



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Avaliação de técnicas de reabilitação sustentáveis de pavimentos rodoviários de baixo volume de tráfego

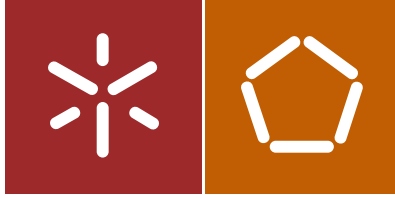
João Manuel Gomes Martins

João Manuel Gomes Martins

Avaliação de técnicas de reabilitação sustentáveis de pavimentos rodoviários de baixo volume de tráfego

UMinho | 2016

dezembro de 2016



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

João Manuel Gomes Martins

Avaliação de técnicas de reabilitação  
sustentáveis de pavimentos rodoviários  
de baixo volume de tráfego

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Joel Ricardo Martins Oliveira

*“Focus on the journey, not the destination.  
Joy is found not in finishing an activity but in doing it”*

**Greg Anderson**





## **AGRADECIMENTOS**

Não há palavras suficientes para agradecer a todas as pessoas que me apoiaram nestes anos durante toda a minha formação académica.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, professor Joel Oliveira, por todas as horas disponíveis e todo o apoio a qualquer momento para me orientar e os ensinamentos/aprendizagens que me levaram ao sucesso na conclusão da dissertação.

De igual forma quero agradecer aos Técnicos do Laboratório de Pavimentos Rodoviários do Departamento de Engenharia Civil por todo o apoio prestado para a realização dos ensaios, em especial, ao Eng. Carlos Palha e ao Eng. Hélder Torres.

À minha família, em especial os meus pais e irmão, por todo o apoio e confiança que depositaram em mim para que todo este percurso fosse possível. Ao meu irmão por me libertar e relaxar nos momentos de maior stress e cansaço. Aos meus pais por terem apostado e confiado nas minhas capacidades para concluir com sucesso a minha formação académica. Também aos meus avós que me animam só como eles sabem e que os adoro muito e em especial ao meu avô Francisco que estará presente para sempre no meu coração e que irei sentir muita a sua ausência. Sem a minha família o percurso académico não seria igual.

Aos meus amigos da faculdade, nomeadamente João Pedro Rodrigues, José Tiago Oliveira, Rui Costa e Tiago Gouveia pelos excelentes cinco anos de universidade e por ter feito amigos para a vida. A todos vocês obrigado pelo apoio e pelas horas de estudo em conjunto, os momentos de alegria e aperto e por todo o sacrifício em conjunto durante este tempo. Um sincero obrigado por todos os momentos inesquecíveis meus amigos.

Aos amigos de vida que me apoiaram indiretamente e que depositaram fé e paciência em mim nestes anos mesmo não percebendo nada daquilo que estudava ou fazia.

Por último, ao andebol que incutiu valores essenciais que me tornam a pessoa que sou hoje e que fazem de mim uma melhor pessoa.



# **Avaliação de técnicas de reabilitação sustentáveis de pavimentos rodoviários de baixo volume de tráfego**

## **RESUMO**

A rede rodoviária nacional portuguesa já se encontra praticamente construída estando sujeita a solicitações que reduzem a sua qualidade estrutural e funcional ao longo do tempo. Assim, o estudo de técnicas de reabilitação de pavimentos que sejam económica e ambientalmente mais vantajosas está cada vez mais em questão no panorama nacional, nomeadamente quando o país tenta recuperar da crise económica que se verificou nos últimos anos.

O presente estudo tem como objetivo comparar dois tipos de reabilitações de pavimentos. Um tipo de reabilitação mais tradicional e outro tipo de reabilitação com recurso a técnicas de reciclagem de pavimentos, que pode ser considerada mais sustentável. O estudo consiste na avaliação de vários parâmetros, entre os quais se salienta a qualidade estrutural e funcional e a análise de económica dos dois tipos de reabilitação. Através de ensaios de avaliação da capacidade de carga, da observação visual de degradações, da análise do tráfego e da abertura de poços foi possível fazer um estudo específico de dimensionamento da reabilitação de pavimentos de um caso de estudo. Neste trabalho deu-se particular atenção ao estudo da reabilitação de pavimentos de estradas de baixo volume de tráfego.

Com esta dissertação verificou-se que a reciclagem de pavimentos rodoviários se traduz como uma solução alternativa adequada para a reabilitação de pavimentos de baixo volume de tráfego, por comparação com as soluções tradicionais. Através de uma análise estrutural de soluções aplicadas num caso de estudo real de pavimentos degradados de baixo volume de tráfego, a técnica de reciclagem apresentou um comportamento igual ou superior ao das técnicas tradicionais.

O trabalho realizado permitiu ainda concluir que, a nível económico, a reciclagem de pavimentos apresenta resultados superiores aos das soluções tradicionais/convencionais, para além das inúmeras vantagens ambientais associadas, que passam pelo reaproveitamento de materiais e pela redução da produção de resíduos e de emissões poluentes.

### **Palavras-Chave**

Estradas de Baixo Volume de Tráfego; Pavimentos Rodoviários; Análise Estrutural e Económica; Reabilitação; Reciclagem de Pavimentos



# **Assessment of sustainable rehabilitation techniques for low volume road pavements**

## **ABSTRACT**

The Portuguese national road network is already practically built and over the years has suffered requests that call into question their structural and functional quality. For such, the study of alternatives for pavement rehabilitation is increasingly in question in the national panorama, which becomes even more evident due to the economic crisis that occurred in Portugal in the recent years.

The present study aims to compare two types of restorations. A type of traditional rehabilitation and another kind of rehabilitation by using recycling techniques, which can be considered more sustainable. The study consists in the evaluation of various aspects, among which is highlighted the structural and functional quality and economic analysis of two types of rehabilitations. Through the assessment tests of load capacity, the visual observation of degradation, traffic analysis and the opening of wells was possible to do a specific study of scaling of the rehabilitation of decks of a case study. This work has given particular attention to the study of the rehabilitation of pavements of roads of low traffic volume.

With this dissertation we could realize that the recycling of road pavements can be translated as a suitable alternative solution for the rehabilitation of low-volume traffic flooring compared to traditional solutions. Through a structural analysis of solutions applied in a real case study of degraded floors of low traffic volume, the recycling technique presented a similar or higher behavior than the traditional techniques.

The work done allowed us to conclude that, economically, the pavement recycling presents results superior to traditional/conventional solutions, in addition to the numerous environmental advantages associated with, that pass through the reuse of materials and the reduction of waste production and pollutant emissions.

## **Keywords**

Low traffic volume roads; Road Pavements; Structural analysis and economic analysis; Rehabilitation; Pavement Recycling



---

**ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Enquadramento temático .....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Conteúdo da dissertação .....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1	Pavimentos Rodoviários .....	5
2.1.1	Introdução .....	5
2.1.2	Dimensionamento de pavimentos flexíveis de baixo volume de tráfego.....	8
2.1.3	Materiais de Pavimentação .....	13
2.2	Degradações dos pavimentos rodoviários flexíveis .....	15
2.2.1	Tipos de degradações .....	15
2.2.2	Métodos de observação de pavimentos.....	19
2.3	Técnicas de conservação das características superficiais.....	23
2.3.1	Revestimentos superficiais.....	25
2.3.2	Microaglomerado betuminoso a frio .....	26
2.3.3	Lama asfáltica .....	26
2.3.4	Microbetão betuminoso rugoso.....	26
2.3.5	Argamassa betuminosa.....	27
2.4	Técnicas tradicionais de reabilitação estrutural.....	27
2.4.1	Betão betuminoso.....	28
2.4.2	Betão betuminoso drenante .....	28
2.4.3	Macadame betuminoso.....	29
2.4.4	Misturas betuminosas de alto módulo de rigidez.....	29
2.5	Técnicas mais sustentáveis de reabilitação estrutural.....	29
2.5.1	Reciclagem <i>in situ</i> , a frio, com cimento.....	33
2.5.2	Reciclagem <i>in situ</i> , a frio, com emulsão betuminosa.....	34

---

2.5.3	Reciclagem <i>in situ</i> , a frio, com betume-espuma.....	35
2.5.4	Reciclagem <i>in situ</i> , a quente, com betume .....	36
2.5.5	Reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa .....	37
2.5.6	Reciclagem em central, a frio, com betume-espuma.....	38
2.5.7	Reciclagem em central, a quente, com betume.....	38
2.5.8	Reciclagem em central semi-quente .....	39
2.5.9	Vantagens e desvantagens dos tipos de reciclagem.....	40
3	CASO DE ESTUDO E METODOLOGIAS UTILIZADAS .....	43
3.1	Introdução .....	43
3.2	Metodologias de ensaio e avaliação utilizadas .....	45
3.2.1	Análise do tráfego.....	45
3.2.2	Avaliação do estado superficial do pavimento .....	46
3.2.3	Ensaio de capacidade de carga com Defletómetro de Impacto (FWD).....	47
3.2.4	Abertura de poços de sondagem .....	48
3.2.5	Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento .....	49
4	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	53
4.1	Resultados da análise do tráfego.....	53
4.2	Avenida do Atlântico – Acesso à Amorosa .....	55
4.2.1	Avaliação do Estado Superficial.....	55
4.2.2	Definição de sub-trechos homogéneos com base na capacidade de carga ..	57
4.2.3	Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento .....	59
4.2.4	Avaliação económica das alternativas .....	62
4.3	EN-302.....	63
4.3.1	Avaliação do Estado Superficial.....	63
4.3.2	Definição de sub-trechos homogéneos com base na capacidade de carga ..	65
4.3.3	Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento .....	67
4.3.4	Avaliação económica das alternativas .....	74



---

4.4	EN 302-1 .....	75
4.4.1	Avaliação do Estado Superficial .....	75
4.4.2	Definição de sub-trechos homogéneos com base na capacidade de carga...77	
4.4.3	Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento.....	79
4.4.4	Avaliação económica das alternativas .....	85
4.5	Considerações finais .....	86
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS .....	89
5.1	Conclusões.....	89
5.2	Trabalhos futuros .....	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
	Anexos.....	97



---

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Esquema da estrutura de um pavimento rodoviário (adaptado de Azevedo, 2009b).....	6
Figura 2 - Estruturas tipo de pavimentos flexíveis (adaptado de Branco <i>et al.</i> , 2005).....	7
Figura 3 - Solicitações num pavimento (Branco <i>et al.</i> , 2005).....	9
Figura 4 - Metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários (adaptado de AASHTO, 2008, Baptista, 1999).....	10
Figura 5 - Exemplo de uma estrutura de pavimento resultante da aplicação do MACOPAV (JAE, 1995).....	12
Figura 6 - Exemplo de defletómetro de Impacto (FWD) (Alves, 2007)).....	20
Figura 7 - Defletógrafos de Alta velocidade; a) <i>Road Deflection Tester</i> (RDT) - Suécia; b) <i>High Speed Deflectograph</i> (HSD) – Dinamarca .....	21
Figura 8 - Exemplo de patologia apresentada no Catálogo de degradações (EP - Estradas de Portugal, 2008).....	22
Figura 9 - Exemplo do funcionamento do <i>Viziroad</i> (Gennet, 2013).....	23
Figura 10 - Evolução da qualidade de um pavimento e influência das intervenções de conservação/reabilitação (Batista, 2004) .....	24
Figura 11 - Procedimento de reciclagem de pavimentos rodoviários (ciclo fechado) .....	30
Figura 12 - Alguns constituintes das máquinas recicladoras e comboio de reciclagem: a) Recicladora de rodas <i>Wirtgen WR2400</i> ; b) Cilindro de corte da recicladora; c) Mesa de pavimentação da recicladora de rastros <i>Wirtgen 2200 CR</i> ; d) Comboio de reciclagem (Wirtgen, 2012) .....	34
Figura 13 - Obtenção da espuma de betume (Nunes, 2008).....	35
Figura 14 - Processo de aplicação da camada de betume-espuma (Teixeira, 2006) .....	36
Figura 15 - Funcionamento da reciclagem <i>in situ</i> , a quente, com betume (Branco <i>et al.</i> , 2005).....	37
Figura 16 - Processo de reciclagem em central a frio com emulsão betuminosa (Batista, 2004).....	37
Figura 17 - Processo de reciclagem em central a frio com betume-espuma (Batista, 2004)....	38
Figura 18 - Processo de reciclagem em central a quente com betume (Baptista, 2006) .....	39
Figura 19 - Processo de reciclagem em central semi-quente (Baptista, 2006).....	40
Figura 20 - Localização do troço da Avenida do Atlântico (acesso à Amorosa) em estudo....	43
Figura 21 - Localização do troço da EN302 em estudo .....	44

---

Figura 22 - Localização do troço da Avenida da EN302-1 em estudo .....	44
Figura 23 - Avaliação do estado superficial; a) distanciômetro manual; b) Exemplo de uma patologia registada (pele de crocodilo) .....	47
Figura 24 - Defletómetro de Impacto da Universidade do Minho, DYNATEST 8000 (Magalhães, 2015).....	47
Figura 25 - Exemplo da abertura de poço e realização de ensaio de capacidade de carga .....	49
Figura 26 - Estruturas do MACOPAV (JAE, 1995) .....	54
Figura 27 - Patologias no eixo da faixa de rodagem Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa .....	56
Figura 28 - Patologias na via da direita Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa.....	56
Figura 29 - Patologias na via da esquerda Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa.....	57
Figura 30 - Patologias no pavimento Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa; a) Pele crocodilo Nível 2; Desagregação superficial Nível 3; Deformação localizada Nível 3 (Distância 394m); b) Pele crocodilo Nível 3; Deformação localizada Nível 2 (Distância: 840m-920m) .....	57
Figura 31 - Deflexão ao longo da distância (Amorosa) .....	58
Figura 32 - Definição de sub-trechos (Amorosa).....	58
Figura 33 - Estrutura do pavimento antes da reabilitação Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa .....	60
Figura 34 - Soluções de reabilitação do pavimento da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa; a) solução tradicional de projeto; b) solução alternativa reciclada .....	61
Figura 35 - Patologias no eixo da faixa de rodagem EN-302 .....	64
Figura 36 - Patologias na via da direita EN-302 .....	64
Figura 37 - Patologias na via da esquerda EN302 .....	64
Figura 38 - Patologias na EN-302: a) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2; Tapagem de covas Nível 2 (Distância 1870m - 1880m); b) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2 (Distância: 4711m – 4809m).....	65
Figura 39 - Deflexão ao longo da estrada EN-302.....	66
Figura 40 - Definição de sub-trechos EN-302 .....	66
Figura 41 - Estrutura do sub-trecho 1+5 EN-302 .....	67
Figura 42 - Estrutura do sub-trecho 3+4 EN-302 .....	68
Figura 43 - Estrutura do sub-trecho 2 EN-302.....	68
Figura 44 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 1+5 da EN-302.....	69

