

No caso da obra em estudo, como os pavimentos intervencionados têm muito tráfego, devido ao acesso à universidade e ao hospital, já apresentavam alguma degradação havendo perda de qualidade, principalmente no conforto para os utentes. De modo a solucionar este problema, e com intenção de alterar o funcionamento do nó, optou-se pela alteração das características estruturais, removendo a estrutura existente para a realização de uma nova e com novos materiais.

## 2.2. Descrição do Troço a Reabilitar

Os troços da via rodoviária sujeitos a reabilitação no âmbito do projeto (Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários, Avenida da Universidade e acesso ao estacionamento da UA) localizam-se na freguesia de Glória e Vera Cruz na cidade de Aveiro.



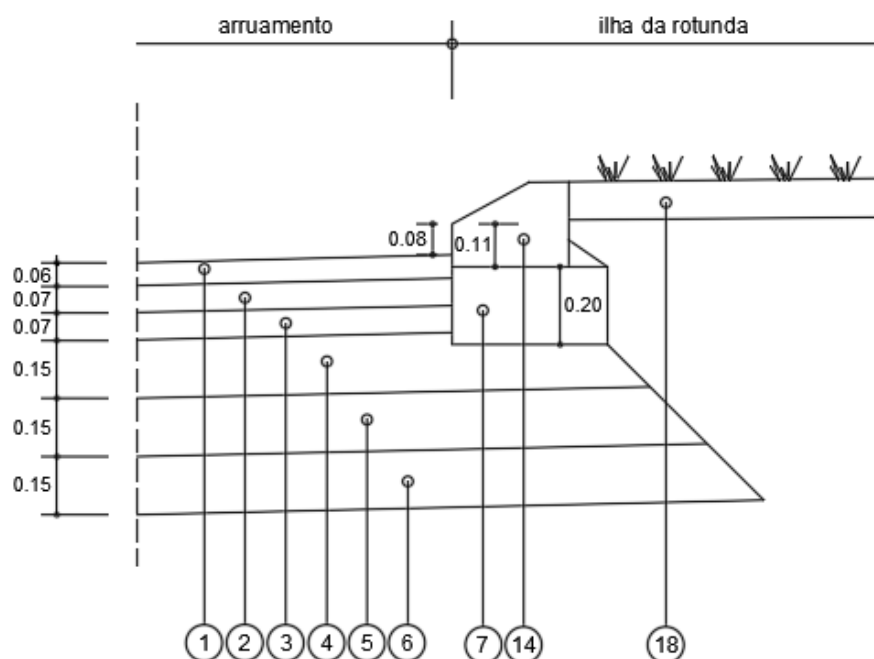
Figura 1 – Localização do cruzamento a intervir e sua envolvente (Google Earth, 2019)

O local a reabilitar e requalificar (Figura 1) tem bastante importância rodoviária, principalmente devido ao acesso da Avenida da Universidade à UA e ao Hospital de Aveiro. Apresentando algumas degradações à superfície, nomeadamente rodeiras, fendilhação e abatimentos.

A estrutura tipo, prevista na requalificação (Figura 2), tem uma espessura total de 65 cm, sobre um solo de fundação cuja camada de leito de pavimento tem 15 cm de solos seleccionados, as camadas granulares têm 30 cm e as camadas betuminosas têm 20 cm.

## Pormenor E

Esc. 1:20



1 – Camada de desgaste em **ASPHALT CONCRET AC 14 SURF 50/70 (BB)** com betume de penetração 50/70, com 0,06m de espessura, após rega de colagem com emulsão de betume catiónica de rotura rápida à taxa média de 0,5kg/m<sup>2</sup>.

2 – Camada de regularização em **ASPHALT CONCRET AC 20 REG 50/70 (MB)** com 0,07m de espessura, após rega de colagem com emulsão catiónica de rotura rápida, à taxa média de 0,5kg/m<sup>2</sup>.

3 – Camada de base em **ASPHALT CONCRET AC 20 BASE 50/70 (MB)** com betume de penetração nominal 50/70, com 0,07m de espessura, incluindo impregnação preliminar com emulsão catiónica do tipo ECI à taxa de 1,0 kg/m<sup>2</sup> e rega de colagem com emulsão catiónica de rotura rápida, à taxa média de 0,5kg/m<sup>2</sup>.

4 – Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0,15m de espessura.

5 – Camada de sub-base em material britado de granulometria extensa, com 0,15m de espessura.

6 – Leito de pavimento em material britado de granulometria extensa, com 0,15m de espessura, executado sobre manta geotêxtil de 400g/m<sup>2</sup> (tração mínima de 15kg/m<sup>2</sup>).

7 – Fundação em betão.

8 – Lancil em betão normal (1000x250x150x120mm).

9 – Lancil de pedra (1000x250x150mm)

10 – Pavimento em micro cubo de calcário.

11 – Pavimento do tipo pedra chão hexagonal cor cinza de 6cm de espessura.

12 – Almofada de areia, com 0,05m de espessura.

13 – Lancil de betão guia (1000x250x80x8mm).

14 – Lancil de betão galgável (1000x300x220x100mm).

15 – Camada de desgaste em **ASPHALT CONCRET AC 14 SURF 50/70 (BB)** com betume de penetração 50/70, com 0,05m de espessura, incluindo impregnação preliminar com emulsão catiónica do tipo ECI à taxa média de 1,0kg/m<sup>2</sup>.

16 – Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0,20m de espessura.

17 – Camada de base em material britado de granulometria extensa, com 0,20m de espessura.

18 – Camada de terra vegetal, com 10cm de espessura.

19 – Camada de pedrisco, com 10cm de espessura.

20 – Grelhas de enrelvamento (600x400x80mm).

Figura 2 - Estrutura do pavimento a construir e respetiva legenda (Ripórtico Engenharia, 2018a)

### 2.3. Trabalhos a Realizar

Segundo os trabalhos apresentados no CE, e tendo em conta os que são necessários para a boa execução da obra, e que foram acompanhados, podem-se salientar os seguintes:

- Escavação e movimentação de terras;
- Execução do aterro;
- Compactação e regularização do fundo de caixa;
- Modelação do terreno;
- Empréstimos e depósitos em zonas do estaleiro;
- Controlo de qualidade;
- Pavimentação;
- Execução de acabamentos. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Estes devem ser executados em conformidade com as peças desenhadas e as disposições do CE.

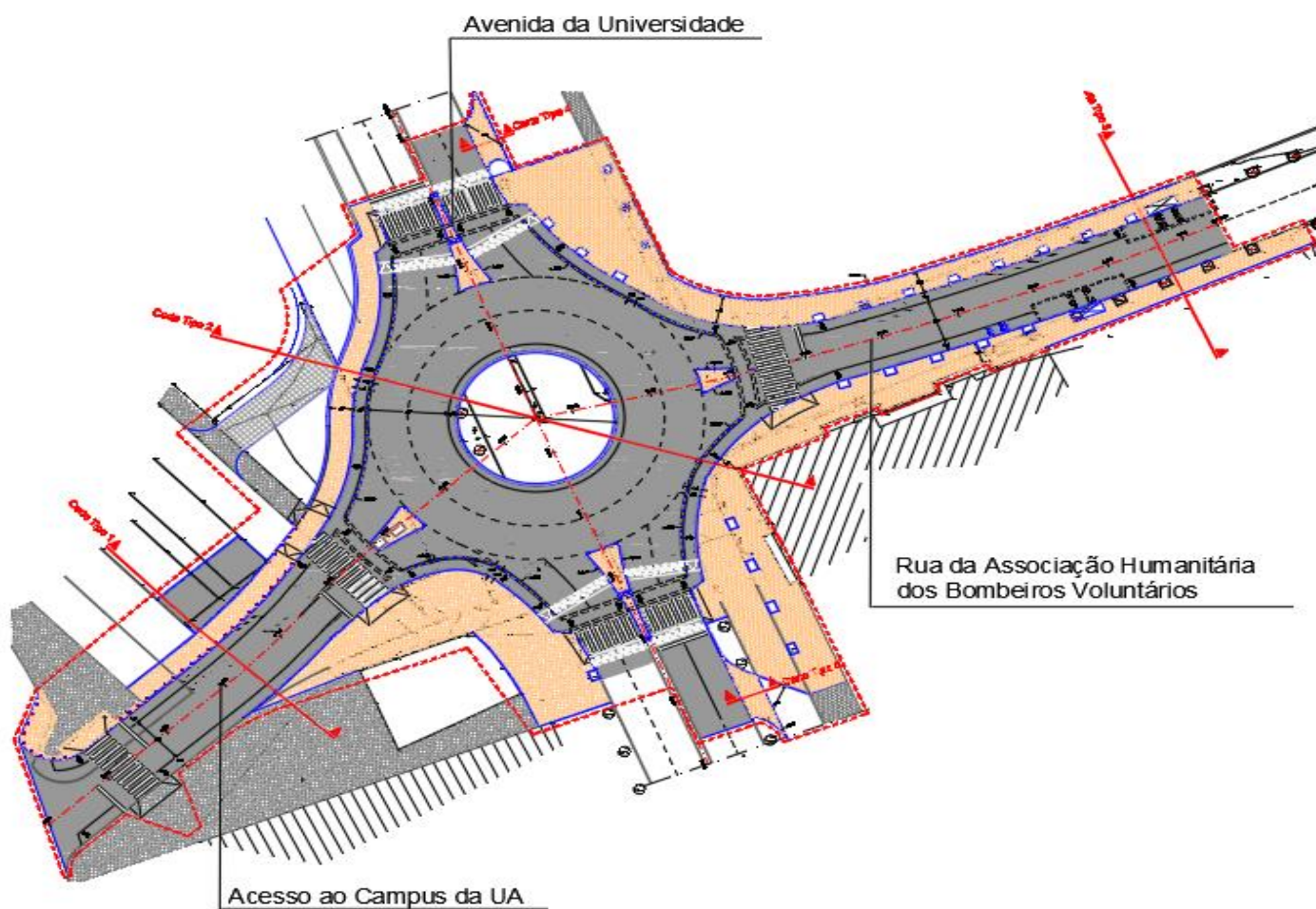
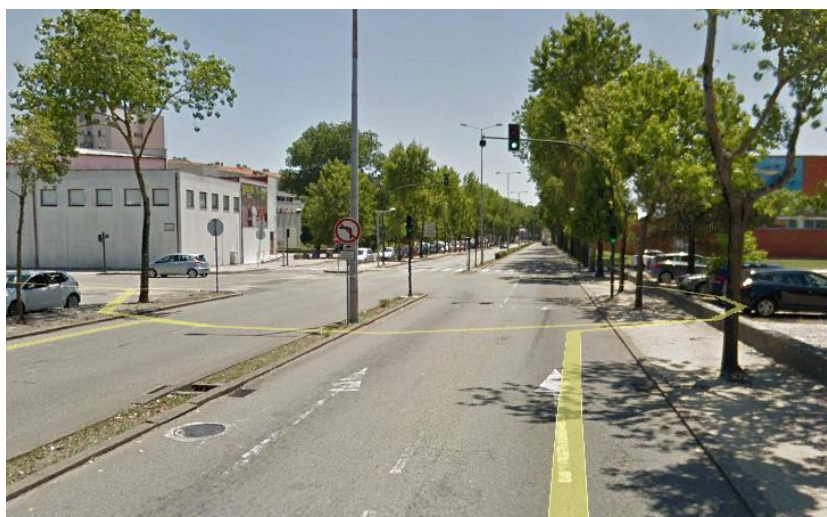


Figura 3 - Principais locais a intervir (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Na figura acima (Figura 3) apresenta-se a planta do projeto, de forma a perceber melhor o enquadramento dos trabalhos a desenvolver. A intervenção decorreu nas ruas Avenida da Universidade, Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários e no Acesso ao Campus Universitário.

As degradações eram visíveis a olho nu, principalmenete na Avenida da Universidade (Figura 4) e na Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários (Figura 5). A Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários tinha grandes abatimentos e fendilhações, enquanto a Avenida da Universidade apresentava fendilhações e abatimentos num estado razoável. O acesso à universidade (Figura 6) não apresentava degradações tão relevantes a olho nu.

Tendo em conta a condição destes arruamentos, foi necessário avaliá-los qualitativamente para saber quais os reais problemas existentes e qual a melhor solução a usar.



*Figura 4 - Cruzamento antes da requalificação (Avenida da Universidade) (Google Earth, 2019)*



*Figura 5 - Antiga Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários(Google Earth, 2019)*



*Figura 6 – Antigo acesso ao estacionamento da UA (“Google Earth,” 2019)*

## **2.4. Desenvolvimento dos Trabalhos**

Depois de abordar o que é pretendido com a realização desta obra, e de forma a fazer uma breve introdução ao que era suposto realizar por parte da UA com esta parceria, apresenta-se, de seguida, um breve resumo do desenvolvimento dos trabalhos ao longo do estágio.

A obra teve início no dia 12 de Novembro com a montagem do estaleiro e a preparação dos trabalhos nas Piscinas do Beira-Mar para que fosse possível adaptar esta estrutura (muro e rede de proteção) à forma da rotunda. Também por estes dias foram demolidos alguns elementos existentes nas vias a intervir como a paragem de autocarro e a sinalização luminosa e vertical.

Depois disto realizaram-se alguns trabalhos em condutas de modo a resolver problemas existentes no cruzamento de má drenagem de águas da chuva. Posteriormente efetuou-se o abate de árvores que impediriam futuros trabalhos, na Avenida da Universidade e na Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários.

Tudo o que se fez depois disto aconteceu por etapas. Ou seja, primeiro os trabalhos no novo acesso à UA, seguidos pela Rua da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários e, por fim, a Avenida da Universidade. Depois de retirado o antigo pavimento, no início do mês de Dezembro, procedeu-se à estabilização do solo de fundação já existente e à recolha de amostra. Posteriormente aplicou-se o tout-venant, também com recolha de amostra para ensaios laboratoriais.





*Figura 7 - Novo acesso ao Campus da UA depois da intervenção (Pata, 2019)*



*Figura 8 - Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários após trabalhos de reabilitação (Pata, 2019)*

Aquando da colocação do tout-venant na avenida principal foram colocados os lancis de forma a realizar a rotunda. Quando o tout-venant já estava aplicado e compactado, fizeram-se as caixas de infraestruturas para rega, abastecimento de água e eletricidade e a caixa com válvula de água. Enquanto isso procedia-se aos trabalhos de calçada e colocação de lancis, seguido da colocação de caixa com boca de incêndio.

Depois de cerca de dois meses foi possível proceder à colocação da mistura betuminosa da camada de base, desta vez nas três vias intervencionadas e proceder à recolha de amostra para os ensaios laboratoriais realizados. A mistura betuminosa da camada de regularização começou a ser aplicada umas semanas depois, também com recolha de amostra.

Por último, e com o Acesso ao Campus da UA, a Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários (Figuras 7 e 8 respetivamente) e a Avenida da Universidade prontos foram feitos os trabalhos de acabamento, ou seja, a realização de passadeiras, pintura de sinalização horizontal, colocação de sinalização vertical, pilaretes e “bolas verdes” e acabamento da decoração da rotunda.

A obra acabou com a desmontagem do estaleiro e a sua abertura ao público no dia 21 de Maio (Figura 9).



*Figura 9 - Vista aérea do resultado da reformulação do nó da Avenida da Universidade*

## **Capítulo 3**

---

### Avaliação da Qualidade do Pavimento



### **3. Avaliação da Qualidade Funcional dos Pavimentos**

#### **3.1. Constituição dos Pavimentos**

Os pavimentos rodoviários flexíveis são constituídos por camadas de materiais granulares e betuminosos assentes num solo de fundação, natural ou de qualidade controlada.

O solo de fundação é constituído, usualmente, por solo natural, apesar de, nos casos em que não apresenta características mecânicas desejadas, poder ser submetido a estabilizações ou ser adicionado uma camada de solo com melhor qualidade. No final disto, obtém-se o designado “Leito de Pavimento”. (Francisco, 2012)

As camadas granulares são camadas constituídas por agregados (britados ou naturais) que são estabilizados mecanicamente.

As camadas ligadas (camadas superiores) são constituídas por materiais betuminosos que proporcionam à estrutura uma considerável deformabilidade e são constituídas por camadas de desgaste, de regularização e, em alguns casos, de base. O que permite uma maior resistência à fadiga. Já as camadas inferiores (não ligadas) são constituídas por material granular não ligado que, em contacto com o solo de fundação, oferecem uma maior resistência às tensões de compressão. (Francisco, 2012)

#### **3.2. Patologias de Pavimentos Rodoviários**

A progressiva degradação do pavimento torna-se visível com o aparecimento de patologias que provocam a deterioração das características estruturais e funcionais do pavimento. As deficiências a nível estrutural originadas pelo aparecimento destas patologias resultam no agravamento da degradação e na eventual rotura do pavimento rodoviário.

São considerados dois grupos de fatores que influenciam a degradação dos pavimentos: os fatores passivos e os fatores ativos. Os primeiros dependem do pavimento, nomeadamente da espessura das camadas, do material utilizado e da qualidade da construção. Já os fatores ativos dependem das ações do tráfego e do clima e são os principais responsáveis pela degradação dos pavimentos. (Branco et al., 2016)

As camadas betuminosas têm as suas condições de solicitação influenciadas pela temperatura, uma vez que quando esta é muito alta reduz a viscosidade do ligante e, por sua vez, aumenta a suscetibilidade às deformações. Mas quando as temperaturas são baixas também ocorre influência porque aumentando a rigidez da mistura betuminosa há maior capacidade em suportar esforços que possam ser maiores, o que acaba por a tornar numa mistura frágil. (Branco et al., 2016)

Os pavimentos flexíveis apresentam várias degradações que resultam da evolução dos pavimentos ao longo do tempo. Isto faz com o que a qualidade do pavimento reduza de forma continuada. (Branco et al., 2016)

As primeiras patologias visivelmente detetáveis nos pavimentos rodoviários são as deformações e fendilhações das camadas betuminosas, existindo uma grande variedade de degradações possíveis de ocorrer e que resultam da evolução ou da conjugação das duas principais patologias. (Branco et al., 2016)

O fendilhamento e a deformação interagem mutuamente (Figura 10), o que significa que o aparecimento do fendilhamento pode dar origem à deformação e vice-versa. Já a desagregação e o movimento de materiais têm uma relação direta com o fendilhamento, pois são a evolução deste ou a sua consequência. (Branco et al., 2016)

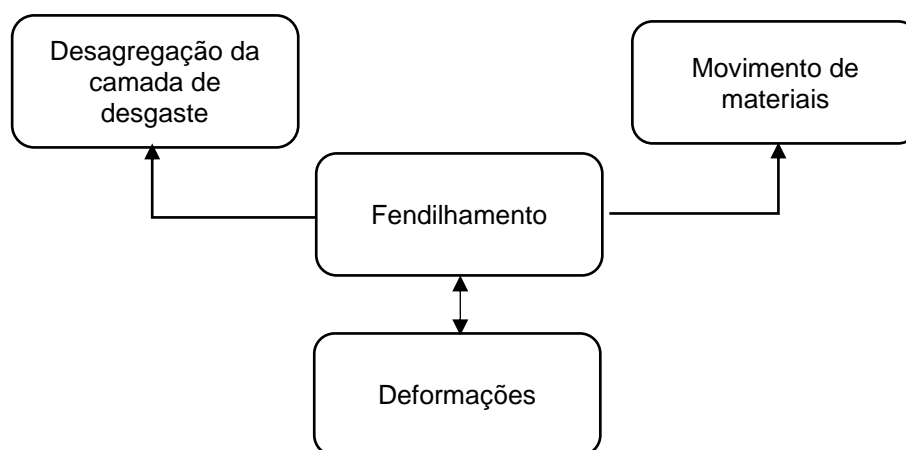


Figura 10 - Interação entre degradações (Branco et al., 2016)

Na Tabela 2 apresentam-se as diversas patologias possíveis de ocorrer em pavimentos rodoviários flexíveis e que irão ser descritas sucintamente neste subcapítulo. De acordo com esta tabela, as patologias podem ser agrupadas em quatro famílias com características semelhantes: deformações, fendilhamento, desagregação da camada de desgaste e movimento de materiais. Além destas

patologias existem outras relevantes pela sua frequência, apesar de não se inserirem nestas quatro famílias, como é o caso das reparações localizadas e as manchas de humidade.

Tabela 2 - Famílias e tipos de patologias (Branco et al., 2016)

Famílias de Degradações	Tipos de Degradações
Deformações	Abatimento { - longitudinal { - berma - transversal { - eixo Deformações localizadas Ondulação Rodeiras { - grande raio (camadas inferiores) - pequeno raio (camadas superiores)
Fendilhamento	Fendas { - fadiga { - eixo - longitudinais { - berma - transversais - parabólicas Pele de crocodilo { - malha fina ( $\leq 40\text{cm}$ ) - malha larga ( $> 40\text{cm}$ )
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação superficial Cabeça de gato Pelada Ninhos (covas)
Movimentos de materiais	Exsudação Subida de finos

### Deformação

Existem quatro tipos de patologias dentro da família das deformações: rodeiras, abatimento, deformações localizadas e ondulação, sendo que as duas primeiras, por serem as mais comuns, são as que merecem mais atenção.

O abatimento (Figura 11) é uma deformação com extensão significativa podendo-se manifestar longitudinalmente ou transversalmente e que surge nas camadas granulares ou no solo de fundação. (Branco et al., 2016)

A rodeira consiste em deformações longitudinais que se formam na zona de passagem dos rodados podendo ser classificadas como rodeiras de pequeno ou grande raio. (Branco et al., 2016). As primeiras surgem apenas nas camadas betuminosas enquanto as segundas ocorrem nas camadas não ligadas do pavimento.

Nas camadas granulares e no solo de fundação, a água pode alterar o comportamento do solo, ocorrendo perda de capacidade de suporte ou permitindo o arrastamento de partículas mais pequenas, o que cria vazios nas camadas granulares e tem como resultado a cedência do pavimento sob a passagem do tráfego rodoviário. Também a insuficiente compactação das camadas estruturais pode originar o desenvolvimento de deformações. (Torrão, 2015)



*Figura 11 - Exemplo de abatimento num pavimento (Madeira, 2018)*

## **Fendilhamento**

O fendilhamento é uma família de patologias muito comum nos pavimentos rodoviários que resulta, maioritariamente, da fadiga dos materiais das camadas betuminosas e é o primeiro sinal de perda de qualidade estrutural dos mesmos. A sua manifestação apresenta-se através de fendas isoladas ou ramificadas. (Branco et al., 2016)

A fendilhação isolada tem, por norma, orientação longitudinal ou transversal ao pavimento podendo, sob a influência de alterações mecânicas, progredir noutras direções. As fendas transversais devem-se à retração térmica, à capacidade de suporte diferencial do solo de fundação e à má execução de juntas transversais de construção; enquanto as fendas longitudinais podem formar-se na zona de passagem



dos rodados, no eixo da via, no eixo da estrada e junto à berma. Quando as fendas se encontram na zona de passagem dos rodados normalmente estão associadas à fadiga do pavimento. (Torrão, 2015)

Com a evolução das degradações, as fendas isoladas tendem a ramificar, podendo interligar fendas longitudinais e fendas transversais, o que dá origem à fendilhação múltipla. O que num estado muito avançado origina a “pele de crocodilo”. (Branco et al., 2016)

A “pele de crocodilo” (Figura 12) consiste numa malha com variadas dimensões (podem ser malha fina ou malha grossa), que inicialmente se encontra na zona de passagem dos rodados, acabando por atingir toda a largura da via de tráfego. (Torrão, 2015)



Figura 12 – Fendilhação “pele de crocodilo” (Neves, 2017)

### **Desagregação**

A desagregação é uma família de patologias que consiste na perda de qualidade da camada de desgaste devido à pouca estabilidade da ligação entre os seus materiais constituintes. (Branco et al., 2016)

Os ninhos, ou covas, (Figura 13) são aberturas arredondadas na camada de desgaste que consistem na evolução da fendilhação ou da desagregação superficial sendo muitas vezes associados às fendas ou à “pele de crocodilo”, pois é nos pontos de cruzamentos destas que se inicia a degradação da camada de desgaste. A ação dos rodados e da água sobre os ninhos também facilita a sua evolução progredindo em profundidade e extensão. (Torrão, 2015)



*Figura 13 - Exemplo de ninhos/covas em avançado estado (Neves, 2012)*

### **Movimento de Materiais - Exsudação**

A exsudação (Figura 14) consiste na subida do excesso de ligante da camada betuminosa de desgaste até à superfície da mesma. E pode ocorrer na zona de passagem dos rodados ou em zonas localizadas de maior concentração de ligante, resultantes da má execução em fase de construção, em condições de temperatura elevada e sob elevado tráfego rodoviário. (Branco et al., 2016)



*Figura 14 - Exemplo de exsudação (Google, 2019)*

### 3.3. Caracterização do Estado Superficial do Pavimento

A caracterização do estado superficial do pavimento baseada no levantamento de degradações observadas nas inspeções permite a aplicação de uma metodologia de avaliação global da qualidade do pavimento; o que, por sua vez, permite determinar o Índice de Qualidade Global (IQ). Que tem em conta as diferentes degradações observadas, a irregularidade longitudinal (IRI – *International Roughness Index*) e a profundidade das rodeiras. (Benta et al., 2008)

Segundo esta metodologia, o IQ pode ser calculado através da seguinte equação (1):

$$IQ = 5e^{-0,0002598 \frac{IRI}{2,0}} - 0,002139R^2 - 0,03(C + S + P)^{0,5} \quad (1)$$

Onde:

- IRI – irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km);
- R – profundidade média das rodeiras (mm);
- C – área com fendilhamento e pele de crocodilo (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);
- S – área com degradação superficial (covas e peladas) (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);
- P – área com reparações (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);
- (C+S+P) ≤ 100%.

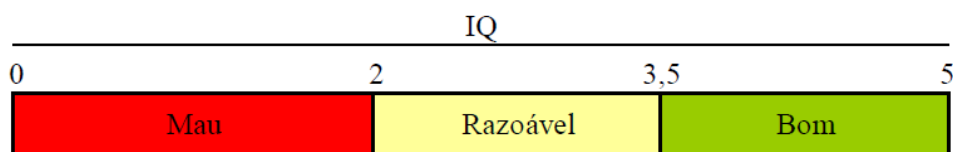


Figura 15 - Indicação qualitativa referente a vários intervalos do índice de qualidade (IQ) (Benta et al., 2008)

Com isto, o IQ pode variar entre zero (pavimento em muito mau estado) e cinco (pavimento em muito bom estado) sendo que o valor 2,0 serve como indicador da necessidade de intervenção (Figura 15). (Benta et al., 2008)

No caso desta obra já havia alguma informação acerca do estado de conservação, proveniente de trabalhos anteriormente realizados por alunos do DEC, observável na Tabela 3. Os valores apresentados resultaram de uma média dos obtidos nesses trabalhos. Da sua análise, e de acordo com a figura anterior, é possível concluir que a Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários se encontrava em “MAU” estado (IQ = 1,8) (Figura 16) e que a Avenida da Universidade estava num estado “RAZOÁVEL” (IQ = 3,3) (Figura 17). Estas conclusões são referentes aos anos de 2005 a 2017 tendo havido alterações depois disso.