---

Figura 45 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 2 da EN-302.....	69
Figura 46 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 3+4 da EN-302 .....	69
Figura 47 - Solução de reabilitação sub-trecho 1+5 da EN-302; a) Solução tradicional para vinte anos; b) solução reciclada .....	72
Figura 48 - Solução de reabilitação reciclada sub-trecho 2 da EN-302 .....	72
Figura 49 - Solução de reabilitação reciclada sub-trecho 3+4 da EN-302 .....	73
Figura 50 - Patologias no eixo da faixa de rodagem EN302-1 .....	76
Figura 51 - Patologias na via da direita EN302-1 .....	76
Figura 52 - Patologias na via da esquerda EN302-1 .....	76
Figura 53 - Patologias na EN302-1; a) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2; Tapagem de covas e reparações Nível 2 (Distância 380m-442m); b) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 2 (Distância: 804m-843m).....	77
Figura 54 - Deflexão ao longo da estrada EN302-1 .....	78
Figura 55 - Definição de sub-trechos EN302-1 .....	78
Figura 56 - Estrutura do sub-trecho 1+3 EN302-1 .....	79
Figura 57 - Estrutura do sub-trecho 2 EN302-1 .....	79
Figura 58 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 1+3 da EN302-1 .....	80
Figura 59 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 2 da EN302-1.....	80
Figura 60 - Solução de reabilitação sub-trecho 1+3 da EN302-1; a) Solução tradicional para vinte anos; b) solução reciclada .....	83
Figura 61 - Solução de reabilitação sub-trecho 2 da EN302-1 .....	84
Figura 62 - Custo das alternativas de Reabilitação aplicadas a toda a obra (Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa; EN-302; EN302-1) .....	86



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Camadas de um pavimento e respetivas funções (adaptado de Azevedo, 2009b).....	6
Tabela 2 - Classes de tráfego de dimensionamento consideradas no MACOPAV (JAE, 1995).....	11
Tabela 3 - Material aplicado em camadas granulares (adaptado de JAE, 1995).....	13
Tabela 4 - Material utilizado em misturas betuminosas (adaptado de Branco <i>et al.</i> , 2005, JAE, 1995, Jimenez, 2014b).....	14
Tabela 5 - Tipos de deformações e respetivos exemplos(adaptado de Branco <i>et al.</i> , 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999) .....	16
Tabela 6 - Tipos de fendilhamento e respetivos exemplos (adaptado deBranco <i>et al.</i> , 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999) .....	17
Tabela 7 - Tipos de desagregação da camada de desgaste e respetivos exemplos (adaptado deBranco <i>et al.</i> , 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999).....	18
Tabela 8 - Tipos de movimentos de materiais e respetivos exemplos (adaptado de Branco <i>et al.</i> , 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999) .....	18
Tabela 9 - Tipos de reciclagem (Martinho <i>et al.</i> , 2004).....	31
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens das técnicas de reciclagem (Cunha, 2010) .....	41
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos ligantes em reciclagem a frio (Cunha, 2010).....	42
Tabela 12 - Custos unitários dos materiais.....	51
Tabela 13 - Resultados da contagem de tráfego .....	53
Tabela 14 - Resultados finais da análise de tráfego.....	53
Tabela 15 - Principais patologias e suas extensões Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa.....	55
Tabela 16 - Deflexões características (mícron) dos sub-trechos da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa .....	59
Tabela 17 - Resultados do dimensionamento do pavimento da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa .....	62
Tabela 18 - Análise de custos Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa.....	62

---

Tabela 19 - Principais patologias e suas extensões EN-302 .....	63
Tabela 20 - Deflexões características (mícron) dos sub-trechos da EN 302 .....	67
Tabela 21 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302 – Solução tradicional.....	70
Tabela 22 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto EN-302.....	71
Tabela 23 - Resultados do dimensionamento da EN-302 .....	73
Tabela 24 - Custo da solução tradicional de projeto / Áreas de intervenção EN-302 .....	74
Tabela 25 - Comparação de custos a toda a estrada no mesmo período de vida EN-302.....	74
Tabela 26 - Principais patologias e suas extensões EN302-1 .....	75
Tabela 27 - Deflexões características (mícron) dos sub-trechos da EN 302 .....	78
Tabela 28 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302-1 – Solução pontual.....	81
Tabela 29 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto sub-trecho 2 EN302-1.....	81
Tabela 30 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto sub-trecho 1+3 EN302-1.....	82
Tabela 31 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302-1 .....	84
Tabela 32 - Custo da solução tradicional de projeto / Áreas de intervenção EN302-1 .....	85
Tabela 33 - Comparação de custos a toda a estrada no mesmo período de vida EN302-1.....	85
Tabela 34 - Análise da solução pontual .....	87



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento temático

O estudo da reabilitação de pavimentos rodoviários, tendo em conta a conjuntura económica que assola os países, necessita de maior destaque na engenharia civil. Para além da necessidade de reduzir custos, verifica-se atualmente uma maior abertura para reduzir as emissões de gases poluentes e o consumo de materiais novos por parte das instituições.

Tendo em conta que a rede rodoviária portuguesa se encontra praticamente construída na sua totalidade, a reabilitação de pavimentos surge como uma necessidade para satisfazer as necessidades existentes.

Durante o seu tempo de vida, um pavimento rodoviário é sujeito a diversas solicitações, como o efeito do tráfego e da temperatura que diminuem a capacidade estrutural e funcional do pavimento existente. Normalmente, essas solicitações contribuem para o aparecimento de patologias, as quais afetam a segurança e a comodidade em termos de circulação rodoviária (Almeida, 2013).

Para além das estradas pertencentes à rede rodoviária nacional existe um conjunto muito significativo de estradas municipais, cuja conservação carece muitas vezes de um financiamento adequado. Este trabalho aborda então duas temáticas essenciais para tentar contornar essa dificuldade: a particularidade do estudo de pavimentos de baixo volume de tráfego e o estudo de técnicas de reabilitação mais sustentáveis.

No Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Nacional Rodoviária (MACOPAV), para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas se considera o efeito do tráfego de veículos pesados, nomeadamente, o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido de circulação, na via mais solicitada por esses veículos  $(TMDA)_p$  (JAE, 1995). Em Portugal existe carência de um método específico para o dimensionamento de estradas de baixo volume de tráfego (Peixoto, 2014), indicando assim o MACOPAV a necessidade de elaboração de um estudo específico para TMDA inferior a cinquenta veículos pesados. Para tal, é necessário determinar qual a estrutura ideal para suportar o volume de tráfego previsto. Para isso é necessário estudar possíveis estruturas tipo, tendo em conta as

estruturas associadas a outros volumes de tráfego, determinando as espessuras das suas camadas e composição das mesmas.

Após o estudo de dimensionamento, habitualmente utiliza-se técnicas de reabilitação tradicionais, mas tendo em conta a conjuntura económica que o país atravessa, bem como cada vez mais a escassez de materiais energéticos e todas as questões ligadas à qualidade ambiental e o que podemos fazer pelo ambiente. Surge então a necessidade de recorrer cada vez mais a métodos que visam a poupança de materiais de construção de pavimentos e o reaproveitamento máximo possível, otimizando recursos energéticos, surgindo o conceito de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável consiste em ter a capacidade de criar desenvolvimento que satisfaça as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (Brundtland, 1987).

A reciclagem de pavimentos betuminosos na produção de novas misturas betuminosas é uma possibilidade interessante numa altura em que se pretende minimizar o desperdício de resíduos (Byrne, 2005). O custo económico dos desperdícios relacionados com os pavimentos betuminosos e outros resíduos aumentou, o que tem levado as autoridades locais e empreiteiros apostarem na recuperação através da reciclagem de pavimentos betuminosos e outros materiais para reduzir os custos associados à eliminação de resíduos (Byrne, 2005).

A aplicação de técnicas de reabilitação sustentáveis permite economizar recursos e custos, o que pode ser obtido com o recurso a técnicas de reciclagem para melhor aproveitamento do material existente. Em Portugal, não existe grande tendência de aplicação de técnicas de reciclagem, sendo que algumas dessas obras encontram-se registadas em (Martinho *et al.*, 2004) onde foram aplicadas e estudadas cada tipo de reciclagem para a obra em estudo. Quanto aos tipos de reciclagem existentes e abordados por diversos autores encontram-se os seguintes: reciclagem em central a quente de misturas betuminosas envelhecidas; reciclagem em central semi-temperadas de camadas de misturas betuminosas; reciclagem *in situ* a frio com betume espuma; reciclagem *in situ* a frio com emulsão betuminosa; reciclagem *in situ* com cimento de camadas de pavimentos (Azevedo, 2009a).

Existe assim um leque de hipóteses para a elaboração de uma reciclagem de um pavimento, sendo necessário estudar de forma cuidada qual a melhor solução de reabilitação.

Para apoiar a seleção da solução a aplicar no pavimento deve realizar-se uma análise de custos de modo a comparar os diferentes tipos de reabilitação. O objetivo da avaliação dos custos de pavimentos é o apoiar a decisão quanto à escolha das alternativas de construção mais rentáveis, quanto ao custo e benefício, face a determinadas condições técnicas e económicas (Silva, 2014), analisando a viabilidade a curto e longo prazo.

## **1.2 Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho passa por avaliar diferentes alternativas de reabilitação de pavimentos rodoviários de baixo volume de tráfego que se encontram em estado avançado de degradação, tentando fomentar a utilização de técnicas de reabilitação mais sustentáveis.

Pelo estudo de técnicas de reciclagem de pavimentos, consideradas mais sustentáveis, pretende-se comparar técnica e economicamente essas alternativas de reabilitação com a solução que será aplicada em obra, na qual se prevê a utilização de técnicas mais convencionais/tradicionais em diferentes casos de estudo (três estradas do distrito de Viana do Castelo).

## **1.3 Conteúdo da dissertação**

Esta dissertação está distribuída em 5 capítulos essenciais para responder à problemática em estudo. No capítulo 1 apresenta um enquadramento temático sobre a dissertação e qual o objetivo da dissertação.

O capítulo 2 começa com uma introdução aos pavimentos, bem como o dimensionamento e materiais de pavimentação, ou seja, inicia-se o corpo principal do trabalho. Ainda neste capítulo aborda-se as patologias de um pavimento, referente aos tipos de degradação e métodos de observação das patologias e, por último, as técnicas de conservação e reabilitação existentes, com uma breve descrição e vantagens e desvantagens das mesmas.

No Capítulo 3 aborda-se o caso de estudo, introduzindo a informação sobre o local em estudo, os equipamentos de ensaio e a metodologia de todos os ensaios aplicados, bem como do dimensionamento das estruturas.

No Capítulo 4 analisa-se os resultados dos ensaios e traduz-se a metodologia explícita no capítulo 3. Neste capítulo é realizada uma análise comparativa de duas soluções construtivas, uma solução tradicional e uma solução reciclada e analisando a nível económico e estrutural.

O Capítulo 5 aborda as considerações finais, incluindo conclusões retiradas da análise comparativa e os trabalhos futuros que se pode realizar nesta temática.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Pavimentos Rodoviários

#### 2.1.1 Introdução

Desde o aparecimento das primeiras civilizações foi necessário ligar cidades ou aldeias para que fosse possível fazer trocas de bens de primeira necessidade e, como tal, surgiu o conceito de estradas. O maior exemplo conhecido da ligação entre cidades é o império Romano, em que se tentou que todas as terras conquistadas se ligassem por caminho terrestre à capital romana. As estradas surgiram em primeiro lugar como simples caminhos de terra, depois introduziu-se as primeiras pedras e a partir daí foi-se desenvolvendo até aos dias de hoje em que o número de viagens é cada vez maior e as cargas atuantes sobre a estrada aumentaram drasticamente, surgindo assim as estruturas de pavimento utilizadas nos dias de hoje. As estradas eram e continuam a ser um dos meios mais importantes de transporte de pessoas e bens, tendo por isso um papel deveras importante do ponto de vista social e económico para qualquer país (Branco *et al.*, 2005, Ribeiro, 2012).

Um pavimento rodoviário tem de satisfazer três componentes essenciais: económica, segurança e comodidade. Uma outra componente que não é muito debatida por parte das construtoras é a componente ambiental, centrando-se nas restantes três componentes. Para que se satisfaçam estas exigências é necessário considerar todos os materiais utilizados na construção, as solicitações exigidas para o tráfego de projeto aquando da conceção de um pavimento. A principal função de um pavimento rodoviário é oferecer uma superfície de rolamento livre e desempenada, destinada a permitir a circulação de veículos em adequadas condições de segurança, conforto e economia (Azevedo, 2009b). Um pavimento rodoviário é uma estrutura de camadas sobrepostas, com determinadas espessuras, e constituídas por diferentes materiais (Figueiredo, 2011). Cada camada tem um comportamento característico derivado do tipo de material e da sua espessura.

Essas camadas sobrepostas podem ser de dois tipos; betuminosas ou granulares, sendo que as camadas granulares se encontram debaixo das camadas betuminosas. De forma a esclarecer as camadas de um pavimento, a Figura 1 apresenta esquematizadas as camadas de um pavimento rodoviário na sua constituição típica.

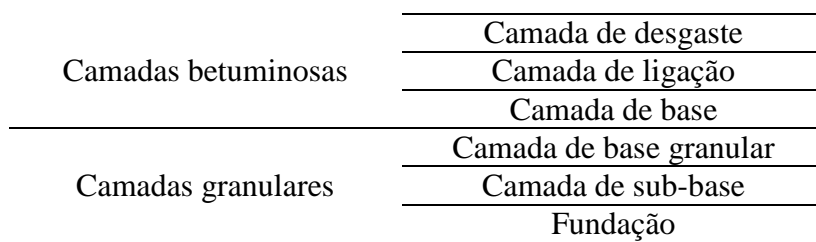


Figura 1 - Esquema da estrutura de um pavimento rodoviário (adaptado de Azevedo, 2009b)

Os pavimentos são estruturas laminares estratificadas em que os materiais são dispostos em camadas a partir da fundação por ordem crescente de resistência (Jacinto, 2003). Cada camada apresenta um tipo de comportamento mecânico em função do tipo de material, definido pelo módulo de deformabilidade, representado pela sigla (E) e pelo respectivo coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Cada camada tem funções distintas numa estrutura de um pavimento. Na Tabela 1 apresenta-se as diversas camadas do pavimento e as respetivas funções do mesmo.

Tabela 1 - Camadas de um pavimento e respetivas funções (adaptado de Azevedo, 2009b)

<b>Terreno da fundação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suporte do pavimento;</li> <li>• São as suas características que condicionam o dimensionamento</li> </ul>
<b>Leito do pavimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar deformação do solo;</li> <li>• Homogeneidade das características mecânicas da fundação;</li> <li>• Plataforma construtiva;</li> <li>• Possibilidade de compactação das camadas subjacentes em adequadas condições</li> </ul>
<b>Sub-base</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger durante a fase construtiva as camadas inferiores;</li> <li>• Proteger a base da subida de água capilar;</li> <li>• Drenagem interna do pavimento;</li> <li>• Camada estrutural;</li> <li>• Resistência à erosão</li> </ul>
<b>Base</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camada estrutural;</li> <li>• Degradação das cargas induzidas pelo tráfego</li> </ul>
<b>Desgaste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adequada circulação do tráfego com conforto e segurança;</li> <li>• Drenagem ou impermeabilização;</li> <li>• Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego</li> </ul>

Os pavimentos rodoviários podem ser classificados de acordo com o tipo de estrutura: i) flexíveis; ii) semi-rígidos ; iii) rígidos, tendo em conta os materiais das camadas. Dado ser esse o tipo de pavimentos analisado no caso de estudo, nesta dissertação só se irá abordar os pavimentos flexíveis.