Tabela 3 - Valores do IQ em diferentes anos nas duas ruas estudadas

Rua	Ano	IQ
Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários	2005	2,83
	2008	2,53
	2015	<b>1,80</b>
Avenida da Universidade	2017	<b>3,26</b>

Para além destas observações é necessário realizar ensaios para comprovar a qualidade do material aplicado em obra. Este ponto importante dos trabalhos vai ser analisado no seguinte capítulo.



Figura 16 - Exemplo das degradações existentes na Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários



Figura 17 - Exemplo da degradação da Avenida de Universidade

## **Capítulo 4**

---

### Ensaaios de Controlo de Qualidade



## 4. Ensaio de Controlo da Qualidade

De acordo com o CE e atendendo às condições, tiveram que se realizar determinados ensaios aos materiais aplicados em obra, nomeadamente, relativos ao controlo da qualidade da fundação e do tout-ventnat e ao controlo da qualidade das misturas betuminosas.

Em relação aos materiais resultantes da escavação e/ou a utilizar em aterros, a sua qualidade deve ser verificada ao longo dos trabalhos de forma continuada, pois a sua discrepância em relação às especificações origina compensações no dimensionamento do pavimento. As escavações devem ser feitas de modo a que haja um bom escoamento superficial de águas. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Apresentam-se de seguida as condições, que no Capítulo 5, serão comparadas com os valores obtidos nos ensaios.

### 4.1. Controlo da Qualidade da Fundação de Pavimentos

Para a boa execução da camada de fundação e em relação à abertura e regularização de caixa é importante que se verifiquem os seguintes trabalhos:

- Abertura de caixa com escavação de terras e sua remoção para vazadouro;
- Movimentos de terra dentro de obra para eventuais compensações;
- Compactação do fundo da caixa. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Para que a fundação do pavimento seja realizada com a qualidade desejada, a compactação relativa desta camada deve ser, no mínimo, de 95% em relação ao ensaio AASHO Modificado. A compactação relativa também tem que cumprir estes valores quando o Equivalente de Areia (EA) é superior a 30%. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

### 4.2. Controlo da Qualidade do Tout-Venant

Segundo o CE, a compactação relativa do tout-venant, em relação ao ensaio AASHO Modificado, não deve ser inferior a 95% em toda a sua área e extensão. Neste documento há ainda a condição de que o índice de vazios deve ser inferior a 13%. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Para este material há ainda a Declaração de Desempenho (DDt), que se encontra no Anexo A, que refere que o EA deve ser superior a 45%. (*ABGE 1º (0-31.5mm).pdf*, n.d.)

### **4.3. Controlo da Qualidade das Misturas Betuminosas**

O controlo da qualidade das camadas de misturas betuminosas é feito de acordo com o tipo e frequência de ensaios estabelecidos no CE, consistindo, maioritariamente, na verificação de especificações dos materiais elementares constituintes das misturas e verificação das suas qualidades, antes de aplicadas e depois de já terem sido executadas. (Branco et al., 2016)

Assim, para o controlo da qualidade deste tipo de misturas, antes do início dos trabalhos, deverão ser realizados ensaios à percentagem de desgaste, adesividade de cada material integrante, penetração do betume, composição granulométrica, determinação da absorção de água dos inertes e determinação de pesos específicos de inertes, filer e betume. (Ripórtico Engenharia, 2018a)

As misturas betuminosas só são aplicadas se se verificar que a camada subjacente tem a compactidade e regularidade especificadas no CE e/ou se a cura de impregnação betuminosa tiver terminado. (Ripórtico Engenharia, 2018a)



## **Capítulo 5**

---

### **Ensaio Realizados em Laboratório**



## 5. Ensaio Realizados em Laboratório

Para ser possível ensaiar os materiais utilizados em obra no laboratório do DEC teve que se proceder à sua recolha em obra, feita por mim e pelo técnico do laboratório, em várias deslocações ao local: solo de fundação, tout-venant, mistura betuminosa da camada de base, mistura betuminosa da camada de regularização e mistura betuminosa da camada de desgaste.

Os materiais para ensaio foram recolhidos nos três acessos, incluindo o acesso ao Campus da UA que aparentava estar em boas condições. Estas eram expectáveis, tendo em conta que se tratava da entrada para um estacionamento sujeita a baixa intensidade de tráfego.

Realizaram-se os ensaios de caracterização dos materiais usados em obra segundo as seguintes normas:

- Especificação LNEC 196-1966 – Análise Granulométrica;
- NP EN 933-8 – Ensaio do Equivalente de Areia;
- NP 143 – Determinação dos Limites de Consistência;
- Especificação LNEC 197-1966 – Ensaio de Compactação;
- EN 12697-6 – Determinação da Densidade;
- EN 12697-5 – Determinação da Densidade Máxima;
- ASTM D 2172 – Extração do betume;
- EN 12697-34 – Ensaio de Marshall.

### 5.1.Solo de Fundação

De forma a caracterizar o solo de fundação, determinou-se a sua granulometria, o EA, os limites de liquidez e plasticidade e, por último, a baridade seca máxima e o teor de água ótimo para a compactação (Ensaio Proctor). Toda a informação referente a estes ensaios é apresentada de seguida.

Note-se que, nesta obra, apesar de o aproveitamento do solo de fundação do Acesso ao Campus da UA já ser esperado, acabou por ser também aproveitado nos outros dois acessos.

### 5.1.1. Granulometria

A composição granulométrica de um solo define-se como sendo a distribuição, em percentagem do peso total, das partículas do solo de acordo com as suas dimensões (Fernandes, 2016). A sua classificação, assim como a classificação do tout-venant, foi feita com base na Figura 18.

Quadro 1.10 – Classificação de solos (ASTM D 2487-85)				Classificação do solo		
Critérios para designação dos símbolos e nome dos grupos utilizando ensaios de laboratório (a)				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)	
SOLOS GROSSOS	Cascalho limpos (c)	Cascalho limpos (c)	$C_U \geq 4$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem graduado (f)	
	mais de 50% retido no peneiro n.º 200	mais de 50% da fracção grossa retida no peneiro n.º 4	Menos de 5% de finos	$C_U < 4$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	GP	Cascalho mal graduado (f)
			Cascalhos com finos (c)	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho siltoso (f), (g), (h)
			Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)
	Areias	50% ou mais da fracção grossa passada no peneiro n.º 4	Areias limpas (d)	$C_U \geq 6$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)
			Menos de 5% de finos	$C_U < 6$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)
			Areias com finos (d)	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia siltosa (g), (h), (i)
			Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)
	SOLOS FINOS	Siltes e argilas	Inorgânico	$I_p > 7$ e situa-se na linha A ou acima desta (j)	CL	Argila magra (k), (l), (m)
				$I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
50% ou mais passado no peneiro n.º 200		$w_L < 50\%$	Orgânico	$\frac{w_L (\text{seco em estufa})}{w_L (\text{sem secagem})} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)
				Siltes e argilas	Inorgânico	$I_p$ situa-se na linha A ou acima desta
						$I_p$ situa-se abaixo da linha A
			$w_L \geq 50\%$	Orgânico	$\frac{w_L (\text{seco em estufa})}{w_L (\text{sem secagem})} < 0,75$	OH
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Turfa	

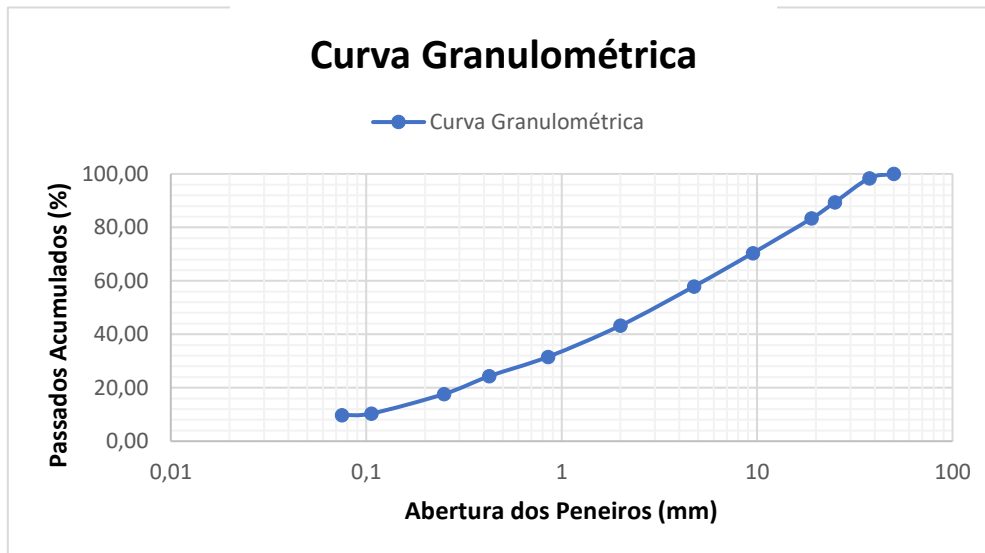
Figura 18 - Classificação Unificada (Fernandes, 2016)

Assim, e depois de realizado o ensaio de granulometria (Figura 19), segundo a E LNEC 196 (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1967a) com uma massa inicial de 6987,3 g foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 4 - Resultados da granulometria do solo de fundação

Peneiros		Massa Retida		Massa Retida Acumulada		Passados Acumulados
		g	%	g	%	%
50,0	2''	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5	1,5''	98,02	1,61	98,02	1,61	98,39
25,0	1''	546,74	8,98	644,76	10,59	89,41
19,0	3/4''	367,38	6,04	1012,14	16,63	83,37
9,5	3/8''	790,97	12,99	1803,11	29,62	70,38
4,75	4	759,81	12,48	2562,92	42,10	57,90
2,0	10	889,68	14,62	3452,60	56,72	43,28
0,85	20	713,76	11,73	4166,36	68,44	31,56
0,425	40	441,52	7,25	4607,88	75,70	24,30
0,25	60	404,33	6,64	5012,21	82,34	17,66
0,106	140	446,55	7,34	5458,76	89,67	10,33
0,075	200	33,43	0,55	5492,19	90,22	9,78
< 0,075	---	3,90	0,06	5496,09	90,29	9,71
Σ		5496,09	90,29			

Gráfico 1 - Curva granulométrica do solo de fundação



Ao analisar a Tabela 4 e o Gráfico 1 conclui-se que o solo de fundação é um material arenoso.



Figura 19 – Amostra da granulometria do solo de fundação

### 5.1.2. Equivalente de Areia

O EA consiste num parâmetro que avalia a quantidade de matéria muito fina que está associada a materiais que são mais grossos. O que define se o agregado está limpo ou não. (Branco et al., 2016)

A determinação do parâmetro (Figura 20), segundo a expressão (2) da NP EN 933-8 (Instituto Português da Qualidade, 2002), permite verificar se o material é plástico ou não plástico. Isto porque se o  $EA > 30$ , então o material é não plástico; se o  $EA < 20$  o material é plástico e deve-se realizar mais ensaios específicos, nomeadamente a determinação dos Limites de Atterberg ou determinação do Valor de Azul Metileno.

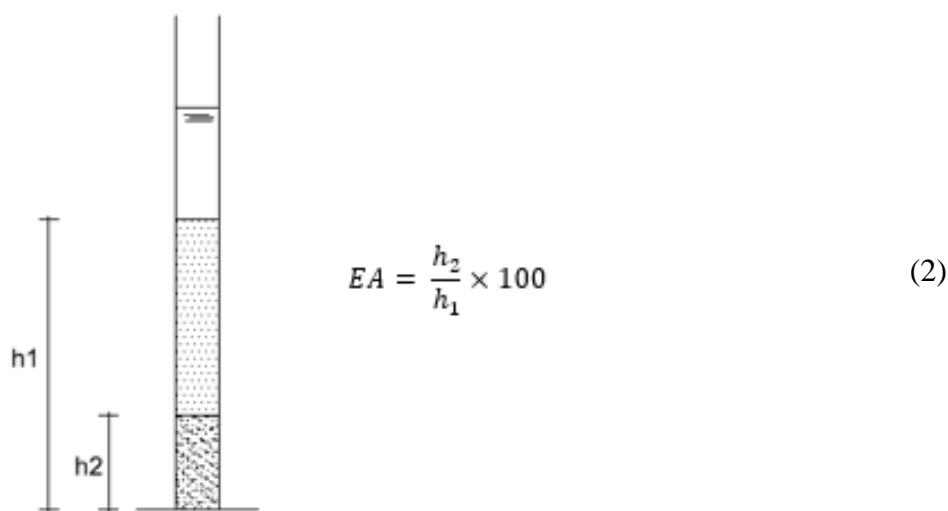


Figura 20 - Determinação do EA (Branco et al., 2016)

Tabela 5 - Valor do EA do solo de fundação

	<b>Provete 1</b>	<b>Provete 2</b>
<b>h<sub>1</sub> (mm)</b>	225,0	198,0
<b>h<sub>2</sub> (mm)</b>	122,0	121,0
<b>EA (%)</b>	32,0%	35,9
<b>Valor do EA (%)</b>	33,9%	

Com os valores da Tabela 5 pode-se concluir que o solo de fundação é um material pouco argiloso e por isso não plástico, pelo que não se realizaram os Limites de Atterberg (Limites de Liquidez e Limite de Plasticidade) nem se determinou o Valor do Azul Metileno.