Os pavimentos flexíveis apresentam dois tipos de estruturas que dependem do tipo de tráfego de projeto. Por exemplo, quando o tráfego pesado tem grande significância utiliza-se uma estrutura com a camada betuminosa mais expressiva. Por outro lado, quando o tráfego pesado não tem grande relevância na estrutura utiliza-se uma estrutura em que a camada granular tenha maior destaque conseguindo reduzir os custos. Quanto ao tipo de material, os pavimentos flexíveis apresentam materiais hidrocarbonatados (ligante) e granulares (Branco *et al.*, 2005). Através da Figura 2 é possível distinguir os dois tipos de estrutura existentes.

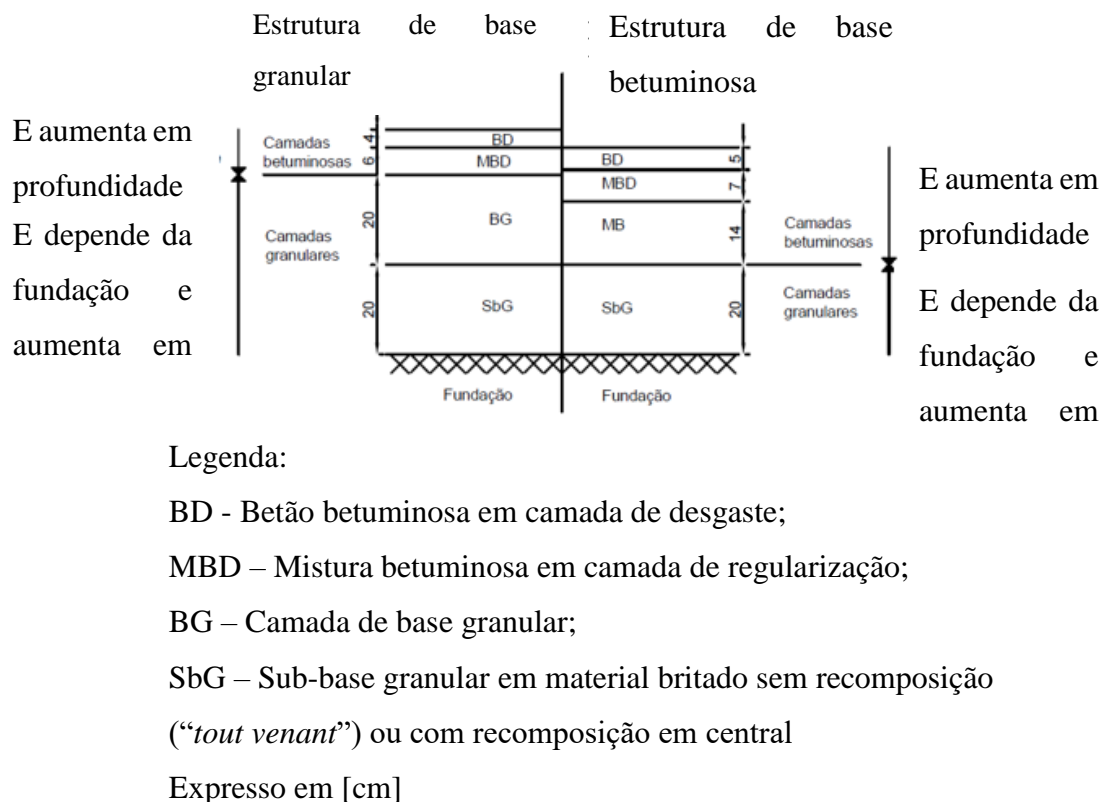


Figura 2 - Estruturas tipo de pavimentos flexíveis (adaptado de Branco *et al.*, 2005)

No caso de pavimentos de baixo volume de tráfego nem sempre se respeita a estrutura das camadas como as da Figura 2 e também a espessura das camadas. São propostas soluções mais simples de estrutura de pavimentos devido a quase inexistência de veículos pesados. Pelo seu baixo volume de tráfego, estes pavimentos não são habitualmente dotados de uma camada superficial de revestimento, tornando o pavimento não resistente ao aumento do tráfego, provocando o aumento de problemas de conservação das camadas, resultante do aparecimento de patologias (Jorge *et al.*, 2016).

Apesar destes pavimentos apresentarem reduzida utilização (Tráfego Médio Diário Anual – TMDA muito baixo) e também baixas velocidades é necessário fazer um dimensionamento adequado às suas características intrínsecas. Segundo (Muench, 2005), a maioria dos pavimentos em estradas de todo o mundo são de baixo volume de tráfego, sendo basicamente estradas rurais ou vias rurais, em que são geridas por entidades com recursos limitados, tendo de garantir a manutenção e reabilitação para que os níveis de qualidade se mantenham altos. Noutro estudo, Zhao e Dennis (2007) afirmam que 70% das estradas nos EUA são de baixo tráfego, e 90% das estradas em todo mundo são de baixo volume de tráfego. Em Portugal, existe uma rede rodoviária de 17874 km, sendo que 3087 km são de autoestrada, restando cerca de 14787 km de vias urbanas, estradas nacionais e vias rurais. Assim, uma percentagem de 83% da rede total portuguesa é constituída ou por estradas sem perfil de autoestrada (como vias rurais e algumas estradas nacionais), tendo as estradas de baixo volume de tráfego grande preponderância nesta percentagem (IP, 2016).

Apesar do baixo volume de tráfego de muitas estradas, a taxa de degradação é alta. Um dos fatores da elevada taxa de degradação deriva da falta de um sistema de dimensionamento (estudo específico), no qual se aplica somente uma camada de desgaste, pretendendo assim um custo de construção mais baixo (economia de custos iniciais). Apesar desse custo inicial baixo, a falta de um dimensionamento adequado provoca um aparecimento de problemas patológicos que se traduzem no reduzido período de vida do pavimento provocando um aumento de custo de manutenção. Ao garantir um bom dimensionamento da estrutura antes da construção é possível evitar a reconstrução do mesmo antes do seu tempo de vida útil. Diversos autores defendem através de estudos que a economia em pavimentos de longa duração para baixo volume de tráfego, permitiu poupar cerca de 25% dos custos em comparação com um pavimento convencional (contendo apenas uma camada de desgaste) (Muench *et al.*, 2004, Timm *et al.*, 2006).

### **2.1.2 Dimensionamento de pavimentos flexíveis de baixo volume de tráfego**

Um pavimento é sujeito a vários esforços durante o seu tempo de vida útil. Para o dimensionamento de um pavimento rodoviário são tidos em conta os esforços devido ao tráfego de veículos pesados e também devido às condições climáticas da região. Considera-se indispensável que, no projeto de execução, sejam apresentados cálculos justificativos das estruturas projetadas, com o objetivo de adaptar as estruturas propostas às condições de projeto,



em particular à natureza dos materiais, às condições geotécnicas e climáticas locais e às previsões de tráfego (JAE, 1995). A Figura 3 ilustra as solicitações induzidas num pavimento e que tem em conta no seu dimensionamento.

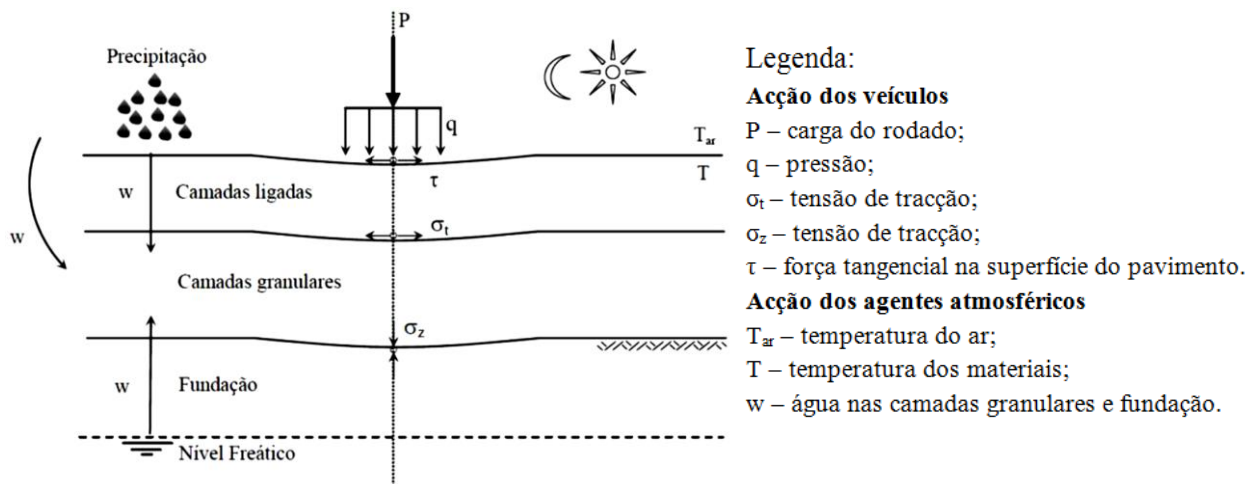


Figura 3 - Solicitações num pavimento (Branco *et al.*, 2005)

Na Figura 3 é possível observar a existência de dois tipos de esforços que são aplicados no pavimento e que serão tidos em conta no dimensionamento do mesmo. Estes esforços originam tensões e extensões no pavimento. Existem esforços horizontais que definem o critério de fadiga de um pavimento na parte inferior das camadas ligadas (betuminosas). Já o esforço vertical que corresponde ao critério de deformação permanente é controlado na interface do solo de fundação com a camada granular. Esforços tangenciais são também provocados na camada de desgaste devido ao contacto pneu-pavimento que poderão originar o aparecimento de fendilhamento com origem na superfície.

Conhecer os esforços atuantes num pavimento não é suficiente para definir a estrutura do mesmo e, para tal, existem métodos de dimensionamento empíricos-mecanicistas através de fórmulas, como o método da *Shell*, ou através de catálogos como o MACOPAV (Manual de conceção de pavimentos para a rede rodoviária nacional) e o Manual de dimensionamento AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

O processo de dimensionamento de um pavimento, independentemente do tipo de procedimento a utilizar, passa por uma série de etapas ilustradas na Figura 4.

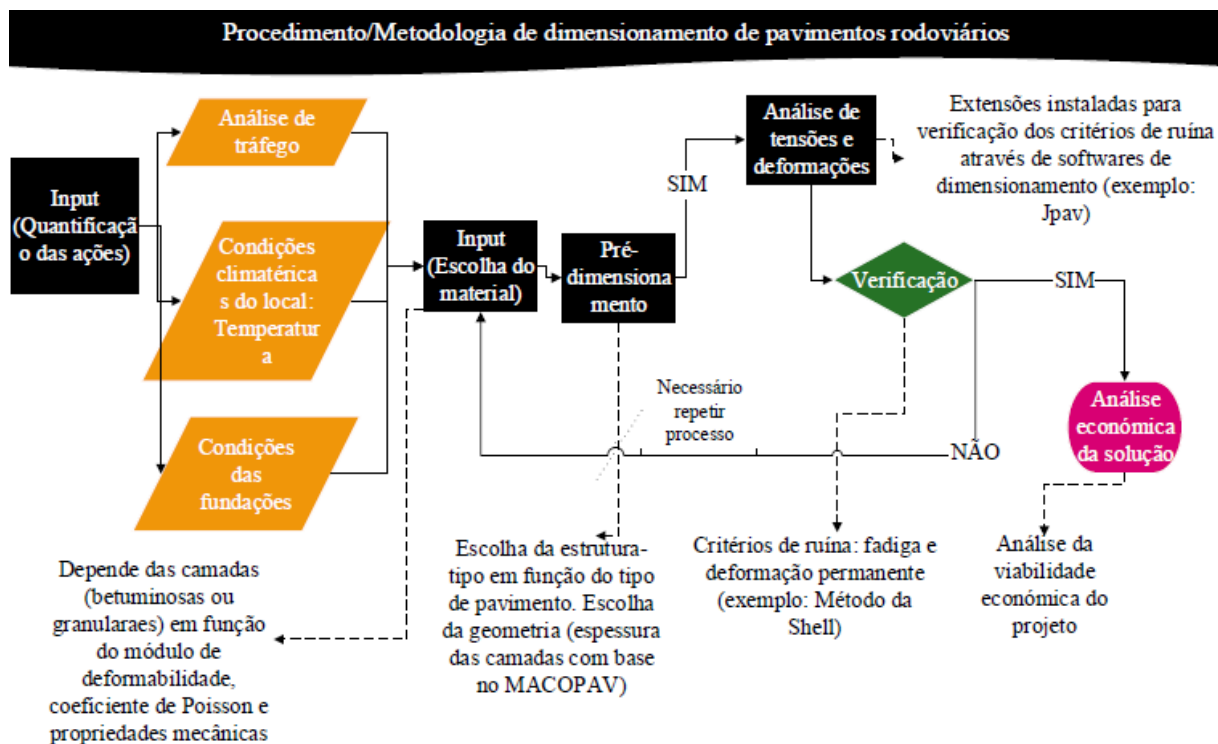


Figura 4 - Metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários (adaptado de AASHTO, 2008, Baptista, 1999)

As solicitações abordadas anteriormente influenciam os materiais a utilizar, bem como a espessura das camadas. Outra componente essencial para a escolha de material a utilizar são as condições da fundação que influenciam em muito a escolha das camadas granulares de um pavimento. Além das condições da fundação, as condições climáticas influenciam o tipo de material a utilizar, como o caso das zonas de calor ou frio que é referido no MACOPAV.

Em Portugal, o MACOPAV é um catálogo criado pela JAE (Junta Autónoma de Estradas) que tem por base modelar o comportamento dos pavimentos através de relações tensão-deformação induzidos pelas ações referidas anteriormente.

O MACOPAV apresenta uma particularidade ou limitação que surge como um dos pontos desta dissertação: a incapacidade de propor soluções de pavimentos para tráfego muito reduzido. Surge assim a necessidade de estudar soluções alternativas através de estudos específicos, devido ao facto de o tráfego pesado ser quase inexistente. Os pavimentos sujeitos a tráfego muito reduzido (inferior a 50 veículos pesados por dia e por sentido de circulação), bem como os sujeitos a tráfego muito intenso (superior a 2000 veículos pesados), devem ser objeto de um estudo específico (JAE, 1995). Na Tabela 2 apresenta-se o pormenor apresentado no

MACOPAV referente à limitação do manual no estudo de pavimentos de baixo volume de tráfego.

Tabela 2 - Classes de tráfego de dimensionamento consideradas no MACOPAV (JAE, 1995)

Classe	(TMDA) <sub>p</sub>	Taxa de crescimento médio (t)	Pavimentos flexíveis		Pavimentos semi-rígidos	
			Factor de agressividade	N <sub>80</sub> <sup>dim</sup> (20anos)	Factor de agressividade	N <sub>130</sub> <sup>dim</sup> (20anos)
<b>T<sub>7</sub></b>	<50		Estudo específico			
<b>T<sub>6</sub></b>	50-150	3	2	2 x 10 <sup>6</sup>	0,5	5 x 10 <sup>5</sup>
<b>T<sub>5</sub></b>	150-300		3	8 x 10 <sup>6</sup>	0,6	2 x 10 <sup>6</sup>
<b>T<sub>4</sub></b>	300-500	4	4	2 x 10 <sup>7</sup>	0,7	4 x 10 <sup>6</sup>
<b>T<sub>3</sub></b>	500-800		4,5	4 x 10 <sup>7</sup>	0,8	7 x 10 <sup>6</sup>
<b>T<sub>2</sub></b>	800-1200	5	5	7 x 10 <sup>7</sup>	0,9	10 <sup>7</sup>
<b>T<sub>1</sub></b>	1200-2000		5,5	10 <sup>8</sup>	1,0	2 x 10 <sup>7</sup>
<b>T<sub>0</sub></b>	>2000		Estudo específico			

Para além do tráfego, os pavimentos são estruturas sujeitas ao meio ambiente e por isso as ações climáticas condicionam os trabalhos de construção, conservação e segurança de circulação e, como tal, devem ser tidas em conta no dimensionamento. As condições híbridas afetam o comportamento mecânico das camadas granulares e do solo de fundação (JAE, 1995). Logo um adequado sistema de drenagem poderá resolver os problemas destas camadas.

Em geral, o desempenho de um pavimento betuminoso flexível deteriora-se com a subida da temperatura e por consequência, a resistência à deformação permanente decresce rapidamente (O'Flaherty, 2002).

O processo de dimensionamento do MACOPAV está detalhado no manual acima referido (JAE, 1995), apresentando-se na Figura 5 um exemplo do resultado final obtido para um pavimento com a respetiva classe de fundação.

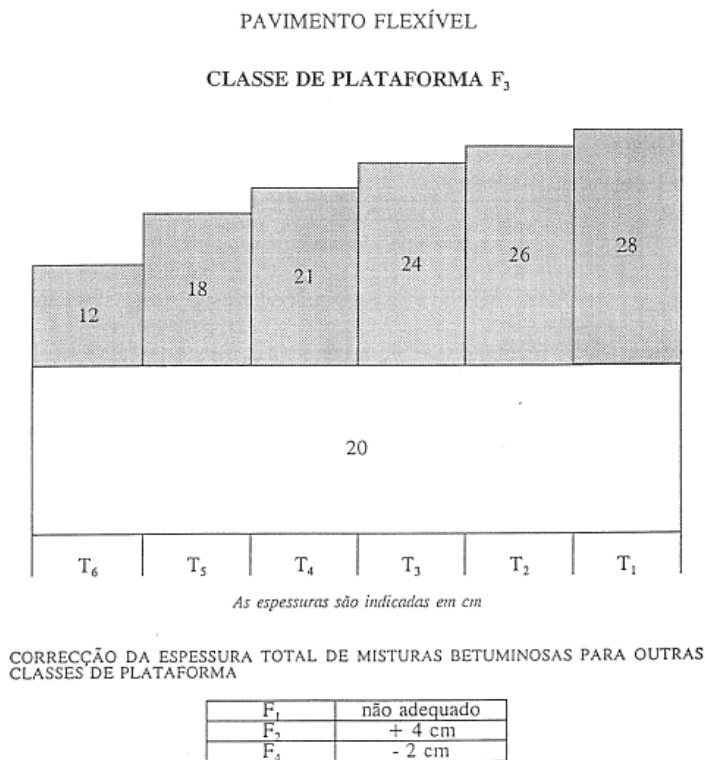


Figura 5 - Exemplo de uma estrutura de pavimento resultante da aplicação do MACOPAV (JAE, 1995)

Por outro lado, existe também o método de dimensionamento da AASHTO (AASHTO, 1993), surgindo como resposta ao “mau” dimensionamento de pavimentos nos EUA, com particular importância nos pavimentos de baixo volume de tráfego.

Ao contrário do MACOPAV, que não faz qualquer referência sobre como dimensionar pavimentos de baixo volume de tráfego, o manual da AASHTO (AASHTO, 1993) utiliza procedimentos baseados em dois métodos distintos: método de dimensionamento através de ábacos e métodos de dimensionamento através de catálogos (Peixoto, 2014). O procedimento através de ábacos é utilizado para pavimentos cuja camada de desgaste é em material granular, ou seja, ausência de camadas betuminosas. Este método permite determinar a espessura da camada granular de base e converter numa espessura equivalente para camada de sub-base através da utilização dos ábacos (Peixoto, 2014). Quanto ao método por catálogos, para os pavimentos flexíveis e pavimentos com camada de desgaste sobre camada granular, o catálogo é utilizado em função da zona climática, qualidade do solo de fundação e tráfego, sendo que o resultado final é o número estrutural (SN) e a espessura da camada de base granular.

A grande limitação deste procedimento é que a natureza empírica do processo de decisão de espessura, deriva de um ensaio de estrada realizado há quase 45 anos atrás podendo esta solução não ser aplicável a sistemas de pavimentos atuais e condições climáticas diferentes (Peixoto, 2014).

### 2.1.3 Materiais de Pavimentação

Nos subcapítulos anteriores foi referido que a escolha do material deve corresponder às expectativas de desempenho para que o pavimento ofereça as devidas condições para que foi projetado.

Os solos de fundação geralmente correspondem ao terreno natural, ou seja, ao material existente *in situ*. No entanto, quando as propriedades do material não correspondem às exigências que o pavimento irá encontrar, poderá ser necessário reforçar esses solos através de um ligante hidráulico, conferindo assim ao solo as características desejáveis. No MACOPAV (JAE, 1995) apresenta-se os materiais usualmente encontrados, e expressos tendo em conta o valor de CBR para as condições mais desfavoráveis em obra e após a entrada em serviço.

Se o solo de fundação possuir características adequadas para a construção de um pavimento poderá ser necessário apenas uma única camada granular, enquanto no caso de uma fundação com solo de reduzida qualidade poderão ser aplicadas mais do que uma camada granular para assim reduzir as cargas transmitidas à fundação. Na Tabela 3 apresenta-se o conjunto de materiais normalmente utilizados em camadas granulares.

Tabela 3 - Material aplicado em camadas granulares (adaptado de JAE, 1995)

Símbolo	Descrição	Coefficiente de Poisson
BGr	Material britado recomposto em central	0,35
BG	Material britado sem recomposição (tout-venant) aplicado em camada de base	0,35
SbG	Material britado sem recomposição (tout-venant) aplicado em camada de base	0,35
GN	Material não britado	0,35
SS	Solo selecionado	0,4

A parte superior dos pavimentos flexíveis pode ser constituída por dois tipos de materiais: misturas betuminosas a quente e misturas betuminosas a frio. Na Tabela 4 apresenta-se o material mais utilizado e a espessura recomendável para esse tipo de material.

Tabela 4 - Material utilizado em misturas betuminosas (adaptado de Branco *et al.*, 2005, JAE, 1995, Jimenez, 2014b)

Tipo de Mistura	Símbolo	Descrição
Mistura betuminosa a quente	MB	Macadame betuminoso em camada de base
	MB	Macadame betuminoso em camada de regularização
	MBD	Mistura betuminosa densa em camada de regularização
	BD	Betão betuminoso em camada de desgaste
		Macadame por penetração ou semi-penetração em camada de base
	MBAM	Mistura de alto módulo de rigidez (camada base e desgaste)
	BBDr	Betão betuminoso drenante em camada de desgaste
	mBBr	Micro-betão betuminoso rugoso em camada de desgaste
	AB	Argamassa betuminosa em camada de desgaste
Mistura betuminosa fabricada a frio		Agregado britado de granulometria extensa tratado com emulsão betuminosa (camada de base e regularização)
		Microaglomerado betuminoso a frio
		Revestimento superficial betuminoso
		Lama asfáltica “ <i>Slurry Seal</i> ”

A escolha do material a utilizar é de grande importância porque cada material tem o seu módulo de deformabilidade/rigidez, espessura e coeficiente de *Poisson*, sendo que a escolha depende basicamente das características do local (climáticas) em que se encontra a obra, das características que se pretende obter no pavimento e da disponibilidade de materiais.

## 2.2 Degradações dos pavimentos rodoviários flexíveis

### 2.2.1 Tipos de degradações

Um pavimento rodoviário flexível é normalmente dimensionado para um tempo de vida útil de 20 anos mas, durante esse tempo, o pavimento sofre constantemente solicitações que quando excedem a sua capacidade resistente originam o aparecimento de degradações (patologias), diminuindo a capacidade estrutural e funcional do pavimento.

De acordo com diversos autores (Branco *et al.*, 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Pereira e Valverde, 1999), as famílias de degradações mais importantes a considerar num pavimento flexível são:

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

As deformações têm como principal causa patológica anomalias nas camadas do pavimento e no solo de fundação. Assim os principais fatores de degradação são referentes à fraca capacidade de suporte da fundação, à reduzida compacidade das camadas estruturais e também às más condições de drenagem. Dentro das deformações é possível dividir em várias subfamílias: i) Abatimento; ii) Ondulação; iii) Deformações localizadas; iv) Rodeiras.

A Tabela 5 apresenta os diferentes tipos de deformações existentes e exemplos fotográficos das mesmas patologias.





Tabela 5 - Tipos de deformações e respetivos exemplos(adaptado de Branco *et al.*, 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999)

Tipos de degradações		Exemplo
Abatimento	Longitudinal	
	Eixo	
	Transversal	
Deformações		
Ondulação		
Rodeiras	Grande raio	
	Pequeno raio	

A família de degradações mais comum em pavimentos flexíveis é a do fendilhamento, resultando geralmente da fadiga dos materiais da camada betuminosa devido à sucessão de cargas aplicadas aos pavimentos que provocam esforços de tração nas camadas. O fendilhamento divide-se em fendas e pele de crocodilo sendo que estas podem-se também dividir tendo em conta a sua forma. A Tabela 6 demonstra o fendilhamento existente e exemplos dessa patologia.



Tabela 6 - Tipos de fendilhamento e respetivos exemplos (adaptado de Branco *et al.*, 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999)

Tipo de degradações		Exemplo
	Fadiga	
Fendas isoladas	Longitudinal	Eixo 
	Transversal	Berma 
Pele de crocodilo	Malha fina ( $\leq 40\text{cm}$ )	
	Malha larga ( $> 40\text{cm}$ )	

A desagregação da camada de desgaste, tal como o nome indica, reflete-se no desprendimento da camada superficial. Ocorre a perda da qualidade superficial resultante da falta de estabilidade de ligação entre os materiais constituintes da mistura. Na família das desagregações da camada de desgaste pode considerar-se os seguintes tipos de degradação: i) desagregação superficial; ii) “cabeça de gato”; iii) peladas; iv) ninhos e covas.



Na Tabela 7 apresenta neste caso os tipos de desagregação da camada de desgaste com respetivos exemplos fotográficos.

Tabela 7 - Tipos de desagregação da camada de desgaste e respetivos exemplos (adaptado de Branco *et al.*, 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999)

Tipo de Degradações	Exemplo
Desagregação superficial	
Cabeça de gato	
Pelada	
Ninhos/covas	

Outra patologia existente é o movimento de materiais, ou seja, consiste na movimentação dos materiais constituintes das camadas betuminosas ou granulares. Esta família divide-se em dois tipos: i) exsudação do betume; ii) subida de finos. Na Tabela 8 apresenta-se os tipos de degradação e exemplos desta família.

Tabela 8 - Tipos de movimentos de materiais e respetivos exemplos (adaptado de Branco *et al.*, 2005, EP - Estradas de Portugal, 2008, Figueiredo, 2011, Francisco, 2009, Pereira e Valverde, 1999)

Tipo de degradações	Exemplos
Exsudação de betume	
Subida de finos	

Por último, no catálogo de degradações (EP - Estradas de Portugal, 2008) refere-se as reparações ou remendos como degradações porque estas irão provocar/causar comportamentos anómalos no pavimento, ocorrendo assim uma deficiência estrutural não eliminada, podendo voltar a manifestar-se através de qualquer patologia descrita anteriormente. Geralmente provoca fendilhamento e/ou deformações permanentes.

### **2.2.2 Métodos de observação de pavimentos**

Ao longo do tempo de vida útil, um pavimento rodoviário sofre solicitações que baixam a sua qualidade. Assim, recorre-se a métodos de observação que permitem avaliar parâmetros de estado que definam a qualidade do mesmo.

Os parâmetros mais utilizados na avaliação da qualidade de um pavimento são: i) deflexão; ii) estado superficial; iii) regularidade longitudinal; iv) atrito transversal. Neste capítulo só se incidirá sobre métodos de observação da deflexão (capacidade estrutural) e do estado superficial, por serem aqueles que foi possível utilizar na avaliação da qualidade dos pavimentos dos casos de estudo.

A avaliação de degradações deve ser feita de forma a corrigir as degradações atuais e prevenir o aparecimento de degradações futuras (Haas e Hudson, 1978). Por isso é necessário definir um plano de manutenção em que seja possível garantir a qualidade do pavimento.

A capacidade estrutural de um pavimento é estimada através do estudo das deflexões de um pavimento, pois, a deflexão constitui o melhor indicador da avaliação do comportamento estrutural de um pavimento (Francisco, 2012). Dentro de vários ensaios possíveis para avaliar um pavimento estruturalmente, os mais utilizados são:

- Viga Benkelman;
- Defletógrafo Lacroix;
- Defletómetro de impacto (FWD);
- Defletógrafo de Alta velocidade (HSD)

Todos estes ensaios são de caráter não destrutivo, ou seja, não alteram o funcionamento e comportamento do pavimento. No entanto, a sua utilização é por vezes complementada com a realização de ensaios destrutivos como a abertura de poços de sondagem ou a recolha de carotes.

Os provetes assim obtidos são levados para laboratório e ensaiados com o objetivo de identificar os materiais existentes, a resistência estrutural e as respetivas camadas do pavimento.

Neste capítulo abordará apenas o defletómetro de impacto e o defletógrafo de alta velocidade devido ao facto de serem ensaios mais recentes e usados atualmente.

O defletómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer* – FWD) permite a medição da resposta de um pavimento (deflexões) após induzir uma carga vertical de impacto, simulando as ações induzidas pela passagem de veículos (Antunes, 1993).

O equipamento de ensaio FWD é um atrelado, montado com um sistema de geração de carga e dispositivos, para a medição das deflexões ao longo do mesmo. A carga aplicada e a altura de queda é ajustada antes do ensaio. As vantagens deste ensaio são a sua elevada precisão e reduzida dispersão na medição das deflexões, a possibilidade de aplicar diferentes níveis de carga para medição num mesmo ponto, facilidade de operação, registo automático da temperatura do ar e do pavimento, a distância entre pontos de medição, e por último a rapidez de execução. No Capítulo 3, o ensaio de FWD será explorado em pormenor, visto que será utilizado no caso de estudo.



Figura 6 - Exemplo de defletómetro de Impacto (FWD) (Alves, 2007))

Quanto ao defletógrafo de alta velocidade, este utiliza sensores laser e efetua medições de deflexão à velocidade do tráfego, sendo excelente para obras em que o tráfego é bastante elevado ou em estradas de alta velocidade. Através dos lasers de medição da distância permite determinar as deflexões tendo em conta a diferença entre o perfil do pavimento sujeito à ação

da carga aplicada pelos rodados e o perfil quando não existe carga alguma (Alves, 2007). Na Figura 7 apresenta-se exemplos de defletógrafos de alta velocidade.