### 5.1.3. Ensaio de Compactação - Proctor

O ensaio de compactação Proctor consiste numa compactação experimental (Figura 21) que permite determinar qual o peso volúmico seco máximo que um solo consegue ter quando aplicada uma determinada energia de compactação. Através deste método é possível relacionar a humidade do solo com o peso volúmico obtido após compactação. (Faria, 2005)

Há quatro tipos de compactação: compactação leve em molde pequeno, compactação pesada em molde pequeno, compactação leve em molde grande e compactação pesada em molde grande. Tendo em conta que se pretende analisar as características dos solos e a sua utilização em obras de terraplanagem, usou-se a compactação pesada em molde grande; que tem as seguintes características (Tabela 6):

Tabela 6 - Características referentes ao molde do ensaio PROCTOR

<b>Massa do Molde (g)</b>	5075,00
<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	2081,37
<b>Massa do Pilão (g)</b>	4540,00
<b>Altura de Queda (mm)</b>	457,00
<b>Nº Pancadas</b>	5
<b>Nº Pancadas / Camada</b>	55

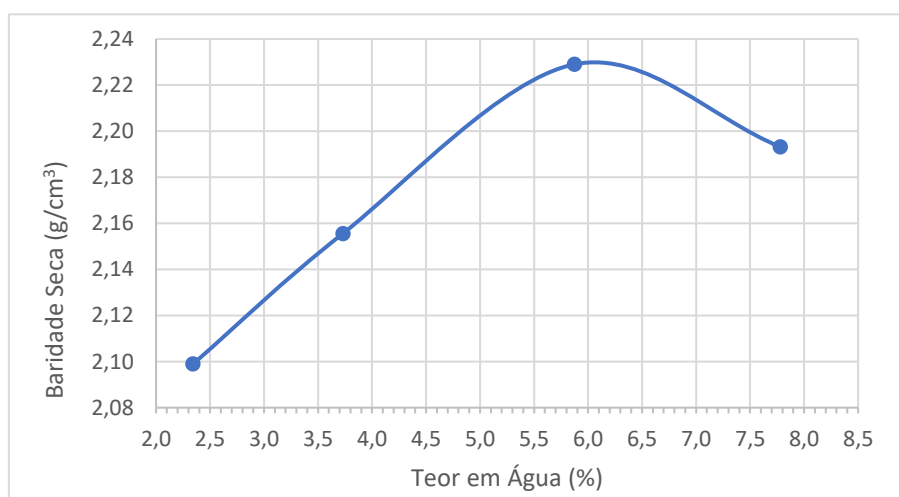
Para se poder determinar a baridade seca, segundo a E LNEC 197 (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1967b), utilizou-se a seguinte expressão (3):

$$\gamma_p = \frac{\gamma_w}{100 + w} \times 100 \quad (3)$$

Tabela 7 - Valores referentes á determinação da baridade seca

<b>m<sub>molde+solo húmido</sub> (g)</b>	9546,00	9729,00	9987,00	9995,00
<b>m<sub>solo húmido</sub> (g)</b>	4471,00	4654,00	4912,00	4920,00
<b><math>\gamma_w</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,15	2,24	2,36	2,36
<b>Nº Cápsula</b>	1	2	3	4
<b>m<sub>cápsula</sub> (g)</b>	166,66	163,47	158,52	159,81
<b>m<sub>cápsula+solo húmido</sub> (g)</b>	1036,60	1137,11	1061,50	1330,50
<b>m<sub>cápsula+solo seco</sub> (g)</b>	1016,69	1102,09	1011,39	1245,99
<b>m<sub>solo seco</sub> (g)</b>	850,03	938,03	852,87	1086,18
<b>m<sub>água</sub> (g)</b>	19,90	35,60	50,10	84,50
<b>w (%)</b>	2,30	3,70	5,90	7,80
<b><math>\gamma_s</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,10	2,16	2,23	2,19

Gráfico 2 - Relação entre baridade seca e teor em água



Através da análise do Gráfico 2, obtido a partir da Tabela 7, foi possível concluir que o solo de fundação tem um teor ótimo em água de 5,9% e uma baridade seca máxima de 2,23 g/cm<sup>3</sup>.





*Figura 21 – Instrumento usado na realização do ensaio de compactação*

## **5.2. Tout-Venant 1 (Amarelo)**

O tout-venant aplicado em obra foi proveninete da pedreira LRP – Britas do Centro, SA. Apesar de já ser testado na pedreira, voltou-se a realizar os ensaios.

Existiam dois tipos de tout-venant: o tout-venant 1 (amarelo), aplicado em obra, e o tout-venant 2 (cinzento), estudado a pedido da CMA, dada a semelhança entre materiais, apesar de outra cor, mas que depois de aplicado em obra reagia de forma diferente.

De forma a caraterizar este material, e assim como no solo de fundação, determinou-se a sua granulometria, o EA e os limites de liquidez e plasticidade. Toda a informação referente a estes ensaios é apresentada de seguida.

### **5.2.1. Granulometria**

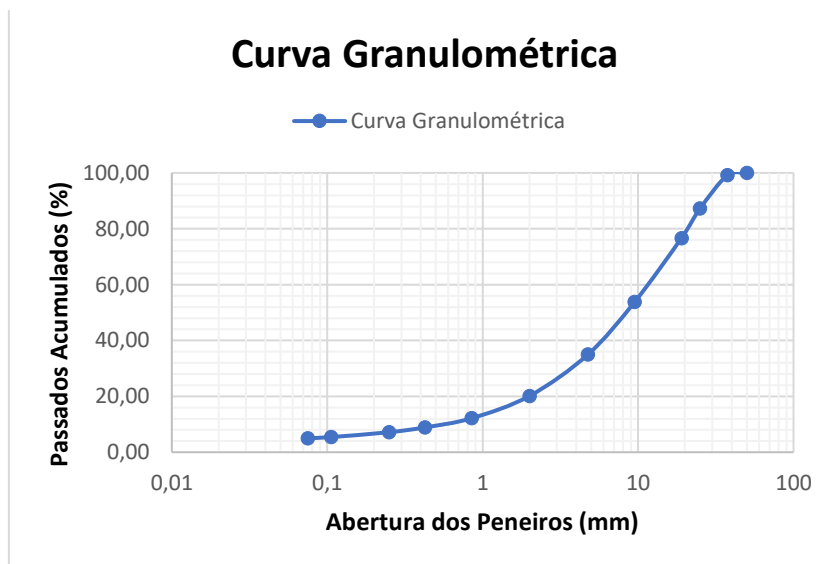
Como mencionado anteriormente, a composição granulométrica consiste na distribuição da percentagem do peso das partículas em função das suas dimensões.

Assim, e depois de realizado o ensaio de granulometria (Figura 22) com uma massa inicial de 8426,5 g, foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 8 - Resultados da granulometria do tout-venant 1 (amarelo)

Peneiros		Massa Retida		Massa Retida Acumulada		Passados Acumulados
		g	%	g	%	%
50,0	2''	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5	1,5''	72,17	0,86	72,17	0,86	99,14
25,0	1''	1005,33	11,93	1077,50	12,79	87,21
19,0	3/4''	889,93	10,56	1967,43	23,35	76,65
9,5	3/8''	1926,34	22,86	3893,77	46,21	53,79
4,75	4	1586,19	18,82	5479,96	65,03	34,97
2,0	10	1249,29	14,83	6729,25	79,86	20,14
0,85	20	672,01	7,97	7401,26	87,83	12,17
0,425	40	276,19	3,28	7677,45	91,11	8,89
0,25	60	145,36	1,73	7822,81	92,84	7,16
0,106	140	146,16	1,73	7968,97	94,57	5,43
0,075	200	36,49	0,43	8005,46	95,00	5,00
< 0,075	---	5,98	0,07	8011,44	95,07	4,93
Σ		8011,44	95,07			

Gráfico 3 - Curva granulométrica do tout-venant 1 (amarelo)



Com a análise da Tabela 8 e do Gráfico 3 conclui-se que o tout-venant 1 (amarelo) é um material constituído por muito cascalho.



Figura 22 - Amostra da granulometria do tout-venant 1 (amarelo)

### 5.2.2. Equivalente de Areia

Como referido anteriormente, o EA permite avaliar a quantidade de matéria muito fina presente em materiais mais grossos.

A verificação de se um material é plástico ou não advém da determinação do EA. Se o EA > 30 então o material é não plástico e se o EA < 20 o material é plástico, pelo que se deve complementar com mais ensaios, nomeadamente, determinação dos Limites de Atterberg e determinação do Valor de Azul Metileno.

Tabela 9 - Valor do EA do tout-venant 1 (amarelo)

	Provete 1	Provete 2
<b>h<sub>1</sub> (mm)</b>	133,0	148,0
<b>h<sub>2</sub> (mm)</b>	127,0	123,0
<b>EA (%)</b>	57,9%	49,3%
<b>Valor do EA (%)</b>	53,6%	

Com a informação da Tabela 9 pode-se concluir que este tout-venant é um material não plástico, pelo que não se realizaram os Limites de Atterberg (Limites de Liquidez e Limite de Plasticidade).

### **5.2.3. Ensaio de Compactação - Proctor**

Para este material, o ensaio foi realizado de forma externa ao DEC por uma empresa contratada pela CMA e todos os valores encontram-se nos anexos (Anexo B).

Mas importa salientar que graças a este ensaio foi possível determinar um valor de teor ótimo em água de 5,3% e o valor de 2,31 mg/m<sup>3</sup> para a baridade seca máxima (Urbiplantec - Urbanização e Terraplanagens, 2019a, 2019b). Foi ainda possível determinar, teoricamente, os valores médios do grau de compactação, da baridade seca, do teor ótimo em água e do índice de vazios. Isto permitiu obter 98% de grau de compactação médio, uma baridade seca média de 2,26 mg/m<sup>3</sup>, teor ótimo em água de 4,3% e um índice de vazios de 16,9%

### **5.3. Tout-Venant 2 (Cinzento)**

Para caraterizar este material, e como aconteceu nos materiais estudados anteriormente, determinou-se a sua granulometria, o EA e os limites de liquidez e plasticidade. Toda a informação referente a estes ensaios é apresentada de seguida.

#### **5.3.1. Granulometria**

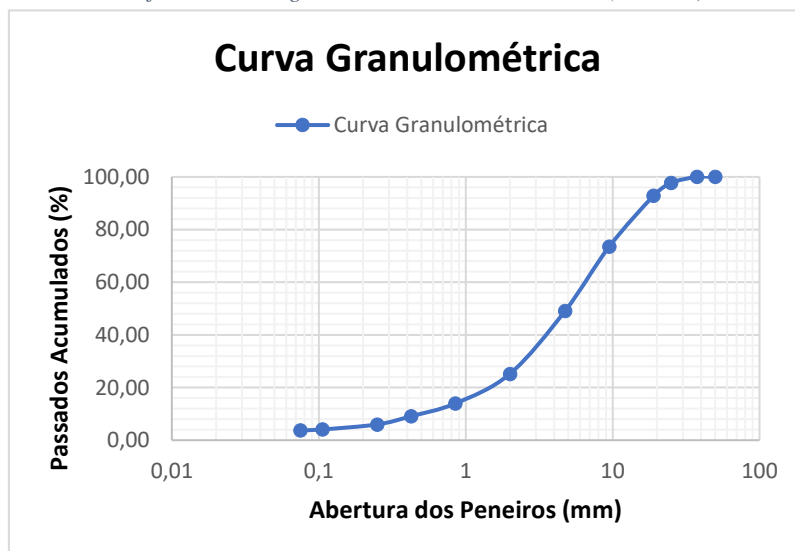
Como mencionado anteriormente, a distribuição do peso total das partículas de um solo pode ser feita em função das dimensões destas partículas, o que permite determinar a composição granulométrica de um solo.

Assim, e depois de realizado o ensaio de granulometria (Figura 23) com uma massa inicial de 8363,7 g, foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 10 - Resultados da granulometria do tout-venant 2 (cinzento)

Peneiros		Massa Retida		Massa Retida Acumulada		Passados Acumulados
		g	%	g	%	%
50,0	2''	0,00	0,00	0	0,00	100,00
37,5	1,5''	0,00	0,00	0	0,00	100,00
25,0	1''	190,95	2,28	190,95	2,28	97,72
19,0	3/4''	410,77	4,91	601,72	7,19	92,81
9,5	3/8''	1609,16	19,24	2210,88	26,43	73,57
4,75	4	2045,89	24,46	4256,77	50,90	49,10
2,0	10	2000,67	23,92	6257,44	74,82	25,18
0,85	20	939,58	11,23	7197,02	86,05	13,95
0,425	40	405,45	4,85	7602,47	90,90	9,10
0,25	60	260,89	3,12	7863,36	94,02	5,98
0,106	140	158,74	1,90	8022,10	95,92	4,08
0,075	200	28,50	0,34	8050,60	96,26	3,74
< 0,075	---	17,08	0,20	8067,68	96,46	3,54
Σ		8067,68	96,46			

Gráfico 4 - Curva granulométrica do tout-venant 2 (cinzento)



Ao analisar a Tabela 10 e o Gráfico 4 conclui-se que o tout-venant 2 (cinzento) é um material que tem muito cascalho.



Figura 23 - Amostra da granulometria do tout-venant 2 (cinzento)

### 5.3.2. Equivalente de Areia

Como referido anteriormente, o EA permite avaliar a quantidade de matéria muito fina presente em materiais mais grossos.

Tabela 11 - Valor do EA do tout-venant 2 (cinzento)

	Provete 1	Provete 2
<b>h<sub>1</sub> (mm)</b>	124,0	114,0
<b>h<sub>2</sub> (mm)</b>	136,0	136,0
<b>EA (%)</b>	62,1%	64,9%
<b>Valor do EA (%)</b>	63,5%	

Pela informação da Tabela 11 conclui-se que este tout-venant é um material não plástico, pelo que não se realizaram os Limites de Atterberg (Limites de Liquidez e Limite de Plasticidade).

### 5.4. Mistura Betuminosa – Camada de Base

De forma a caracterizar este material realizou-se o ensaio de Marshall e determinou-se os índices físicos, o teor em betume e a granulometria. Para tal, foram feitos quatro provetes (Figura 24) a partir da amostra recolhida em obra que serviram para realizar todos os ensaios necessários.

Toda a informação referente a estes ensaios é apresentada de seguida.



Figura 24 - Representação dos provetes utilizados na camada de base

### 5.4.1. Índices Físicos

Segundo a EN 12697-6 (Standardizaaton, 2003), “a densidade aparente de uma amostra betuminosa compactada intacta é determinada a partir da massa da amostra e do seu volume. A massa da amostra é obtida pesando a amostra seca no ar.”

O ensaio da baridade foi realizado a uma temperatura de 17°C com uma massa volúmica da água de 998,8 kg/m<sup>3</sup>. O que permitiu obter os seguintes valores (Tabela 12):

Tabela 12 - Valores referentes à baridade da MB da camada de base

		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
<b>Massa do Provete no Ar</b>	<b>g</b>	1200,4	1196,1	1197,5	1198,2
<b>Massa do Provete na Água</b>	<b>g</b>	683,4	675,8	677,1	677,9
<b>Baridade</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	2319,1	2296,1	2298,4	2300,1
<b>Valor da Baridade</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	2303,4			

O ensaio da baridade máxima foi realizado nas mesmas condições de temperatura que o anterior e com a mesma massa volúmica da água. Deste ensaio foram obtidos os seguintes valores (Tabela 13):

Tabela 13 - Valores referentes à baridade máxima e à porosidade da MB da camada de base

<b>Massa do Picnómetro</b>	<b>g</b>	776,0
<b>Massa do Picnómetro + Água</b>	<b>g</b>	5974,0
<b>Massa do Picnómetro + Amostra</b>	<b>g</b>	1978,0
<b>Massa do Picnómetro + Amostra + Água</b>	<b>g</b>	6675,0
<b>Baridade Máxima</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	2396,3
<b>Porosidade</b>	<b>%</b>	3,9

### 5.4.2. Extração de Betume

Este ensaio (Figura 25) consiste na determinação quantitativa de betume existente em misturas de pavimentos (Tabela 14) através da diferença entre a massa do agregado extraído, os teores de betume e humidade e a matéria mineral do extrato. (ASTM, 1995)

Tabela 14 - Valores referentes à extração de betume da MB da camada de base

		<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>
<b>Massa da Amostra</b>	<b>g</b>	459,79	539,02
<b>Massa do Filtro Vazio</b>	<b>g</b>	6,71	6,39
<b>Massa do Filtro + Amostra Seca</b>	<b>g</b>	440,70	515,60
<b>% Betume</b>		4,21	4,40
<b>% Betume a Considerar</b>		4,30	



Figura 25 - Processo de extração do betume



### 5.4.3. Granulometria

Como mencionado anteriormente, a distribuição do peso total das partículas de um solo pode ser feita em função das dimensões destas partículas o que permite determinar a composição granulométrica de um solo.

Assim, e depois de realizado o ensaio de granulometria (Figura 26) com uma massa inicial de 936,0 g foi possível obter os seguintes resultados (Tabela 15 e Gráfico 5):

Tabela 15 - Resultados da granulometria do material constituinte da MB da camada de base

Peneiros	Massa Retida		Massa Retida Acumulada		Passados Acumulados
	g	%	g	%	%
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20,0	26,28	2,81	26,28	2,81	97,20
16,0	73,95	7,90	100,23	10,71	89,30
8,0	298,40	31,88	398,63	42,59	57,40
4,0	130,35	13,93	528,98	56,51	43,50
2,0	134,21	14,34	663,19	70,85	29,10
0,5	154,82	16,54	818,01	87,39	12,60
0,125	73,46	7,85	891,47	95,24	4,80
0,063	20,66	2,21	912,13	97,45	2,60
< 0,063	23,85	2,55	935,98	100,00	0,00
Σ	935,98	100,00			

Gráfico 5 - Curva granulométrica da MB da camada de base

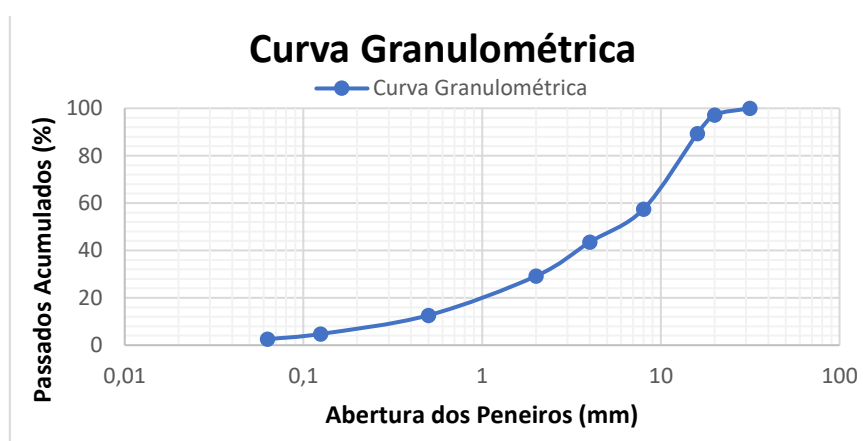




Figura 26 – Amostra da granulometria da MB da camada de base

#### 5.4.4. Ensaio de Marshall

Para a realização deste ensaio foi tido em conta a EN 12697-34 (Standardizaatn, 2004) e foram utilizados quatro provetes (os mesmos utilizados nos ensaios anteriores) compactados com setenta e cinco pancadas em cada face.

Todos os valores relacionados com este ensaio encontram-se nos anexos (Anexo C) mas na Tabela 15 é possível ver um resumo destes valores.

Tabela 16 – Sumário dos valores da compressão marshall - MB da camada de base

Proвете	Tempo de Banho-Maria*	Massa do Proвете no Ar	Volume dos Provetes	Força de Rotura (Leitura)	Força de Rotura (Corrigida)	Deformação na Rotura
	min	g	cm <sup>3</sup>	kN	kN	mm
1	40	1200,4	517,0	10,00	10,00	3,60
2	40	1196,1	520,3	11,10	11,00	3,30
3	40	1197,5	520,4	11,40	11,30	3,30
4	40	1198,20	520,3	11,40	11,30	3,80
<b>Valor Médio</b>		1198,1	519,5	11,00	10,90	3,50

## 5.5. Mistura Betuminosa – Camada de Regularização

Para que fosse possível a caracterização deste material realizaram-se vários ensaios, nomeadamente, o ensaio de Marshall e ensaios que tornassem possível a determinação dos índices físicos, do teor em betume e da granulometria. Como tal, foram feitos quatro provetes (exemplo destes provetes na Figura 22) a partir da amostra recolhida em obra e que serviram para realizar todos os ensaios laboratoriais.

Toda a informação referente a estes ensaios é apresentada de seguida.



Figura 27 - Representação dos provetes utilizados na camada de regularização

### 5.5.1. Índices Físicos

Segundo a EN 12697-6 (Standardizaaton, 2003), “a densidade aparente de uma amostra betuminosa compactada intacta é determinada a partir da massa da amostra e do seu volume. A massa da amostra é obtida pesando a amostra seca no ar.”

O ensaio da baridade foi realizado a uma temperatura de 17°C e com uma massa volúmica da água de 998,8 kg/m<sup>3</sup>. E permitiu obter os seguintes valores (Tabela 17):

Tabela 17 - Valores referentes à baridade da MB da camada de regularização

		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
Massa do Provete no Ar	g	1197,9	1196,8	1200,4	1200,1
Massa do Provete na Água	g	672,1	669,2	674,8	674,7
Baridade	kg/m <sup>3</sup>	2275,5	2265,7	2281,1	2281,4
Valor da Baridade	kg/m <sup>3</sup>	2275,9			

O ensaio da baridade máxima foi realizado nas mesmas condições de temperatura que o anterior e com a mesma massa volúmica da água. No final foram obtidos os seguintes valores (Tabela 18):

*Tabela 18 - Valores referentes à baridade máxima e à porosidade da MB da camada de regularização*

<b>Massa do Picnómetro</b>	<b>g</b>	775,0
<b>Massa do Picnómetro + Água</b>	<b>g</b>	5979,0
<b>Massa do Picnómetro + Amostra</b>	<b>g</b>	1984,0
<b>Massa do Picnómetro + Amostra + Água</b>	<b>g</b>	6681,0
<b>Baridade Máxima</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	2381,8
<b>Porosidade</b>	<b>%</b>	4,4

### 5.5.2. Extração de Betume

Através da diferença entre a massa de agregado extraído, o teor de humidade e a matéria mineral do extrato é possível determinar, quantitativamente, o betume existente numa mistura de pavimento (Tabela 19). (ASTM, 1995)

*Tabela 19 - Valores referentes à extração de betume da MB da camada de regularização*

		<b>Filtro 1</b>	<b>Filtro 2</b>
<b>Massa da Amostra</b>	<b>g</b>	456,70	456,70
<b>Massa do Filtro Vazio</b>	<b>g</b>	6,50	6,70
<b>Massa do Filtro + Amostra Seca</b>	<b>g</b>	432,60	433,67
<b>% Betume</b>		5,35	5,12
<b>% Betume a Considerar</b>		5,20	

### 5.5.3. Granulometria

Tal como já foi referido anteriormente, o peso total das partículas de um solo distribui-se em função das dimensões destas, o que torna possível determinar a composição granulométrica de um solo.

Assim, e depois de realizado o ensaio de granulometria (Figura 23) com uma massa inicial de 850,4 g foi possível obter os seguintes resultados (Tabela 20 e Gráfico 8):

Tabela 20 - Resultados da granulometria do material constituinte da MB da camada de regularização

Peneiros	Massa Retida		Massa Retida Acumulada		Passados Acumulados
	g	%	g	%	%
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20,0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
16,0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
8,0	209,27	24,61	209,27	24,61	75,39
4,0	94,70	11,14	303,97	35,74	64,25
2,0	163,33	19,21	467,30	54,95	45,05
0,5	207,90	24,45	675,20	79,40	20,60
0,125	101,85	11,98	777,05	91,37	8,62
0,063	33,96	3,99	811,01	95,37	4,63
< 0,063	38,20	4,49	849,21	99,86	0,14
Σ	849,21	99,86			

Gráfico 6 - Curva granulométrica da MB da camada de regularização

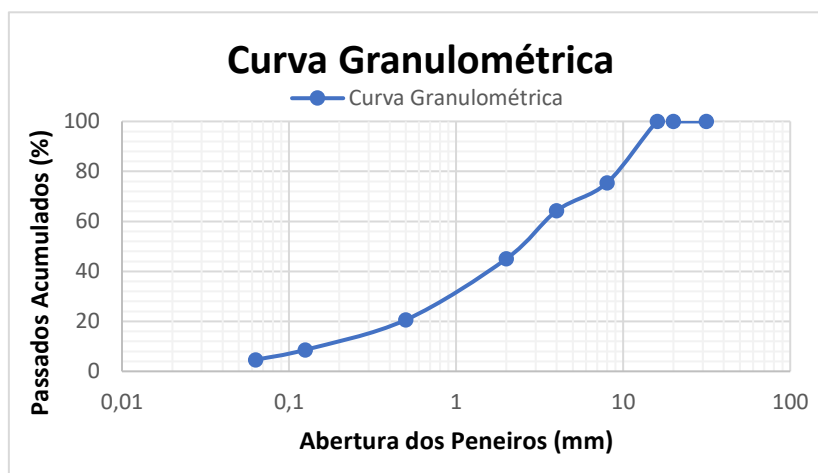




Figura 28 - Amostra da granulometria da MB da camada de regularização

#### 5.5.4. Ensaio de Marshall

Este ensaio teve em conta a EN 12697-34 (Standardizaaton, 2004), no qual se utilizou os quatro provetes mencionados anteriormente, e que foram compactados com setenta e cinco pancadas em cada face.

Todos os valores relacionados com este ensaio encontram-se nos anexos (Anexo D) com um sumário destes valores na seguinte Tabela 21.

Tabela 21 – Sumário dos valores da compressão marshall - MB da camada de regularização

Provete	Tempo de Banho-Maria*	Massa do Provete no Ar	Volume dos Provetes	Força de Rotura (Leitura)	Força de Rotura (Corrigida)	Deformação na Rotura
	min	g	cm <sup>3</sup>	kN	kN	mm
1	40	1197,9	525,8	11,90	11,60	3,30
2	40	1196,8	527,6	11,30	11,00	3,40
3	40	1200,4	525,6	12,60	12,30	3,10
4	40	1200,1	525,4	14,40	14,00	3,20
<b>Valor Médio</b>		1198,8	526,1	12,60	12,20	3,30

## **5.6. Ensaio de Laboratório vs. Documentação Fornecida**

Depois de realizados os ensaios laboratoriais foi necessário comparar os valores obtidos com os valores de referência presentes na documentação fornecida pela CMA, nomeadamente, CE e DD.

Esta comparação será feita em subcapítulos de modo a facilitar a interpretação de resultados.

### **5.6.1. Solo de Fundação**

De acordo com o apresentado no Capítulo 4, houve condições que tiveram que ser verificadas através dos ensaios laboratoriais.

O CE tinha como condição que a compactação relativa fosse, no mínimo, 95%; o que era enfatizado caso o EA do material fosse superior a 30%.

Depois de efetuados os ensaios e analisar os resultados do Proctor e a Tabela 5 foi possível concluir que o solo de fundação está em conformidade com o CE.

### **5.6.2. Tout-Venant (ABGE)**

Também no Capítulo 4 há indicação das condições a verificar no caso do tout-venant. Para este material as condições a considerar eram que a compactação relativa fosse superior a 95%, o índice de vazios, no máximo, seria 13% e que o EA deveria ser superior a 45%.