Figura 7 - Defletógrafos de Alta velocidade; a) *Road Deflection Tester* (RDT) - Suécia; b) *High Speed Deflectograph* (HSD) – Dinamarca

Por outro lado, existe também avaliação do estado superficial, que consiste em avaliar as degradações visíveis na camada de desgaste de um pavimento, de modo a complementar a informação obtida com os ensaios de deflexão para a obtenção do modelo estrutural de um determinado pavimento.

As avaliações podem ser apresentadas de diferentes métodos, sendo uns mais fidedignos que outros. Os principais métodos de observação são (Jacinto, 2003):

- Inspeção visual;
- Sistemas óticos;
- Sistemas de infravermelhos;

A inspeção visual consiste basicamente em deslocar-se ao longo da estrada, quer a pé ou num veículo, onde se regista os diferentes tipos de degradações observados, tendo em conta a sua gravidade e densidade. Para reduzir a subjetividade humana utiliza-se um catálogo de degradações (EP - Estradas de Portugal, 2008), em que se pretende tipificar todas as patologias existentes tendo em conta o tipo de pavimento. No catálogo cada patologia está devidamente definida numa ficha na qual também se apresentam as causas possíveis, a forma evolutiva, os procedimentos de medição e a sua classificação em três níveis de gravidade, com fotografias ilustrativas (EP - Estradas de Portugal, 2008). Na Figura 8 é possível verificar todas as componentes de uma patologia no catálogo, onde apresenta a sua definição, possíveis causas, evolução e classificação da mesma.

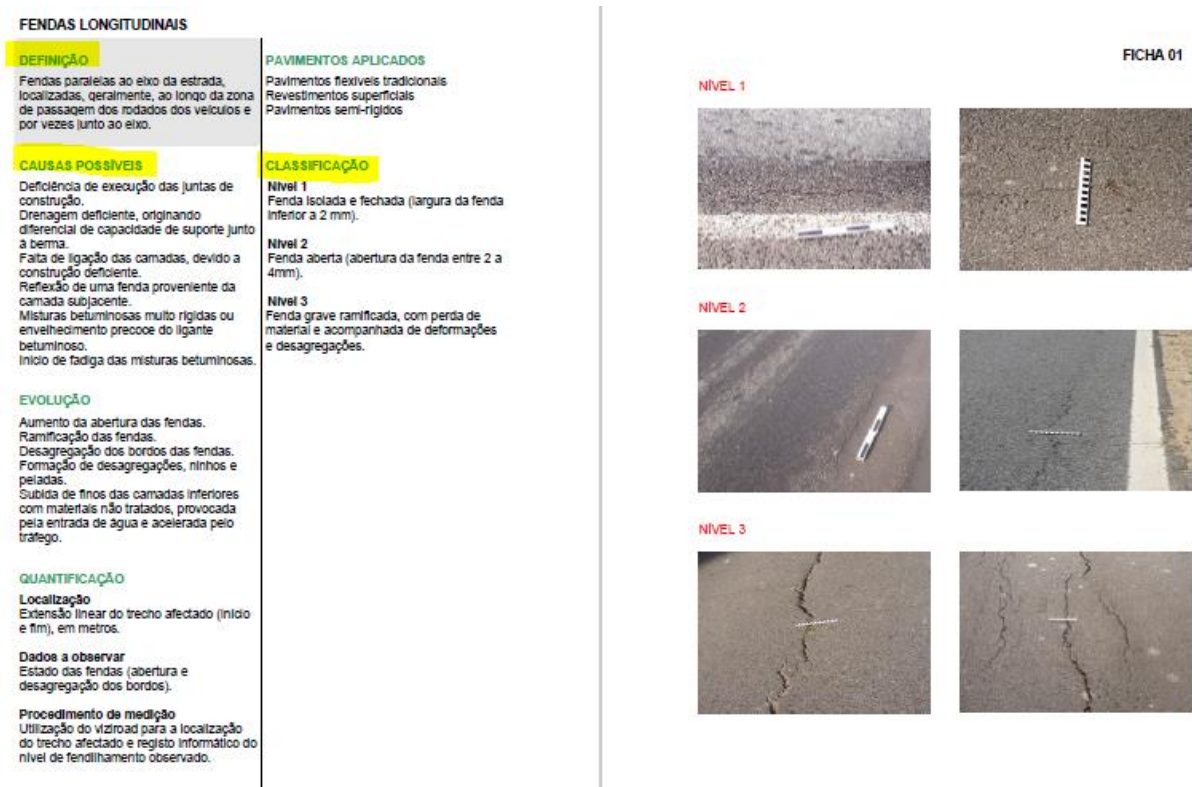


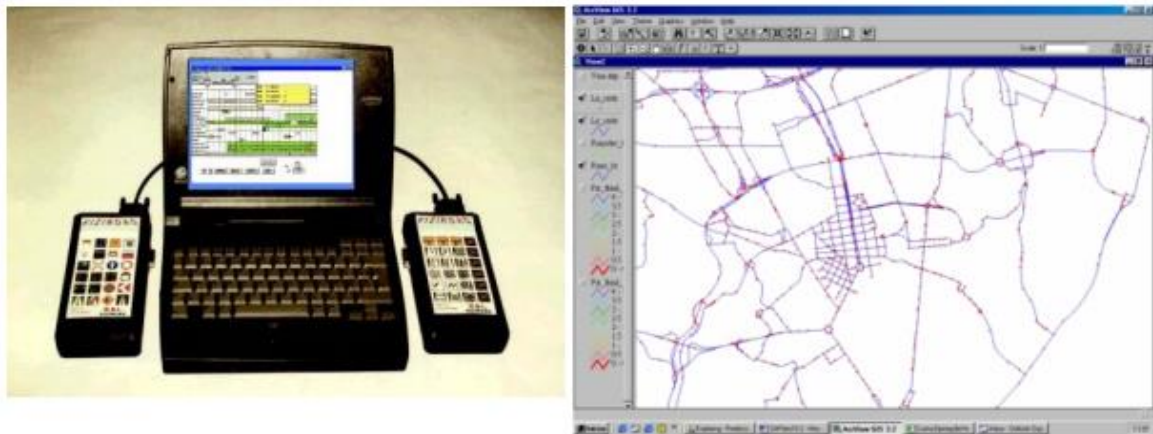
Figura 8 - Exemplo de patologia apresentada no Catálogo de degradações (EP - Estradas de Portugal, 2008)

Com a ajuda do catálogo torna-se possível preencher as fichas técnicas que mais tarde serão analisadas para definir quais os troços do pavimento com maior urgência de intervenção.

Para além da observação visual das degradações manuais, existem também apoios informáticos que permitem auxiliar no trabalho de levantamento patológico.

Os sistemas de observação computadorizado mais conhecidos são o *Desy* e o *Viziroad*. Estes programas consistem basicamente no registo de patologias georreferenciadas (através de coordenadas GPS) numa base de dados, que mais tarde poderão ser analisadas utilizando sistemas de informação geográfica. Na Figura 9 é possível verificar o funcionamento do sistema *Viziroad* em que consiste em introduzir a posição das patologias com recurso a dois teclados configuráveis preenchendo automaticamente uma tabela no computador.





DNTP MALI LCPC BCBOM		RÉSEAU REVÊTU		ROUTE : RM N0006 1 PR : 0 - 0 2,5 - 5000		PAGE 16 : 09/02/2007
PROFOND	1000	2000	3000	4000	5000	6000
RELEVÉ						
ALTI						
CHARGES						
TRAFFIC						
PROFOND						
ALTI						
RELEVÉ						
CHARGES						
TRAFFIC						
PROFOND						
ALTI						
RELEVÉ						
CHARGES						
TRAFFIC						
PROFOND						
ALTI						
RELEVÉ						
CHARGES						
TRAFFIC						
PROFOND						
ALTI						
RELEVÉ						
CHARGES						
TRAFFIC						
PROFOND						
ALTI						
RELEVÉ						
CHARGES						
TRAFFIC						

Figura 9 - Exemplo do funcionamento do Viziroad (Gennet, 2013)

Outra técnica de levantamento de patologias é através de sistemas óticos, ou seja, através de vídeos, processamento de imagens e até raios laser. Esta solução tem grandes vantagens porque é possível, sem voltar ao local de avaliação, analisar novamente as patologias as vezes que for preciso para chegar à conclusão pretendida (Alves, 2007).

### 2.3 Técnicas de conservação das características superficiais

O ciclo de vida de um pavimento pode ser dividido em cinco fases: i) extração e produção; ii) construção; iii) uso; iv) manutenção; v) fim de vida (Araújo *et al.*, 2012). Todas as fases têm ligações com o ambiente, ou seja, nos dias de hoje é necessário tratar adequadamente os resíduos referentes à construção de uma estrada (fase 5), e, por outro lado, há uma limitação de novos recursos de material para construção (fase 1).

Através de uma estratégia de conservação adequada é possível manter a qualidade de um pavimento por mais tempo e com custos inferiores aos de não conservar o pavimento durante o

seu ciclo de vida e reconstruí-lo de raiz após esse período. Para tal recorre-se a planos de acompanhamento da evolução da qualidade, para apoiar a decisão de intervir, de modo a que a qualidade se mantenha num nível aceitável. Na Figura 10, apresenta-se um pavimento que no ano de abertura apresenta um nível de serviço máximo (qualidade funcional e estrutural máxima), que ao longo do tempo de vida vai perdendo qualidade. As intervenções como se pode observar farão com que se aumente o nível de serviço permitindo que a vida útil do pavimento também aumente.

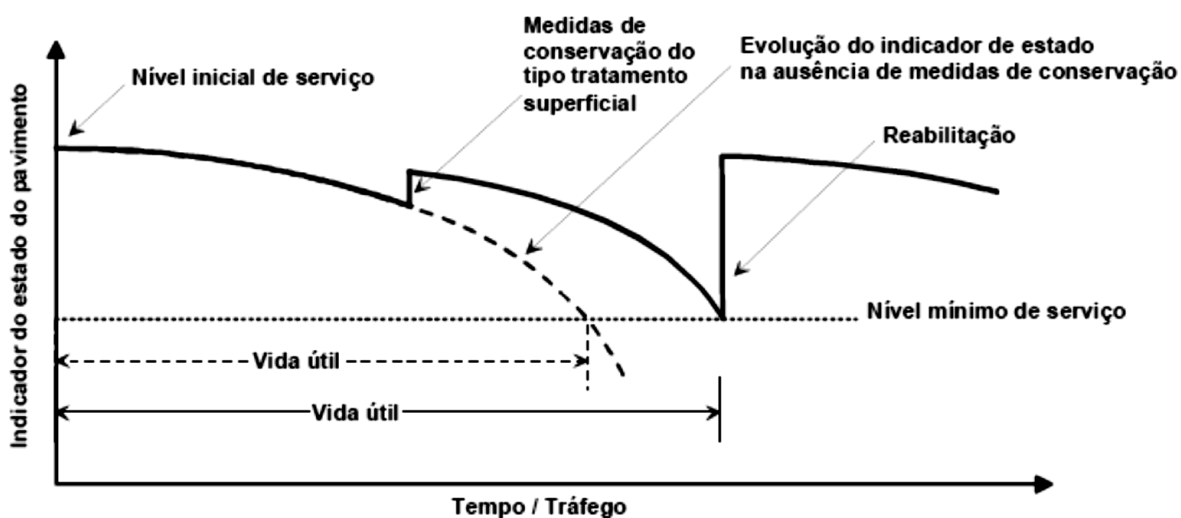


Figura 10 - Evolução da qualidade de um pavimento e influência das intervenções de conservação/reabilitação (Batista, 2004)

As intervenções num pavimento têm de respeitar determinados critérios para que a solução adotada seja a ideal. Estes critérios são maioritariamente económicos, ou seja, minimizar os custos da obra; técnicos, promovendo a eficácia da solução para a resolução do problema e a qualidade de desempenho no futuro; e por último, ambientais, correspondendo à minimização dos impactes ambientais (Cunha, 2010).

Em cada intervenção pode ser utilizada uma ou várias técnicas de conservação e reabilitação, nomeadamente (Almeida, 2013):

- Técnicas tradicionais de conservação e reabilitação:
  - Técnicas de conservação das características superficiais;
  - Técnicas de reabilitação estrutural
- Técnicas de conservação e reabilitação mais sustentáveis:
  - Reciclagem de pavimentos



No caso das técnicas de conservação das características superficiais, estas têm somente um objetivo que é o de melhorar as características superficiais de um pavimento (por exemplo; aderência, impermeabilidade e correções geométricas). Tal como o nome indica, estas atuam ao nível da camada de desgaste e só podem ser aplicadas caso a qualidade estrutural não tenha sido afetada.

Uma das técnicas mais conhecidas são as reparações localizadas, mas como foi enunciado no Subcapítulo 2.2, estas podem ser um inconveniente porque provocam depressões ou elevações (deformações localizadas) bem como podem provocar o aparecimento de fendas nas juntas da reparação com o pavimento já existente ou no seu interior. Como alternativa, ou complementarmente, recorre-se à colocação de uma nova camada de desgaste sobre o pavimento existente. Essa alternativa pode ser feita de diferentes materiais, entre os quais (Pereira, 1999):

- Revestimentos superficiais;
- Microaglomerado betuminoso a frio;
- Microbetão betuminoso rugoso;
- Lama asfáltica;
- Argamassa betuminosa.

### **2.3.1 Revestimentos superficiais**

Os revestimentos superficiais são camadas muito finas formadas pela sobreposição de agregados com um ou duas camadas de ligante betuminoso sobre o pavimento já existente. A principal vantagem é a relação custo/benefício quando se pretende uma melhoria da rugosidade e impermeabilização do pavimento (Branco *et al.*, 2005).

Esta técnica é adequada a volumes de tráfego baixos, sem esforços tangenciais significativos. A plataforma de apoio deverá ser constituída por materiais betuminosos e ser regular (EP - Estrada de Portugal, 2014). Com a utilização de betumes modificados já é possível utilizar esta técnica em situações de tráfego mais elevado.

### **2.3.2 Microaglomerado betuminoso a frio**

O microaglomerado betuminoso a frio consiste numa camada betuminosa densa, rugosa e impermeável, com espessura a rondar  $\pm 1$  cm, composta por uma emulsão estável, inerte fino bem graduado, filer, aditivos e água nas proporções certas com uma consistência adequada para uma extensão em camada contínua (Seixas, 2006). Tem como principal objetivo selar e impermeabilizar o pavimento, sendo utilizado maioritariamente em estradas de baixo volume de tráfego, como estradas secundárias e arruamentos urbanos.

Em obras de conservação/reabilitação é necessário ter em atenção a camada subjacente, ou seja, ter em conta a superfície do pavimento existente, o que poderá implicar a reparação prévia de áreas restritas, incluindo o preenchimento de deformações e outras patologias. A camada existente não deverá apresentar material solto, sujidades, detritos e poeiras (EP - Estrada de Portugal, 2014).

A principal vantagem desta técnica é o elevado rendimento conseguido durante a colocação do mesmo, visto ser aplicado uma camada muito fina, e também conseguir obter características superficiais com elevada qualidade associadas a um custo reduzido (Pereira e Valverde, 1999).