Através da Tabela 9 e da informação no sub-capítulo “5.2.3. Ensaio de Compactação – Proctor” concluiu-se que este material está conforme a documentação, pois a compactação relativa média foi de 98% e o EA igual a 53,9%. Contudo, o índice de vazios, com valor de 16,9%, foi superior ao máximo considerado no CE.

### **5.6.3. Mistura Betuminosa da Camada de Base**

Sobre este material a CMA disponibilizou informação tanto no CE (Tabela 22) como na Declaração de Desempenho (DD<sub>AC20</sub>) (Tabela 23), por isso foi possível efetuar comparações e verificar se o material está conforme o previsto. De salientar que aos valores de laboratório se aplicaram as tolerâncias referidas no CE (Tabela 24).

Tabela 22 - Informação referente à MB da camada de base (Ripórtico Engenharia, 2018a)

Peneiros	Passados Acumulados
	%
31,5	100
20,0	90 - 100
8,0	67 - 80
4,0	42 - 57
2,0	32 - 46
0,5	18 - 29
0,125	7 - 14
0,063	5 - 9

Tabela 23 - Informação referente à MB da camada de base (Pereira, 2016b)

Peneiros	Passados Acumulados
	%
31,5	100
20,0	96
16,0	78
8,0	62
4,0	44
2,0	32
0,5	15
0,063	5

Ao analisar as Tabela 13, 14 e 15 com os valores dos ensaios e toda a informação fornecida, pode-se concluir que o material que constitui a MB da camada de base não corresponde aos documentos fornecidos.

Destaca-se também o valor da percentagem de ligante. Segundo a  $DD_{AC20}$  deveria ser idealmente 4,6% e no mínimo 4,4%, enquanto o valor de laboratório é de 4,3% .

Apesar de a granulometria e a percentagem de ligante não terem verificado concluiu-se que a porosidade da mistura está conforme a  $DD_{AC20}$ : o valor laboratorial é de 3,9%, enquanto o  $V_{m\acute{a}x}$  e o  $V_{m\acute{i}n}$  são de 4,1% e 3,4% respetivamente.



Tabela 24 - Tabela resumo das verificações referentes à camada de base

		Valores do CE	Valores da DD (%)	Valores Laboratoriais (%)	Tolerância (%)
<b>Granulometria</b>	<b>Peneiro 31,5 mm</b>	100	100	100,0	-
	<b>Peneiro 20 mm</b>	90 - 100	96	97,2	-
	<b>Peneiro 16 mm</b>	-	78	89,3	-
	<b>Peneiro 8 mm</b>	67 - 80	62	57,4	-
	<b>Peneiro 4 mm</b>	42 - 57	44	43,5	4
	<b>Peneiro 2 mm</b>	32 - 46	32	29,1	3
	<b>Peneiro 0,5 mm</b>	18 - 29	15	12,6	-
	<b>Peneiro 0,125 mm</b>	7 - 14	-	4,8	3
	<b>Peneiro 0,063 mm</b>	5 - 9	5	2,6	1
<b>Porosidade</b>	$V_{m\acute{a}x}$	-	4,1	3,9	-
	$V_{m\acute{i}n}$	-	3,4		-
<b>% Ligante</b>		-	4,6	4,3	0,2

#### 5.6.4. Mistura Betuminosa da Camada de Regularização

Sobre este material, a CMA disponibilizou informação tanto no CE (Tabela 25) como na DD<sub>AC14</sub> (Tabela 26) por isso também foi possível efetuar comparações, com aplicação das tolerâncias da Tabela 27 e verificar se o material está conforme o previsto.

Tabela 25 - Informação referente à MB da camada de regularização (Ripórtico Engenharia, 2018a)

<b>Peneiros</b>	<b>Passados Acumulados</b>
	<b>%</b>
20,0	100
16,0	90 – 100
8,0	67 – 77
4,0	40 – 52
2,0	25 – 40
0,5	11 - 19
0,125	6 – 11
0,063	5 – 8

Tabela 26 - Informação referente à MB da camada de regularização (Pereira, 2016a)

Peneiros	Passados Acumulados
	%
16,0	100
8,0	88
4,0	67
2,0	43
0,5	17
0,063	4

Ao analisar as Tabelas 18, 19 e 20 com o valores laboratoriais e a informação fornecida pela CMA foi possível concluir que o material constituinte da MB da camada de regularização diverge dos documentos fornecidos. Contudo, isto só acontece com a granulometria, já que a porosidade e a percentagem de ligante estão conforme a DD<sub>AC14</sub> (Tabela 27).

Tabela 27 - Tabela resumo das verificações referentes à camada de regularização

		Valores do CE	Valores da DD (%)	Valores Laboratoriais (%)	Tolerância (%)
<b>Granulometria</b>	<b>Peneiro 31,5 mm</b>	-	-	100	-
	<b>Peneiro 20 mm</b>	100	-	100	-
	<b>Peneiro 16 mm</b>	90 – 100	100	100	-
	<b>Peneiro 8 mm</b>	67 – 77	88	75,4	-
	<b>Peneiro 4 mm</b>	40 – 52	62	64,3	4
	<b>Peneiro 2 mm</b>	25 – 40	43	45,0	3
	<b>Peneiro 0,5 mm</b>	11 – 19	17	20,6	-
	<b>Peneiro 0,125 mm</b>	6 – 11	-	8,6	3
	<b>Peneiro 0,063 mm</b>	5 – 8	4	4,6	1
<b>Porosidade</b>	<b>V<sub>máx</sub></b>	-	7	4,4	-
	<b>V<sub>min</sub></b>	-	3		-
<b>% Ligante</b>		-	5,2	5,2	0,2

## **Capítulo 6**

---

### Considerações Finais



## 6. Considerações Finais

Visto que hoje em dia uma parte do dia de cada um é passada em transportes, públicos ou privados, a construção dos pavimentos é um fator importante na qualidade de vida. Mas tendo em conta que já existem muitas estradas, a reabilitação dos pavimentos é outro fator importante.

Para que o dimensionamento e execução de um pavimento tenham sucesso é necessário ter em conta diferentes fatores, como a espessura da estrutura, os materiais constituintes, suas propriedades e seu comportamento, o local de construção, as características climáticas, entre outros.

Assim é possível afirmar que a evolução do estado do pavimento permite ver se este foi bem ou mal dimensionado ou executado, apesar de ao fim de algum tempo de serviço ser normal o aparecimento e desenvolvimento de patologias.

Para tal é necessária uma monitorização adequada dos pavimentos, sendo possível identificar as patologias no seu início, permitindo intervenções no período correto e para que não haja agravamento das condições de circulação do pavimento.

Para que a qualidade inicial seja reposta ou melhorada é necessário efetuar trabalhos como os referidos neste relatório de estágio, ou seja, efetuar operações de conservação ou reabilitação. Isto porque as primeiras permitem repor a qualidade inicial (funcional e/ou estrutural) de um pavimento rodoviário ao nível da segurança, conforto e redução dos custos de circulação, enquanto as segundas têm como objetivo melhorar as características do pavimento de modo a prepará-lo para um novo período de vida útil.

Contudo, para que os efeitos destes trabalhos sejam os desejados, é necessário um estudo laboratorial de modo a possibilitar o conhecimento das características dos materiais existentes no local, bem como dos materiais a colocar na reabilitação ou conservação. Mas, mais importante que isto, é a congruência entre os materiais efetivamente utilizados na obra e os previstos pelo projeto.

Por isso os estudos laboratoriais são importantes, pois se os materiais que são realmente utilizados frequentemente não coincidirem com os materiais que se projetou utilizar, é necessário reavaliar a estrutura do pavimento; de modo a esta reagir como o estudado e permanecer sem deformações e degradações durante o período estipulado. O exercício académico de controlo de qualidade feito neste estágio e aqui apresentado não configura, por si, um controlo efetivo da qualidade da obra, uma vez que esse controlo obrigaria a realização de muitos mais ensaios, que poderiam ou não confirmar os resultados obtidos nas amotaras tratadas a título de exemplo.

Posto isto, os principais objetivos deste estágio foram o acompanhamento das obras e o controlo da qualidade dos materiais. Sentindo-se algumas dificuldades no acompanhamento devido aos curtos prazos da obra e à sobreposição de muitas das tarefas do estágio com outras atividades letivas. Outro fator que dificultou o controlo de qualidade foi a necessária atualização, em fase de obra, da informação presente no CE, uma vez que este se apresentava ligeiramente desatualizado relativamente aos materiais a utilizar.

De forma a mitigar estas questões é recomendável uma maior atenção na redação de cadernos de encargos, visto que é uma fonte de informação muito importante para todo o tipo de trabalhos e na verificação dos ensaios de conformidade, do ponto de vista da perceção da qualidade da obra e de possíveis problemas futuros.

Apesar dos desafios apresentados, a realização deste estágio permitiu aplicar o aprendido em anos de curso num caso prático de obra e aprofundar este conhecimento, mas também ter conhecimento de outros assuntos e como se processa uma obra de infraestruturas.

## **Anexos**

---





## Anexo A – Declaração de Desempenho do Tout-Venant



**LRP - BRITAS DO CENTRO, S.A.**  
EXTRACÇÃO, TRANSFORMAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE AGREGADOS

### DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

Nº 07 – 203

1. Código de identificação único do produto-tipo:

Nome do produto: ABGE 1ª(0/31,5 mm)

Código do produto: 203

2. Utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:

Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação;

Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos, utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

3. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11.º:

LRP – Britas do Centro, S.A.  
Serra do Carvalhal – Tapas  
3130-387 Soure  
Telef.: 236 911 167 (240) / Fax: 236 911 295

4. Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V:

Sistema 2 +

5. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:

A APCER, organismo notificado nº 0866, realizou uma auditoria inicial à fábrica e ao controlo de produção e efetua o acompanhamento contínuo, a avaliação e a aprovação do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2 + e emite um certificado de conformidade do controlo de produção em fábrica com o número 0866-CPD-2004/CE.0024.

6. Desempenho declarado



**LRP - BRITAS DO CENTRO, S.A.**  
 EXTRAÇÃO, TRANSFORMAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ADREÇOS

Características essenciais	Desempenho	Especificações técnicas harmonizadas
Granulometria	G <sub>90</sub>	EN 12043:2002/AC:2004
	G <sub>85</sub>	EN 12043:2002+A1:2007
Equivalente de Areia	≥ 45%	EN 12043:2002/AC:2004 EN 12043:2002+A1:2007
Coefficiente de Los Angeles	LA <sub>10</sub>	EN 12043:2002/AC:2004
Coefficiente micro-Deval	M <sub>10/20</sub>	EN 12043:2002+A1:2007
Massa Volúmica (Mg/m <sup>3</sup> )	-	-
- Fração 0,075/0,15 mm	ρ <sub>s</sub> =2,65; ρ <sub>m</sub> =2,57; ρ <sub>rel</sub> =2,60	EN 12043:2002/AC:2004
- Fração 0,15/0,3 mm	ρ <sub>s</sub> =2,70; ρ <sub>m</sub> =2,61; ρ <sub>rel</sub> =2,64	EN 12043:2002+A1:2007
Absorção de Água	-	-
- Fração 0,075/0,15 mm	1,2%	EN 12043:2002/AC:2004
- Fração 0,15/0,3 mm	1,3%	EN 12043:2002+A1:2007

Quando, nos termos do artigo 37.º ou do artigo 38.º, tenha sido utilizada documentação técnica específica, os requisitos a que o produto obedece:

Não aplicável.

7. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 6.


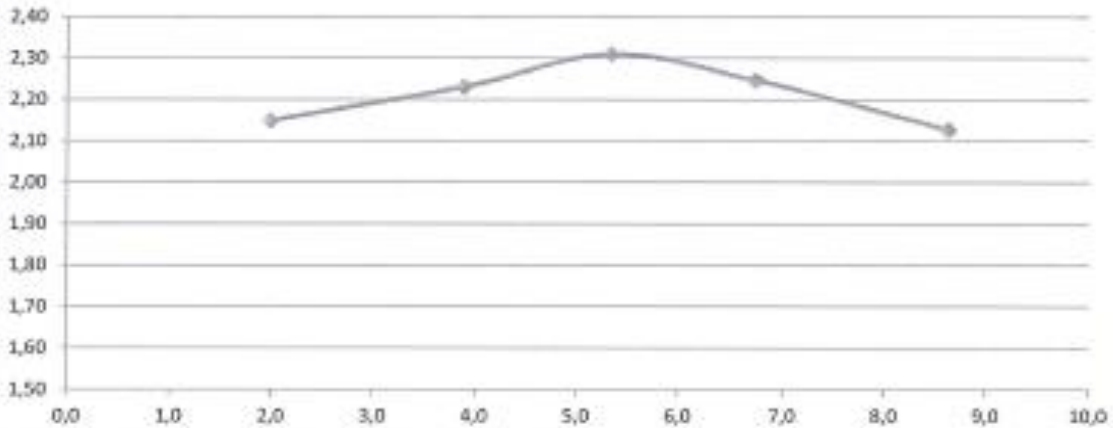
A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 3.


Assinado por e em nome do fabricante por:

Rui Madeira  
 Resp. Qualidade / Laboratório

Tapoia, 22 de Novembro de 2016.

## Anexo B - Ensaio de Compactação – Tout-Venant

		<b>ENSAIO PROCTOR</b> (EN 13286-2 ; 2004)		AMOSTRA: DESIGNAÇÃO: AGE 0/32 LOCAL: PEDREIRA P.K. RECOLHA: PERÍODO: FORNECEDOR: LRP	
OBRA: DONO OBRA:				TEC. RESP. V870	
<b>1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EXPEDITA</b>					
MASSA TOTAL (g)	12719				
MASSA RETIDA PENEIRO 63mm (g)	0	RETIDOS ACUM. PENEIRO 63mm (%)		0,0	
MASSA RETIDA PENEIRO 31,5mm (g)	334,7	RETIDOS ACUM. PENEIRO 31,5mm (%)		2,6	
MASSA RETIDA PENEIRO 16mm (g)	4194	RETIDOS ACUM. PENEIRO 16mm (%)		35,8	
<b>2. DADOS</b>					
MÉTODO PREPARAÇÃO	Mistura com 75 a 100% de partículas passadas no peneiro 31,5 mm				
ENERGIA COMPACTAÇÃO	Pesada				
TIPO COMPACTAÇÃO	Mecânico				
MOLDE UTILIZADO	Molde B				
<b>3. COMPACTAÇÃO</b>					
MASSA MOLDE + BASE (g)	5831	5831	5831	5831	5831
VOLUME MOLDE (ml)	2123	2123	2123	2123	2123
MASSA MOLDE + BASE + PROVETE (g)	10484	10750	10895	10920	10735
BARIDADE HUMIDA (Mg/m <sup>3</sup> )	2,19	2,32	2,43	2,40	2,31
CÁPSULA Nº	20	21	22	23	24
MASSA CÁPSULA (g)	941,2	946,2	946,2	962	953
MASSA CÁPSULA + PROVETE HUM. (g)	5646,4	5704,3	5769,7	5898	5818,4
MASSA CÁPSULA + PROVETE SECO (g)	5594,7	5526,3	5544,5	5586	5432
TEOR ÁGUA AMOSTRA (%)	2,0	3,9	5,3	6,7	8,6
BARIDADE SECA (Mg/m <sup>3</sup> )	2,15	2,23	2,31	2,25	2,13
<b>BARIDADE SECA (Mg/cm<sup>3</sup>)</b>					
					
BARIDADE SECA MÁXIMA (Mg/m <sup>3</sup> )	2,31	TEOR ÓPTIMO ÁGUA (%)		5,3	
		CORRECÇÃO PROCTOR (ANEXO C)		31,5mm	
TEOR ÁGUA MAT. RET. 16, 31,5 OU 63mm (%)	0,0	BARIDADE SECA MÁX. CORRIGIDA (Mg/m <sup>3</sup> )		2,31	
ML. VOL. SAT. C/ SUP. SECA (16, 31,5 ou 63mm)(Mg/m <sup>3</sup> )	2,64	TEOR ÓPTIMO ÁGUA - CORRIGIDO (%)		5,2	

 <p>URBIPLANTEC EMPREENHADORIA DE INVESTIMENTOS, LDA. EMPREENHADORES</p>				<p align="center"><b>BARIDADE IN SITU</b> <b>"GAMADENSÍMETRO"</b> <b>(AASHTO T - 238 - 86)</b></p>				<p align="right">BOLETIM Nº: DATA: 24-01-2019 AMOSTRA REFº:</p>			
<p>OBRA: Entrada Nova U. Aveiro DONO OBRA: C. M. Aveiro</p>						<p>SEC. RESP. 24-01-2019</p>		<p>VISTO</p>			
LOCAL DE APLICAÇÃO: Entrada						AMOSTRA REFº:		Nº: 1		Bolíx.: 2,310	
MATERIAL APLICADO: ABGE								Wopt.: 5,2		Pesp.:	
ZONA DE APLICAÇÃO: BASE						CALIBRAÇÃO DIA:		DS:		MS:	
CAMADA:						DESVIO:		± 2%:		± 4%:	
ENSAIO Nº	P.K.	FAIXA	DIST. EIXO	COTA L. PAV.	ESP. CAMADA	BARIDADE HÚMIDA	BARIDADE SECA	W (%)	GRAU DE COMPAC.	INDICE DE VAZIOS	
1					0,15	2,290	2,160	6,0	93,5		
2					0,15	2,408	2,298	4,8	99,5		
3					0,15	2,383	2,307	3,3	99,9		
4					0,15	2,350	2,279	3,1	98,7		
5					0,15	2,359	2,288	3,1	99,1		
6					0,15	2,329	2,224	4,7	96,3		
7					0,15	2,357	2,247	4,9	97,3		

## Anexo C – Valores do Ensaio de Marshall (Camada de Base)

Tabela 28 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de base

	Deformação (mm)	Força (kN)
<b>Teste 1</b>	-0.0760	0,8272
	0.2071	1.4814
	0.5104	2,4784
	0.8650	4.2471
	1.2233	5.9591
	1.5581	7.1755
	1.9438	8.1609
	2.2615	8.9316
	2.5851	9,3759
	2,9232	9.6697
	3.2698	9,9399
	3,6075	10.0111
	4,0029	9.8602
	4.3309	9.6221
	4.6956	9.3841
	5.0580	9.0187
	5.4778	8.5662
5.7727	8.3278	
6.1545	7.7638	
6.5276	7.1357	
<b>Teste 2</b>	-0.2010	0.1083
	0.1138	0.8031
	0.3985	2.1353
	0.6579	3.3630
	1.0015	5.2823
	1.3101	6.6747
	1.6386	7.9864
	1.9645	9.0504
	2.3060	9.8919
	2.6308	10.5589
	2.9843	10.9475
	3.3372	11.0823
	3.6984	10.9475
	4.0796	10.7091
	4.4572	10.2654
	4.8326	9.7332
	5.1963	9.1936
5.5672	8.6138	
5.9384	8.1214	

Gráfico 7 - Distribuição de valores do teste 1 do Marshall da camada de base

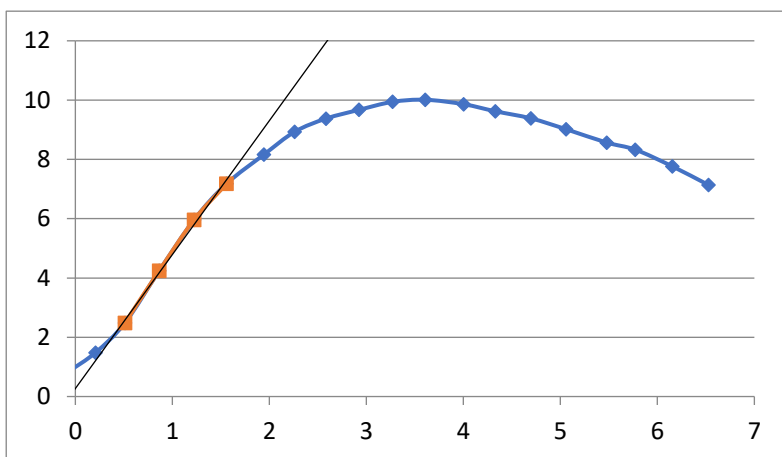


Gráfico 8 - Distribuição de valores do teste 2 do Marshall da camada de base

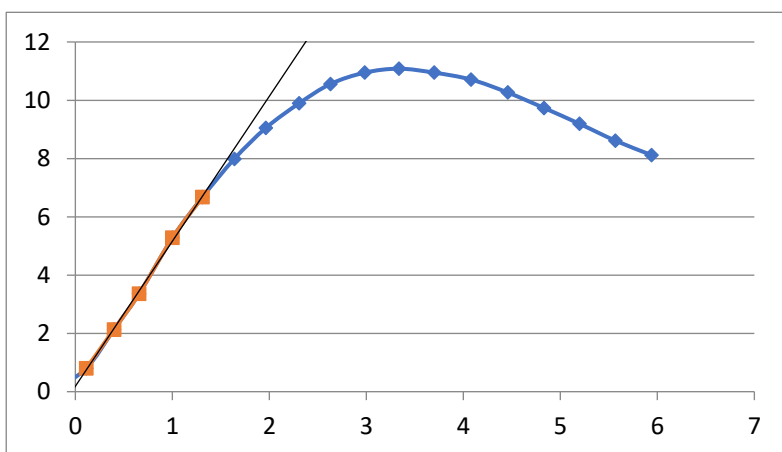


Tabela 29 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de base (continuação)

	Deformação (mm)	Força (kN)
<b>Teste 3</b>	-0.0653	0.2489
	0.2039	1,3263
	0.5285	3,2961
	0.8244	5,2715
	1.0910	6,7831
	1.3889	8,2696
	1.6630	9,3816
	1.9622	10,1674
	2.2932	10,7148
	2.6221	11,1034
	2.9701	11,3574
	3.3449	11,3732
	3.7140	11,2304
	4.0849	10,8657
	4.4758	10,4689
	4.8073	10,0803
5.1694	9,6437	
5.5588	9,1273	
<b>Teste 4</b>	0.1797	0,9193
	0.4270	2,2119
	0.7321	3,8939
	1.0252	5,2954
	1.3249	6,5605
	1.6357	7,7533
	1.9552	8,8575
	2.3090	10,1357
	2.6892	10,8576
	3.0049	11,1510
	3.3824	11,3492
	3.7577	11,3955
	4.1484	11,2702
	4.5112	11,0399
	4.8725	10,6435
	5.2236	10,1833

Gráfico 9 - Distribuição de valores do teste 3 do Marshall da camada de base

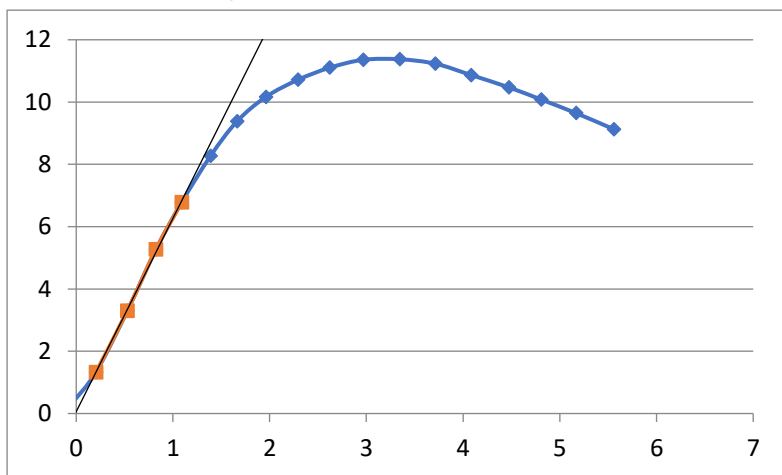


Gráfico 10 - Distribuição de valores do teste 4 do Marshall da camada de base

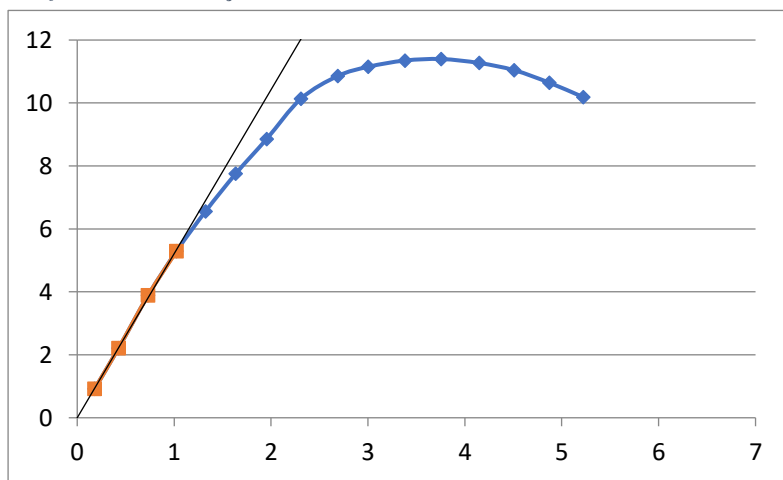


Tabela 30 - Valores máximos referentes ao ensaio Marshall (camada de base)

Valor Máximo	Deformação (mm)	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
	Força (kN)		3,608	3,337	3,345
		10.011	11,082	11.373	11,396

## Anexo D – Valores do Ensaio de Marshall (Camada de Regularização)

Tabela 31 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de regularização

	Deformação (mm)	Força (kN)
Teste 1	-0.1484	0.4638
	0.0950	1.6132
	0.4234	2.8018
	0.7078	4.9448
	1.0452	7.0373
	1.3101	8.2379
	1.5917	9.3496
	1.9239	10.4532
	2.2887	11.3018
	2,6105	11.6813
	2.9792	11.8488
	3.3436	11.8964
	3.7171	11.7134
	4.1217	11.3335
	4.5137	10.9131
	4,8946	10.2147
	5.3104	9.4053
5.6845	8.5874	
6.0532	7.7290	
Teste 2	-0.3439	-0.7253
	-0.0554	0.0178
	0.1925	1.2392
	0.4200	2.6193
	0.6855	4.3566
	1.0156	5.9885
	1.3390	7.3884
	1.6622	8.6359
	1.9933	9.6047
	2.3395	10.5094
	2.6967	10.9615
	3.0541	11.2310
	3.4332	11.3103
	3.8120	11.1202
	4.2489	10.5729
	4.5914	10.0731
	4.9324	9.5091
5.2993	8.7470	
5.6799	8.0162	

Gráfico 11 - Distribuição de valores do teste 1 do Marshall da camada de regularização

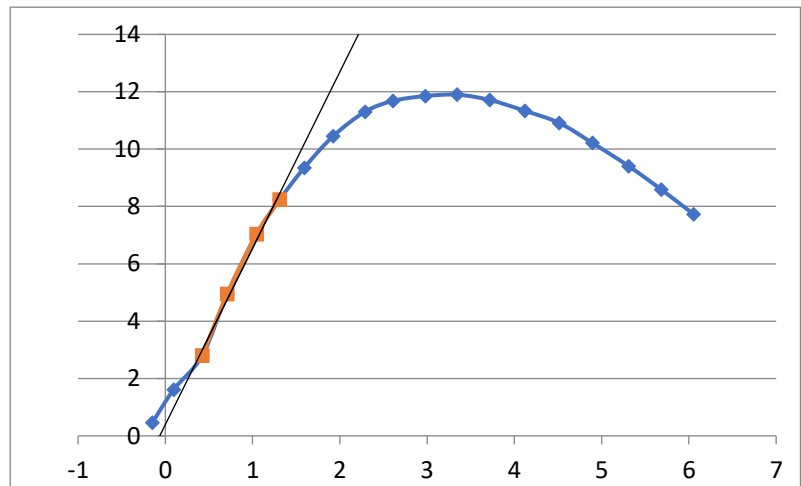


Gráfico 12 - Distribuição de valores do teste 2 do Marshall da camada de regularização