### **2.3.3 Lama asfáltica**

A lama asfáltica ou também denominada de *slurry seal* apresentam a mesma função que o microaglomerado betuminoso. Ou seja, são também utilizadas para a selagem de pavimentos com indícios de degradação, de modo a impedir o acesso de água à fundação, prolongando o período de vida do pavimento. Ao contrário do microaglomerado betuminoso a frio, a lama asfáltica apresenta dimensões dos agregados inferiores a 2mm, traduzindo-se assim em problemas na rugosidade, provocando menor aderência entre pneu-pavimento (Cunha, 2010).

### **2.3.4 Microbetão betuminoso rugoso**

Esta técnica consiste numa mistura betuminosa que é aplicada em pavimentos de reduzida deformabilidade (boa capacidade estrutural), consistindo em camadas delgadas de espessura a variar entre 2,5 a 3,5cm. A principal vantagem deste processo é a capacidade de garantir excelentes condições de aderência, o que permite a sua utilização em situações de volume de

tráfego elevado e rápido (Jimenez, 2014a). Por outro lado, a principal desvantagem é a reduzida impermeabilidade sendo necessário aplicar uma sobredosagem da rega de colagem.

### **2.3.5 Argamassa betuminosa**

Trata-se de uma mistura betuminosa a quente que é utilizada como camada de desgaste, de forma a recuperar as características superficiais do pavimento existente. Utilizada somente em condições de tráfego reduzido devido à elevada deformabilidade que a argamassa betuminosa apresenta (Branco *et al.*, 2005).

## **2.4 Técnicas tradicionais de reabilitação estrutural**

As técnicas de reabilitação estrutural consistem em aplicar novas camadas betuminosas sobre o pavimento, podendo ser executadas na camada de desgaste, regularização ou base de modo a permitir que o pavimento obtenha uma maior capacidade de carga. As camadas a “tratar” dependem do estudo elaborado anteriormente em que se analisa a qualidade que o pavimento oferece, em comparação com a qualidade pretendida.

Na reabilitação estrutural, refere-se o termo “reforço do pavimento”, que consiste nas ações capazes de aumentar a capacidade estrutural do pavimento existente para suportar, em conjunto com a fundação mobilizável, as cargas geradas pelos veículos em determinadas condições de aplicação (Branco *et al.*, 2005). A reabilitação estrutural além de permitir garantir a qualidade estrutural de um pavimento, também permite melhorar a qualidade funcional, visto que com a aplicação de uma nova camada de desgaste está intrínseca a melhoria da qualidade superficial do mesmo.

As técnicas tradicionais de reabilitação estrutural mais utilizadas são basicamente misturas betuminosas a quente produzidas em central que apresentam gastos energéticos enormes (produção em central e transporte) em comparação com técnicas a frio *in situ*, com as consequentes emissões de gases poluentes, salientando-se as seguintes:

- Betão betuminoso;
- Betão betuminoso drenante;
- Macadame betuminoso;
- Betão betuminoso de alto módulo

### **2.4.1 Betão betuminoso**

Considerado o tipo de material mais utilizado em camada de desgaste num pavimento. Para tal, tem de ter características que suportem as ações do tráfego e da água. Em contrapartida apresenta uma macrotextura (rugosidade) baixa, podendo não ser a técnica mais aconselhável para vias de velocidade rápida e também em climas chuvosos. Esta camada apresenta uma espessura recomendável de 0,04m a 0,06m, sendo definida em projeto (EP - Estrada de Portugal, 2014).

Atualmente têm-se vindo a utilizar betumes da classe 35/50 na execução betão betuminoso para camadas de desgaste, podendo também utilizar-se betume 50/70, para classes de tráfego ligeiro e zonas climatéricas favoráveis (Jimenez, 2014a), sendo que os betumes mais duros aumentam a resistência à deformação permanente, mas podem contribuir para uma maior fragilidade da mistura, promovendo o aparecimento de fendilhamento mais precocemente.

### **2.4.2 Betão betuminoso drenante**

De forma a melhorar a segurança e comodidade de circulação, a aplicação desta técnica apresenta características especiais. Esta mistura é indicada para eliminar ou reduzir os problemas de hidroplanagem dos veículos que circulam sobre o pavimento com chuva e para reduzir o ruído de rolamento (Jimenez, 2014a). Uma das particularidades desta mistura é o facto de não poder ser aplicada em zonas de neve ou formação de gelo, também não deverá ser aplicada em obras de arte (exceto se estas apresentarem um bom sistema de impermeabilização). Outro inconveniente é a fraca contribuição estrutural da camada drenante (por exemplo, 0,04 m de camada drenante corresponde mais ou menos a metade da espessura de uma mistura betuminosa densa tradicional em termos de resistência) (Menezes, 2008).

O betão betuminoso drenante é uma mistura betuminosa aberta, de granulometria descontínua (Diâmetro nominal máximo do agregado entre 12mm a 20mm) e com uma espessura média de 0,04m (Jimenez, 2014a).

### **2.4.3 Macadame betuminoso**

Esta técnica é usada em camada de base e de regularização de pavimentos, com dimensão máxima do agregado de 25mm ou de 37,5 mm (Jimenez, 2014a). Em camadas de base, esta mistura apresenta espessuras entre 0,1 a 0,15m, já em camada de regularização apresenta uma espessura entre 0,06 a 0,12m. Esta é uma técnica de bastante importância para a reabilitação de camadas inferiores betuminosas.

### **2.4.4 Misturas betuminosas de alto módulo de rigidez**

Técnica aplicada em camada de base e regularização, com espessuras entre 0,07 e 0,12m para ambas as camadas. Tal como o nome indica, esta mistura apresenta um módulo de rigidez bastante alto, acima de 8000MPa, promovendo assim uma elevada resistência à deformação permanente e à fadiga. Em Portugal, não têm grande utilização prática, mas esta técnica pode ser aplicada em zonas onde existem condicionalismos da subida de cota, visto que permite a redução da camada de reforço, ou seja, é ideal para autoestradas com tráfego pesado muito intenso. As misturas betuminosas de alto módulo de rigidez não devem ser empregues em camada de desgaste porque a elevada rigidez pode levar ao fendilhamento por retração em situações de temperaturas muito reduzidas (Vicente, 2006).

## **2.5 Técnicas mais sustentáveis de reabilitação estrutural**

As técnicas mais sustentáveis de reabilitação estrutural fomentam a reutilização de material já existente num pavimento, promovendo um desenvolvimento mais sustentável. A solução encontrada pela maioria dos intervenientes no desenvolvimento de técnicas sustentáveis foi a reciclagem de pavimentos.

A reciclagem consiste então na fresagem prévia do pavimento em estudo, eliminando os problemas patológicos. No entanto, em vez de o material fresado ir parar em aterros ou outros locais de depósito de materiais, este é aproveitado parcialmente ou na totalidade, voltando a ser utilizado no pavimento reabilitado, constituindo um ciclo fechado. A Figura 11 ilustra o funcionamento/método da reabilitação de um pavimento reciclado.

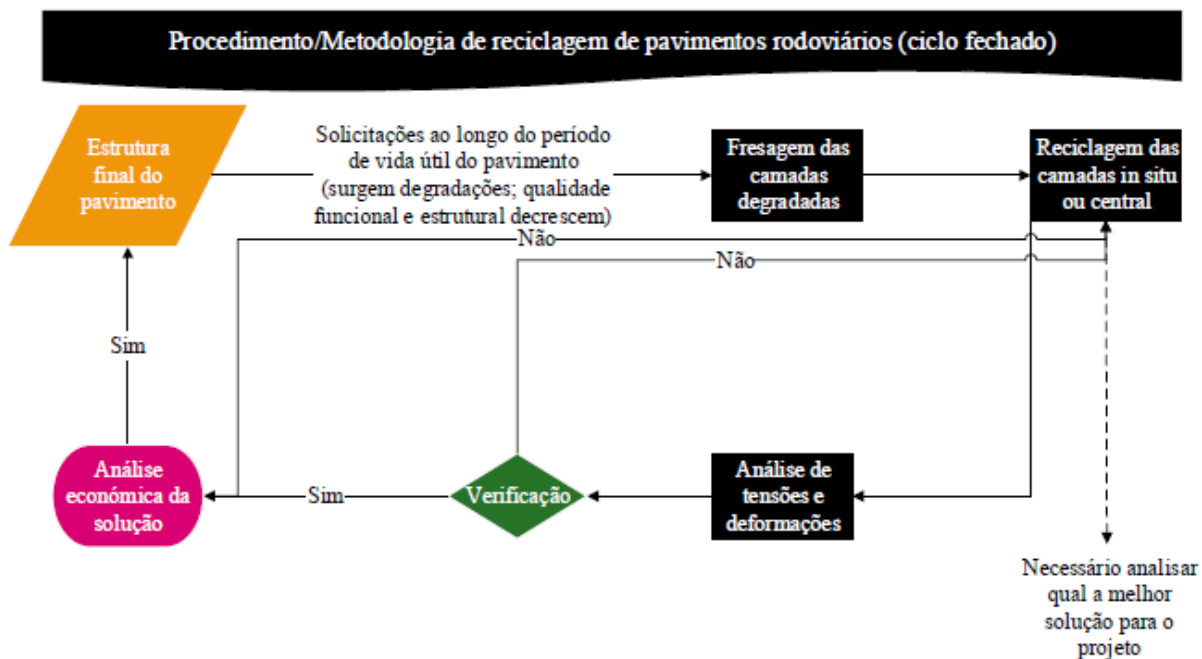


Figura 11 - Procedimento de reciclagem de pavimentos rodoviários (ciclo fechado)

Um pavimento sustentável pode ser definido como sendo seguro, eficiente, económico, ambientalmente amigável e adaptado às necessidades das gerações atuais sem comprometer as das gerações futuras (Alkins *et al.*, 2008).

Segundo Alkins *et al.* (2008) e Byrne (2005), os principais critérios para um pavimento ser considerado sustentável são:

- Otimização do uso de recursos naturais;
- Redução do consumo energético;
- Redução das emissões de gases de efeitos de estufa;
- Limitação da poluição;
- Melhoria da saúde, segurança e prevenção de riscos;
- Garantia de um elevado nível de conforto e segurança ao utilizador da estrada.

Assim, é possível dividir estes critérios em 4 benefícios essenciais:

1. Benefícios sociais;
2. Benefícios ambientais;
3. Benefícios económicos;
4. Benefícios de desempenho.

A reciclagem é mais uma opção de reabilitação de pavimentos degradados, e não deve reciclar-se simplesmente porque é um cenário ecológico, mas sim, porque é tecnicamente adequado e dela derivam vantagens económicas, tanto para empresas como para os administradores (Azevedo, 2009a). Apesar de ser enumerado um grande leque de vantagens, esta técnica também apresenta desvantagens. Uma das suas principais limitações diz respeito aos equipamentos de reciclagem, sendo que nem todas as empresas possuem de máquinas prontas para atuar.

Na reabilitação de pavimentos, aquando do estudo de dimensionamento, é necessário ter em conta o material e a técnica de pavimentação a adotar. A quantidade de material a reciclar e a técnica a utilizar, dependem do estudo de dimensionamento, que passa por determinar qual a melhor solução a aplicar a nível estrutural, através da aplicação de programas de dimensionamento de pavimentos, associando também uma vertente económica, sendo esta um fator de grande importância na tomada de decisão da solução.

As técnicas sustentáveis de reabilitação estrutural (reciclagem) mais conhecidas podem ser divididas tendo em conta o local onde será feita a reciclagem e também o tipo de reciclagem como demonstra a Tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de reciclagem (Martinho *et al.*, 2004)

Tipo de reciclagem	Localização	Material
Reciclagem a frio	<i>In situ</i>	Com cimento Com emulsão betuminosa Com betume espuma
	Central	Com emulsão betuminosa Com betume espuma
Reciclagem a quente	<i>In situ</i>	Com betume/rejuvenescedor
	Central	Com betume
Reciclagem semi-quente	Central	Com emulsão betuminosa

A reciclagem *in situ* pode realizar-se mediante a aplicação de calor às camadas betuminosas, de forma a permitir a sua desagregação, a adição de novos materiais e a mistura e homogeneização a quente de todos os materiais, ou pode ser realizada mediante a escarificação a frio das camadas do pavimento e do seu tratamento com betumes especiais, emulsões ou espuma de betume (Jimenez, 2014a). Esta reciclagem é feita no próprio local sem que seja necessário transportar o material para central e de seguida regressar à obra, por isso apresenta

mais vantagens quer do ponto de vista económico quer ambiental. Algumas das vantagens deste processo são (Martinho, 2005):

- Evita transporte de material fresado;
- Reduz degradação dos pavimentos adjacentes ao local da obra;
- Consumos energéticos mais baixos;
- Tempo de execução mais baixo;
- Maior economia.

Por outro lado, as desvantagens deste processo referem-se essencialmente ao rigor e qualidade das misturas e à dependência das condições climáticas do local em que se procede à reabilitação.

Na reciclagem em central, o material fresado é transportado para central, onde será incorporado com outros materiais podendo ser aplicado novamente na obra. Este processo apresenta um custo adicional que está relacionado com o transporte de material (obra-central-obra). Por outro lado, este custo é compensado pela qualidade e fiabilidade da mistura (Branco *et al.*, 2005). A reciclagem em central pode ser realizada a frio, a quente ou semi-quente (Jimenez, 2014a).

O fabrico de misturas betuminosas é realizado em central, podendo estas apresentar dois tipos distintos de funcionamento: i) centrais contínuas; ii) centrais descontínuas.

Nas centrais contínuas, o material fresado é misturado com os novos agregados no tambor, onde é aquecido e seco. Atualmente, a conceção mais utilizada nas centrais contínuas é por chama direta e por contacto com os agregados sobreaquecidos (Azevedo, 2009a). As centrais contínuas permitem a incorporação do material a reciclar em percentagens da ordem de 70% (Cunha, 2010).

Nas centrais descontínuas, a mistura do material fresado com os agregados novos é realizada numa unidade específica, denominada de misturador. Em central descontínua é possível incorporar material fresado a uma taxa de 10 a 50% (Cunha, 2010).



### 2.5.1 Reciclagem *in situ*, a frio, com cimento

A reciclagem *in situ* com cimento é uma técnica já utilizada em Portugal, em que inicialmente era utilizada em estradas de baixo volume de tráfego, mas com o decorrer do tempo começou-se a aplicar em estradas de volume de tráfego mais acentuado (Gomes, 2005).

A utilização desta técnica permite um aumento na capacidade de suporte do pavimento sem que se recorra a uma camada de grande espessura. É ideal para pavimentos com grande expressão de material granular, com camadas betuminosas degradadas, tornando-se num processo mais económico e um dos mais adequados. A camada reciclada com cimento resulta numa camada do tipo agregado de granulometria extensa tratada com cimento, que apresenta um módulo de elasticidade bastante elevado (5000 a 10000MPa), passando o pavimento a ser do tipo semi-rígido (Branco *et al.*, 2005). De referir que esta técnica nunca poderá ser usada em camada de desgaste devido ao facto de ser suscetível à formação de fendas de retração.

Segundo (Azevedo, 2009a), a percentagem de cimento, em relação à massa total da mistura reciclada seca é no mínimo 3,5%. A classe de resistência média do cimento deverá rondar os 32,5MPa. Cimentos de classe superior só devem ser utilizados em casos especiais (baixas temperaturas) (Cunha, 2010).

O processo de reciclagem é muito idêntico para todas as reciclagens *in situ* a frio. Numa primeira fase através da máquina recicladora é fresada a camada a tratar, sendo que a mesma tem capacidade para tratar até uma espessura de 0,3m numa única passagem. Num tambor da máquina é produzida a mistura homogénea com a granulometria pretendida através da adição de água e ligantes. Após produzida a nova mistura, esta é espalhada pelos bicos de aspersão até atingir a cota pretendida. O comboio de reciclagem que consiste na junção dos vários equipamentos que realizam sequencialmente as várias etapas, necessárias à execução da reciclagem da camada (incluindo a compactação final (Cunha, 2010)). Na Figura 12 pode-se ver alguns dos constituintes de recicladoras, neste caso da *Wirtgen*, e um exemplo do comboio de reciclagem.

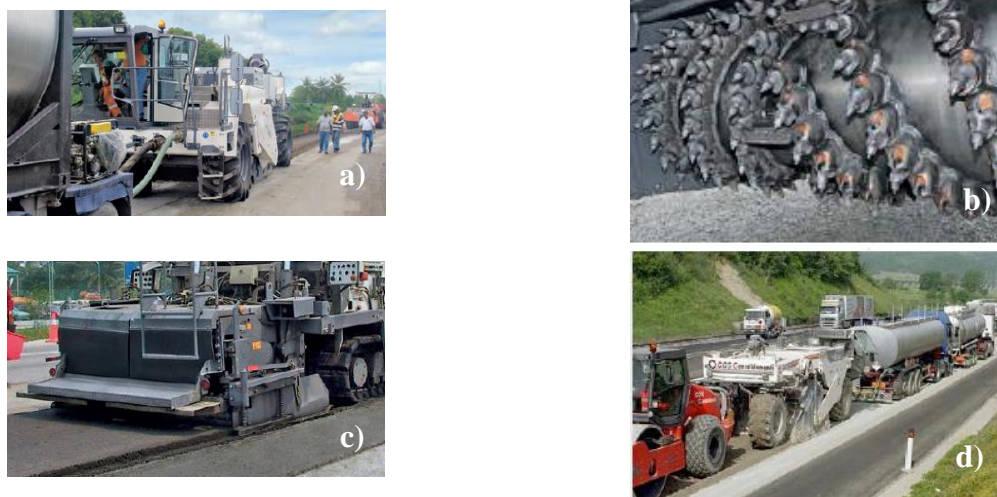


Figura 12 - Alguns constituintes das máquinas recicladoras e comboio de reciclagem:

a) Recicladora de rodas *Wirtgen WR2400*; b) Cilindro de corte da recicladora; c) Mesa de pavimentação da recicladora de rastros *Wirtgen 2200 CR*; d) Comboio de reciclagem (Wirtgen, 2012)

### 2.5.2 Reciclagem *in situ*, a frio, com emulsão betuminosa

Nesta técnica de reciclagem, o ligante a utilizar é uma emulsão betuminosa, cuja constituição varia em função das dosagens de água e betume. Para manter as partículas de betume em suspensão na água é utilizado um emulsionante. Em alguns casos, para além da emulsão betuminosa, é também adicionada uma pequena percentagem de cimento (da ordem de 1 a 2%) de modo a facilitar a rotura da emulsão, reduzir a sensibilidade à água e aumentar a coesão do material.

A mistura final é utilizada geralmente como camada de base, sendo revestida com uma camada superior betuminosa. A camada com emulsão betuminosa apresenta uma espessura da ordem de 0,075 a 0,1m (Nunes, 2008), podendo atingir os 0,12 a 0,15m (Azevedo, 2009a).

A desvantagem deste processo está nos custos porque é mais caro que o processo de reciclagem *in situ* com cimento e também depende das condições atmosféricas. Ou seja, esta técnica deve ser feita em tempo seco para permitir que a rotura da emulsão ocorra rapidamente. As vantagens são a capacidade de eliminar as fendas, impedindo a sua propagação e a manutenção da cota do pavimento (Nunes, 2008).

Quanto ao processo construtivo, este consiste basicamente na passagem do comboio, com a máquina recicladora e cisternas com emulsão e água, fresando as camadas pretendidas ao mesmo tempo que se adiciona ao material o ligante e a quantidade de água necessária para uma adequada compactação. De seguida há o espalhamento e nivelamento e por fim a compactação da camada (Nunes, 2008).

### 2.5.3 Reciclagem *in situ*, a frio, com betume-espuma

Esta técnica consiste em utilizar a espuma de betume como ligante da mistura. A espuma é constituída por uma fase dispersa, vapor de água, num líquido, o betume (Esteves, 2014). Então esta técnica é obtida quando se aquece o betume e se injeta em câmaras especiais, com uma pequena quantidade de água fria (1 a 2% do seu peso) e ar. A introdução de água e ar no betume quente na câmara de expansão promove a expansão do betume, aumentado até 30 vezes o seu volume inicial (Fonseca, 2002). Na Figura 13 demonstra-se o processo para obter a espuma de betume.

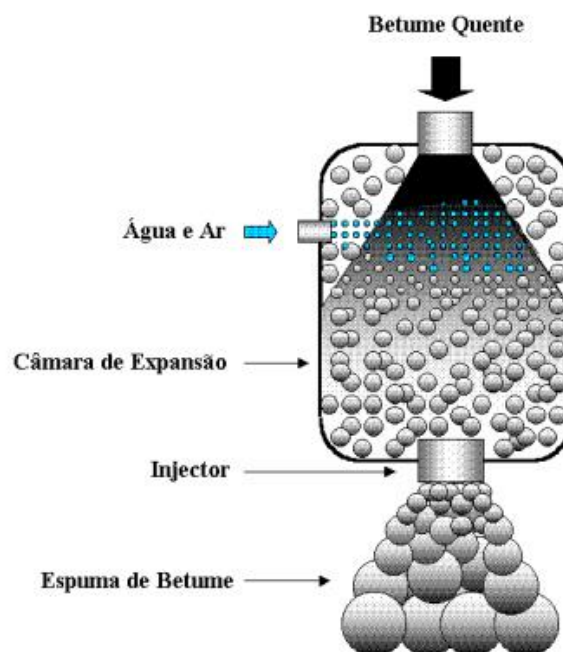


Figura 13 - Obtenção da espuma de betume (Nunes, 2008)

Logo após a formação da espuma de betume é necessário acrescentar o material fresado. A espuma vai envolver os finos formando uma espécie de argamassa, que efetivamente aglutina o material reciclado, apresentando não a cor preta comum das misturas betuminosas.

O processo de aplicação só difere na cisterna do ligante, ou seja, é necessário a cisterna de água e outra de betume. Sendo o betume quente bombeado até à recicladora onde é adicionado à água e envolvido no material existente e *a posteriori* aplicado no pavimento (Figura 14).

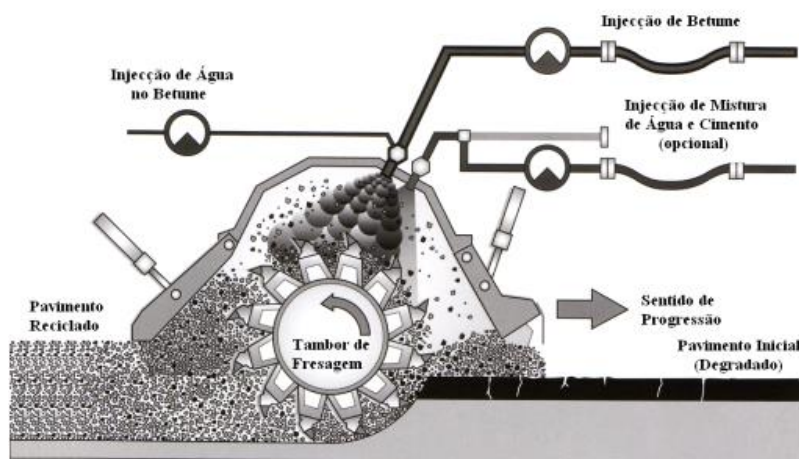


Figura 14 - Processo de aplicação da camada de betume-espuma (Teixeira, 2006)

#### 2.5.4 Reciclagem *in situ*, a quente, com betume

Esta técnica *in situ* a quente, ao contrário das outras abordadas, difere no ligante, que é aquecido. É uma técnica usada na camada de desgaste de um pavimento, por isso além de melhorar a qualidade estrutural (capacidade de suporte de um pavimento), também permite reabilitar a nível funcional.

Quanto ao ligante, para a reciclagem *in situ* a quente pode também ser utilizado um produto rejuvenescedor. Este rejuvenescedor comporta os componentes do betume que se perderam devido ao envelhecimento, devolvendo as características anteriormente perdidas. A quantidade de rejuvenescedor aplicado depende da composição do betume envelhecido.

Neste tipo de reciclagem *in situ* existem dois processos de aplicação: a termo-regeneração e a termo-reperfilagem. A termo-regeneração consiste no aquecimento das camadas betuminosas, a sua escarificação, recomposição, nivelamento e compactação em nova camada. A termo-reperfilagem consiste no aquecimento do pavimento, seguido da sua compactação, tendo por objetivo selar as fendas existentes e repor o perfil longitudinal (Baptista, 2006).

O comboio de reciclagem neste processo é mais complexo. Um dos equipamentos apresenta painéis radiantes, que no local elevam a temperatura da superfície do pavimento facilitando a desagregação do material pelo escarificador (Cunha, 2010). Depois de fresado, é misturado num aquecedor-misturador, adicionando o rejuvenescedor e eventual material novo (agregados para corrigir a composição). Acabando no fim por ser espalhado por uma pavimentadora e compactado pelos cilindros. A Figura 15 apresenta os equipamentos e funcionamento desta técnica de reciclagem.

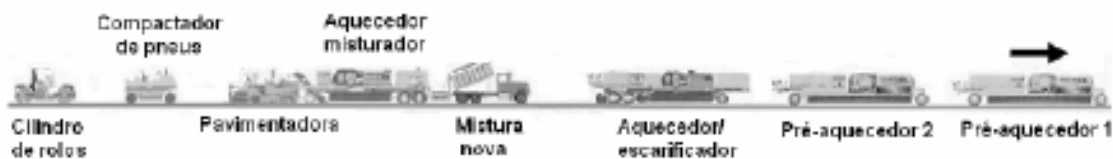


Figura 15 - Funcionamento da reciclagem *in situ*, a quente, com betume (Branco *et al.*, 2005)

### 2.5.5 Reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa

O material fresado em obra é transportado para central e este é misturado, à temperatura ambiente, com a emulsão betuminosa e de seguida transportado novamente para a obra. Tal como na reciclagem *in situ*, existem limitações devidos às condições ambientais, que influenciam o período de cura. Tal como referido, este processo não é habitualmente usado porque a solução *in situ* apresenta custos mais baratos.

Na Figura 16, representa-se esquematicamente o processo de reciclagem em central a frio com emulsão betuminosa.

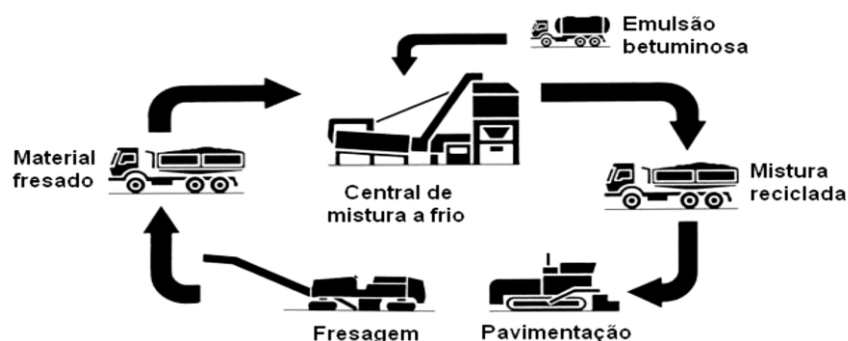


Figura 16 - Processo de reciclagem em central a frio com emulsão betuminosa (Batista, 2004)

### 2.5.6 Reciclagem em central, a frio, com betume-espuma

Esta técnica é idêntica à anterior, diferindo apenas no ligante utilizado. O betume-espuma resulta, tal como na reciclagem *in situ*, de betume aquecido misturado com água e ar, que promovem a formação de espuma, sendo este depois misturado ao material proveniente da obra.

Na Figura 17 apresenta-se esquematizado o processo de reciclagem em central a frio com betume-espuma.

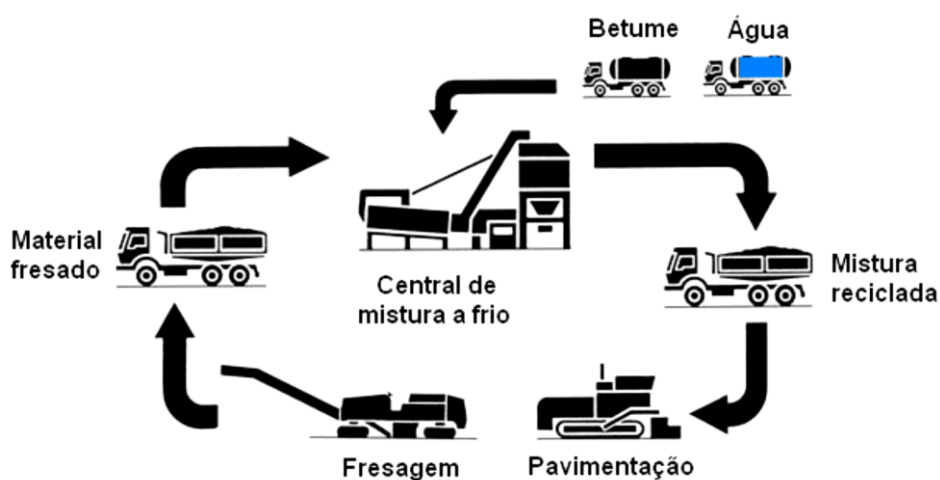


Figura 17 - Processo de reciclagem em central a frio com betume-espuma (Batista, 2004)

### 2.5.7 Reciclagem em central, a quente, com betume

No fabrico de misturas betuminosas a quente em central, um dos aspetos primordiais prende-se com a requalificação do betume existente na mistura recuperada (Costa e Diogo, 2013). Para tal, são adicionados novos materiais corretivos, betume e agregado para aumentar a qualidade do material já existente e também o desempenho do “novo” pavimento. A percentagem de materiais a reciclar rondam os 20 a 50% e os betumes utilizados são geralmente menos duros (Azevedo, 2009a). Na Figura 18 apresenta-se de forma esquemática o processo de fabrico da mistura betuminosa reciclada a quente e a sua aplicação no pavimento reabilitado.



Figura 18 - Processo de reciclagem em central a quente com betume (Baptista, 2006)

Uma das principais vantagens é a economia nos materiais, no caso principal do betume, visto que provém do petróleo e é o componente mais caro, e esta técnica reduz a quantidade de betume adicionado segundo (Branco *et al.*, 2005) a reciclagem a quente em central apresenta características mecânicas semelhantes às misturas tradicionais, não baixando assim a sua resistência.

### 2.5.8 Reciclagem em central semi-quente

Esta técnica não é muito utilizada em Portugal e poucas obras têm a intervenção através desta técnica. Uma das obras é a da reabilitação do pavimento da estrada nacional que liga Ponte de Sôr a Gavião (Cordeiro, 2009).