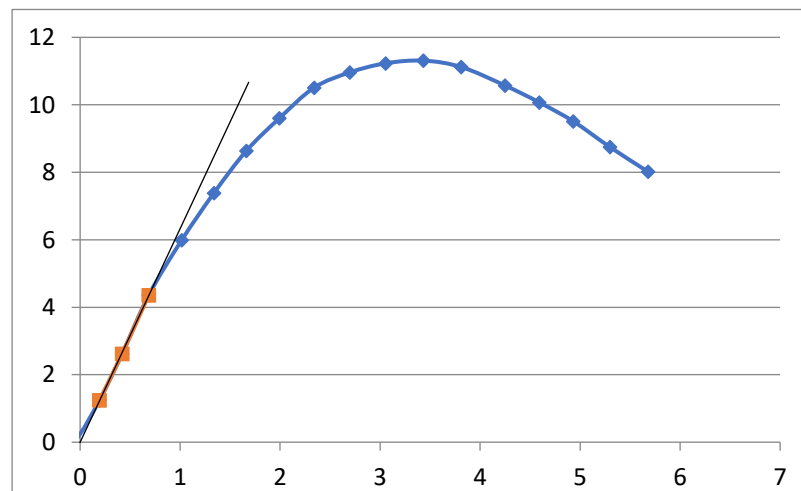


Tabela 32 - Valores do ensaio de Marshall da MB da camada de regularização (continuação)

	Deformação (mm)	Força (kN)
Teste 3	-0.1394	0.2573
	0.1710	0.9997
	0.4745	2.9702
	0.8333	5.2645
	1.0995	6.7042
	1.4063	8.1830
	1.7213	9.6601
	2.0325	10.7869
	2.3629	11.6115
	2.7200	12.2563
	3.0897	12.6382
	3.4379	12.5666
	3.8331	12.2005
	4.2190	11.4444
	4.5932	10.5252
	4.9947	9.6202
	5.3814	8.8344
5.7362	8.0081	
6.0925	7.2452	
Teste 4	-0.3995	-0.3578
	-0.1130	0.1853
	0.1975	1.4307
	0.5009	3.5916
	0.8293	5.9804
	1.0904	7.5633
	1.3729	9.1600
	1.6697	10.7393
	1.9800	12.0732
	2.2777	13.0280
	2.5979	13.9185
	2.9201	14.2924
	3.2486	14.3717
	3.5980	14.2525
3.9735	13.7675	
4.3218	13.0579	

Gráfico 13 - Distribuição de valores do teste 3 do Marshall da camada de regularização

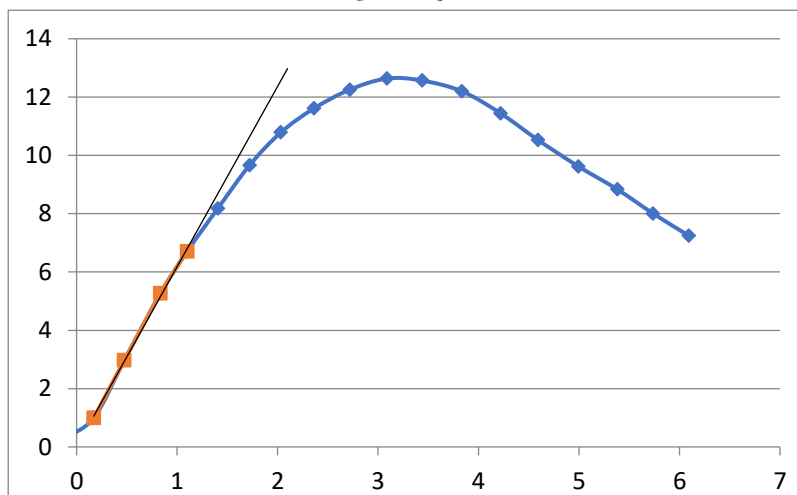


Gráfico 14 - Distribuição de valores do teste 4 do Marshall da camada de regularização

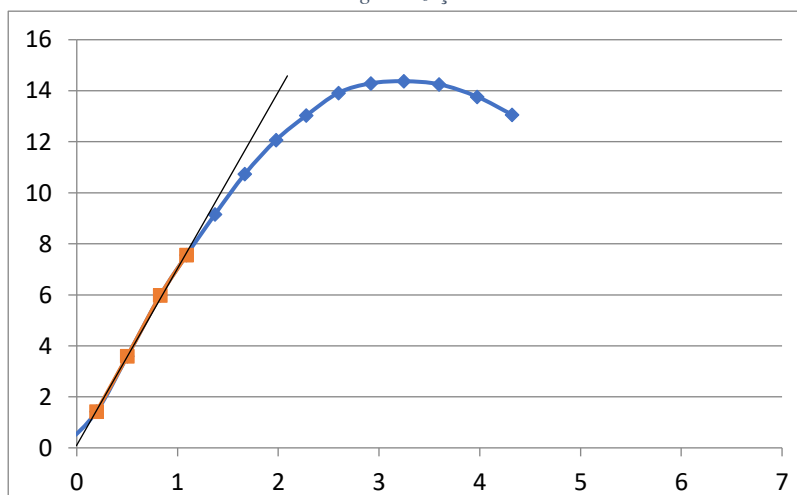


Tabela 33 - Valores máximos referentes ao ensaio Marshall (camada de regularização)

		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Valor Máximo	Deformação (mm)	3,344	3,433	3,090	3,249
	Força (kN)	11,896	11,310	12,638	14,372



## Anexo E - Registos de Temperaturas

A camada de base em mistura betuminosa foi aplicada durante a semana de 25 a 29 de Março de 2019, pelo que foi importante registar a temperatura do ar durante esta altura.

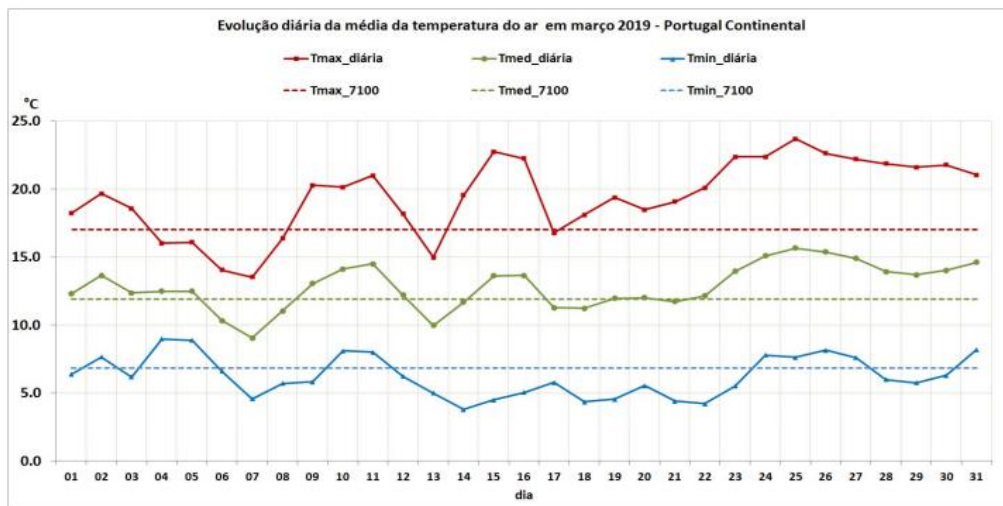


Figura 29 - Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 31 de março de 2019 em Portugal continental (Atmosfera, 2019b)

A camada de regularização em mistura betuminosa foi aplicada durante a semana de 29 de Abril a 3 de Maio de 2019, pelo que também foi importante registar as temperaturas do ar.

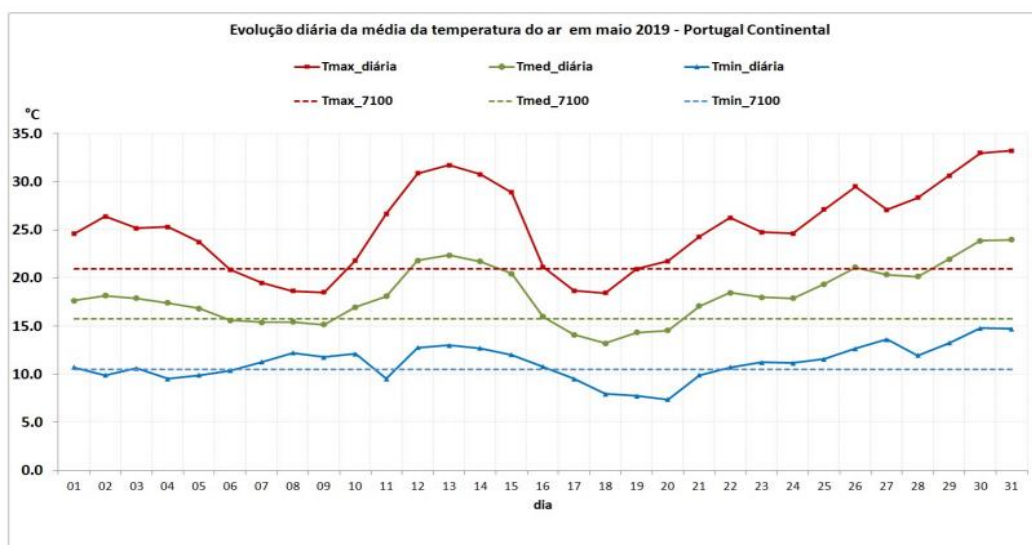


Figura 30 - Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 31 de maio de 2019 em Portugal continental (Atmosfera, 2019a)



## **Referências Bibliográficas**

---



## Referências Bibliográficas

ABGE 1º (0-31.5mm).pdf. (n.d.).

ASTM. (1995). ASTM D 2172 - 95. Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures (Method B). In *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM.

Atmosfera, I. P. do M. e da. (2019a). *Boletim Climatológico - Maio 2019*.

Atmosfera, I. P. do M. e da. (2019b). *Boletim Climatológico - Março 2019*.

Benta, A. A., Picado-Santos, L., & Macedo, J. M. (2008). *REABILITAÇÃO DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL: OBSERVAÇÃO DO ESTADO SUPERFICIAL, AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ESTRUTURAL E SOLUÇÕES DE REFORÇO*. Universidade de Aveiro, Universidade de Coimbra.

Branco, F., Santos, L. P., & Pereira, P. (2016). *Pavimentos Rodoviários* (S. A. Edições Almedina (Ed.); 5th ed.).

Faria, P. A. G. (2005). *Propriedades composicionais e geotécnicas de solos argilosos em obras rodoviárias*. Universidade de Aveiro.

Fernandes, M. de M. (2016). *Mecânica dos Solos - Conceitos e Princípios Fundamentais (Volume 1)* (Universidade do Porto Editorial (Ed.); 4th ed.).

Francisco, A. P. S. (2012). *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Instituto Politécnico de Bragança.

Google. (2019). <https://www.google.com/>

Google Earth. (2019). <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>

Instituto Português da Qualidade. (2002). *NP EN 933-8 Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio do equivalente de areia*.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1967a). *E 196-1966 Solos - Análise Granulométrica*.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1967b). *E 197-1966 Solos - Ensaio de Compactação*.

Madeira, D. de N. (2018). *Estrada de acesso à Vila do Porto da Cruz em risco de abater*.

<https://www.dnoticias.pt/impressa/hemeroteca/diario-de-noticias/estrada-de-acesso-a-vila-do-porto-da-cruz-em-risco-de-abater-BA3020300>

Neves, J. M. C. (2012). *Construção e Manutenção de Infra-estruturas de Transportes*.

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572097138/10\\_CMIET\\_2008-09\\_AulaT10.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572097138/10_CMIET_2008-09_AulaT10.pdf)

Neves, J. M. C. (2017). *BETUMES, LIGANTES E MISTURAS BETUMINOSAS*.

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572139525/GuiaMateriais\\_Parte2.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572139525/GuiaMateriais_Parte2.pdf)

Pais, J. C., Pereira, P. A. A., & Azevedo, M. C. M. (2000). Ensaio mecânicos para caracterização de misturas betuminosas. *1º Congresso Rodoviário Português*, 639–649.

Pata, A. C. S. (2019). *Fotografia de Autor*.

Pereira, J. (2016a). *Declaração de Desempenho - AC14Surf.50/70 (BB)*. Urbimabe.

Pereira, J. (2016b). *Declaração de Desempenho - AC20Base/Bin/Reg 5070 (MB)*. Urbimabe.

Ripórtico Engenharia. (2018a). *Reformulação do nó da avenida da universidade (ISCAA) [Condições Técnicas]*.

Ripórtico Engenharia. (2018b). *Reformulação do nó da avenida da universidade (ISCAA) [Memória Descritiva]*.

Standardizaatien, E. C. for. (2003). *EN 12697-6: Determination of bulk density of bituminous specimens*.

Standardizaatien, E. C. for. (2004). *EN 12697-34 Marshall test*.

Torrão, H. C. (2015). *Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Instituto Politécnico de Bragança.

Urbiplantec - Urbanização e Terraplanagens, L. (2019a). *Ensaio de Compactação - Baridade in Situ*.

Urbiplantec - Urbanização e Terraplanagens, L. (2019b). *Ensaio Proctor*.