Tal como nas outras técnicas em central, o material é fresado a frio e transportado para a central, sendo depois misturado com uma emulsão betuminosa modificada. A emulsão betuminosa permite assim um bom envolvimento, eliminando os problemas de sobreaquecimento inerentes à reciclagem a quente, bem como uma melhor compactação que a obtida na reciclagem a frio (Jimenez, 2014a), sendo também possível reciclar a totalidade do material fresado. Na Figura 19 apresenta-se de forma esquemática o processo produtivo utilizado.



Figura 19 - Processo de reciclagem em central semi-quente (Baptista, 2006)

### 2.5.9 Vantagens e desvantagens dos tipos de reciclagem

Em forma de resumo, não existe uma solução ideal para determinar qual o tipo de reciclagem a adotar. Todas as técnicas de reabilitação apresentam vantagens e desvantagens na sua utilização. Para tal, além de saber o funcionamento de cada técnica, também é necessário realizar um estudo que permita selecionar qual a opção mais viável em projeto, tendo em conta fatores ambientais, económicos e a disponibilidade de materiais. Na Tabela 10, apresenta-se resumidamente as principais vantagens e desvantagens das diferentes técnicas de reciclagem abordadas. Na Tabela 11, é possível também analisar as diferentes vantagens e desvantagens dos ligantes de cada técnica de reabilitação.



Tabela 10 - Vantagens e desvantagens das técnicas de reciclagem (Cunha, 2010)

<b>Técnicas de Reciclagem</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	
<b>Reciclagem <i>in situ</i></b>	a frio	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Possibilidade de incorporação de 100% do material fresado;</li> <li>ii. Dispensa zonas de vazadouro;</li> <li>iii. Menor consumo de energia;</li> <li>iv. As novas misturas podem ser empregues em camadas de base;</li> <li>v. Aumenta a capacidade estrutural do pavimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Não apresenta o mesmo rigor ao longo da obra;</li> <li>ii. Qualidade do trabalho afetada pelas condições locais;</li> <li>iii. Dependente das condições climáticas;</li> <li>iv. Interferência com o tráfego;</li> <li>v. Necessita de uma camada de sobreposição.</li> </ul>
	a quente	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Possibilidade de incorporação de 100% do material fresado;</li> <li>ii. Dispensa zonas de vazadouro;</li> <li>iii. Melhora as características funcionais do pavimento;</li> <li>iv. Diminui a permeabilidade do pavimento à água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Não pode ser utilizado quando existem problemas estruturais do pavimento;</li> <li>ii. Elevado consumo de energia;</li> <li>iii. Emissão de substâncias poluentes para a atmosfera;</li> <li>iv. Equipamento de reciclagem muito complexo.</li> </ul>
<b>Reciclagem em central</b>	a frio	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. As novas misturas podem ser empregues em camadas de base;</li> <li>ii. Aumenta a capacidade estrutural do pavimento;</li> <li>iii. A qualidade da mistura não é afetada por fatores climáticos;</li> <li>iv. Maior controlo da qualidade das misturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Necessidade de transportar o material fresado até à central;</li> <li>ii. Impossibilidade de incorporar 100% do material</li> <li>iii. Necessita de zonas de vazadouro;</li> <li>iv. Necessita de camada de sobreposição.</li> </ul>
	a quente	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. A qualidade da mistura não é afetada por fatores climáticos;</li> <li>ii. Maior controlo da qualidade das misturas obtidas;</li> <li>iii. As novas misturas podem ser empregues em camadas de base, regularização e de desgaste;</li> <li>iv. As misturas obtidas são comparadas qualitativamente às misturas novas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Necessidade de transportar o material fresado até à central;</li> <li>ii. Necessita de zonas de vazadouro</li> <li>iii. Maior consumo energético;</li> <li>iv. Emissão de substâncias para a atmosfera;</li> <li>v. Custos mais elevados.</li> </ul>
	semi-quente	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Possibilidade de incorporação de 100% do material fresado;</li> <li>ii. A qualidade da mistura não é afetada por fatores climáticos;</li> <li>iii. Maior controlo da qualidade das misturas obtidas;</li> <li>iv. Menor consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Necessidade de transportar o material fresado até à central;</li> <li>ii. Técnica pouco desenvolvida;</li> <li>iii. Não são conhecidas as reais características de desempenho das misturas</li> </ul>

Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos ligantes em reciclagem a frio (Cunha, 2010)

<b>Ligante</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Cimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Facilidade de aplicação;</li> <li>ii. Confere elevada rigidez à camada;</li> <li>iii. Geralmente mais barato que o betume e emulsão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Fendilhamento da camada;</li> <li>ii. Pouca flexibilidade e dificuldades de adaptar-se a irregularidades da camada inferior.</li> </ul>
<b>Emulsão betuminosa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Facilidade de aplicação, a emulsão é diretamente pulverizada na câmara de mistura da máquina recicladora;</li> <li>ii. O tratamento com emulsão produz uma camada flexível e resistente à fadiga;</li> <li>iii. Aumento da resistência da camada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Normalmente mais caro que o cimento e que a espuma de betume</li> <li>ii. Maior sensibilidade às condições climáticas;</li> <li>iii. O grau de saturação do material é por vezes tão elevado que fica saturado com emulsão.</li> </ul>
<b>Cimento + Emulsão betuminosa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Processo de cura é mais rápido;</li> <li>ii. Menor sensibilidade à água;</li> <li>iii. Não existe propensão para fendilhamento por retração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Mais caro que o cimento e que a emulsão;</li> <li>ii. Ao entrar em contato com o cimento pode dar-se a rutura prematura da emulsão.</li> </ul>
<b>Espuma de betume</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Resulta uma camada flexível com boa resistência à fadiga;</li> <li>ii. Não existe propensão para fendilhamento da camada por retração;</li> <li>iii. Permite uma abertura imediata ao tráfego após a compactação;</li> <li>iv. Geralmente mais barato que o cimento e/ou emulsão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Necessidade de aquecer o betume a 180°C;</li> <li>ii. Material com menos de 5% de finos não pode ser utilizado.</li> </ul>

### 3 CASO DE ESTUDO E METODOLOGIAS UTILIZADAS

#### 3.1 Introdução

O presente caso de estudo incluiu a avaliação de diferentes técnicas de reabilitação aplicadas a estradas de baixo volume de tráfego. Assim, para poder comparar as soluções em termos económicos e técnicos (qualidade funcional e estrutural), foi necessário realizar um estudo específico para o dimensionamento dos pavimentos em análise. O dimensionamento tem em conta uma técnica de reabilitação tradicional (solução definida em projeto que será aplicado em obra) e uma técnica mais sustentável. Este trabalho incluiu o estudo de três estradas, localizadas no distrito de Viana do Castelo, mais propriamente:

- Avenida do Atlântico (acesso à Amorosa);
- EN 302 (ligação Perre-Outeiro);
- EN 302-1 (ligação Santa Marta-Perre)

Todas as estradas apresentam um perfil transversal tipo de 1 faixa de rodagem com 1 via por sentido. O troço da Avenida do Atlântico em estudo tem uma extensão de 956m, o troço da estrada EN302 tem uma extensão de 5989m e o troço da EN302-1 tem uma extensão de 1939m. Nas Figuras 20,21 e 22 apresenta-se a localização e extensão das obras em estudo.

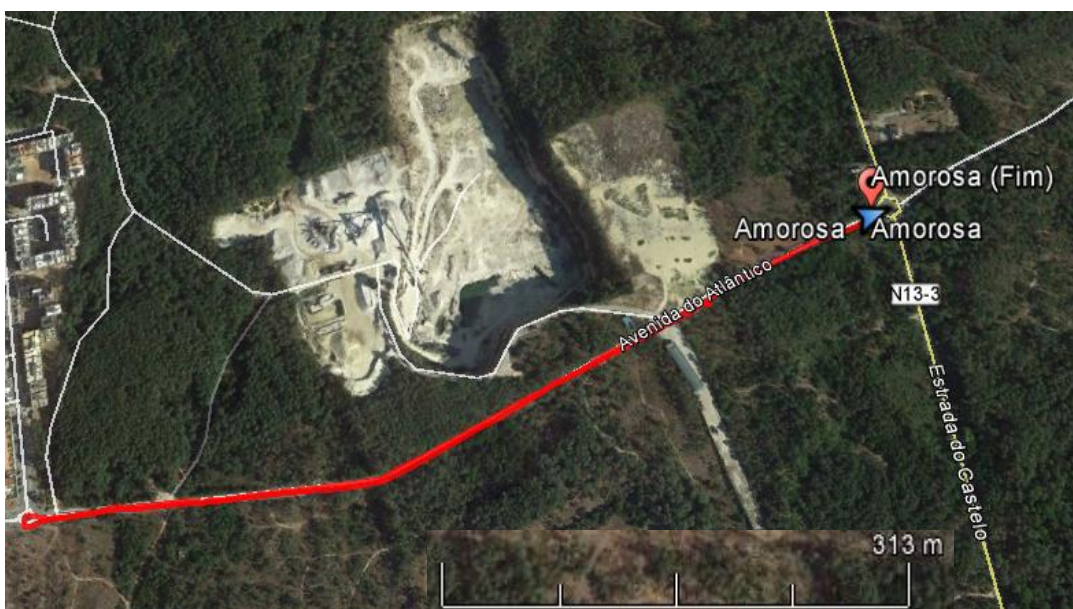


Figura 20 - Localização do troço da Avenida do Atlântico (acesso à Amorosa) em estudo



Figura 21 - Localização do troço da EN302 em estudo



Figura 22 - Localização do troço da Avenida da EN302-1 em estudo

No presente trabalho pretende realizar-se um estudo alternativo às soluções tradicionais propostas em projeto para a reabilitação dos pavimentos das referidas estradas, de modo a avaliar a viabilidade da utilização de técnicas construtivas mais sustentáveis. Deste modo, foi necessário definir um conjunto de procedimentos que permitiram caracterizar os pavimentos existentes e dimensionar as soluções de reabilitação.

As soluções tradicionais previstas foram definidas tendo em conta o tipo de tráfego que solicita cada uma das estradas. Assim, na Avenida do Atlântico (acesso à Amorosa) a reabilitação prevista para o pavimento inclui a fresagem da espessura betuminosa existente e a colocação de duas novas camadas, uma vez que essa estrada serve de acesso a uma Pedreira existente no local. Relativamente aos pavimentos das outras duas estradas, a solução tradicional prevê apenas a fresagem das zonas mais degradadas e a reposição com nova mistura betuminosa, sobreposta por uma aplicação de microaglomerado betuminoso a frio em toda a extensão.

## **3.2 Metodologias de ensaio e avaliação utilizadas**

Nesta secção serão descritos os métodos de ensaio e de avaliação aplicados no caso de estudo para a recolha e análise da informação que será utilizada para obter as conclusões apresentadas mais adiante. Todos os métodos descritos neste capítulo foram aplicados nas três estradas em estudo.

### **3.2.1 Análise do tráfego**

Para realizar a análise do tráfego que solicita um pavimento de uma determinada estrada é necessário definir um ponto de referência, e a partir desse ponto recolher os dados de tráfego durante um período de tempo (geralmente hora de ponta). Para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas é considerado o tráfego de veículos pesados. Um veículo pesado apresenta um peso bruto igual ou superior a 3t, compreendendo autocarros, camiões com ou sem reboque ou semi-reboque (JAE, 1995).

Neste trabalho determinou-se um tráfego médio diário de veículos pesados durante a semana, ou seja, de segunda a domingo, tendo em conta as contagens realizadas separadamente para dias da semana e fins de semana. De acordo com a metodologia utilizada foi possível dividir o tráfego tendo em conta a sua classe e peso bruto, tendo sido considerados os seguintes valores

para os respetivos pesos brutos: 17ton (autocarro), 19ton (camiões – classe F1) e 26ton (camiões – classe F2). Com base nos valores definidos e no peso por eixo de cada classe de veículo foi determinada a agressividade de cada tipo de veículo e posteriormente do conjunto dos veículos, tendo em consideração a frequência de passagem de cada tipo de veículo. A agressividade média do tráfego foi considerada como o Fator Camião que permite estimar o número de eixos padrão equivalentes.

Tendo em conta o tipo de estradas em análise, foi considerada uma taxa de crescimento do tráfego média de 2% para o período de dimensionamento de 20 anos (período de vida útil habitualmente considerado para um pavimento flexível). Desta forma, após a obtenção do número de veículos pesados que solicitam os pavimentos em estudo no presente, foi possível determinar o número acumulado de eixos padrão de 80 kN (NAEP<sub>80kN</sub>) para o período de dimensionamento, tendo este sido considerado como o tráfego de projeto.

### **3.2.2 Avaliação do estado superficial do pavimento**

Este ensaio consiste em analisar as degradações (patologias) visíveis na superfície de um pavimento. Para reduzir a subjetividade deste tipo de avaliação, os procedimentos utilizados seguem o estipulado no Catálogo de Degradações referido no Capítulo 2.2.2., o qual pretende tipificar e apoiar na tomada de decisão acerca das patologias encontradas ao longo da estrada.

Uma possibilidade para a avaliação do estado superficial consiste em percorrer a estrada a pé desde o ponto de origem e registar as patologias encontradas no pavimento, tendo em conta a sua extensão e o grau de degradação, realizando o seu registo associado à sua posição/distância à origem. Assim, neste trabalho recorreu-se a um distanciómetro manual para determinar a posição e a extensão das degradações. De referir que a técnica foi utilizada em todas as estradas em estudo. Na Figura 23 apresenta-se o distanciómetro e um exemplo de uma patologia encontrada.



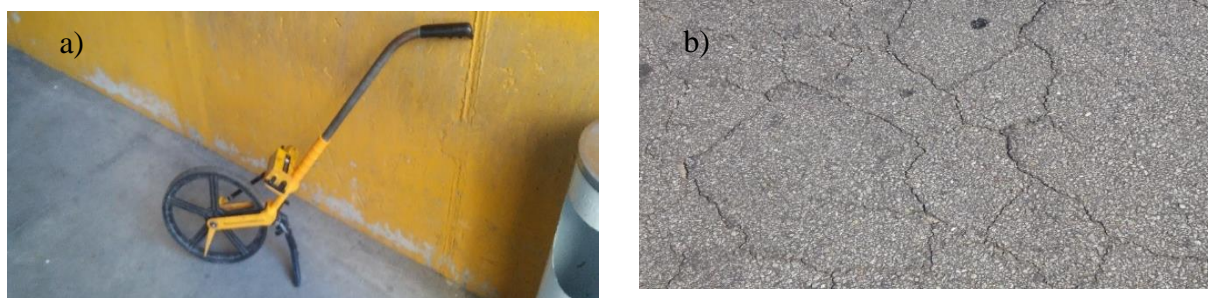


Figura 23 - Avaliação do estado superficial; a) distanciômetro manual; b) Exemplo de uma patologia registada (pele de crocodilo)

Com a informação recolhida foi possível criar tabelas de patologias e analisar o estado superficial sob a forma de gráficos com o tipo de degradação (nível) em função da distância, que em conjunto com os resultados do ensaio de defletómetro de impacto permite definir quais os locais a necessitar de uma reabilitação mais exigente.

### 3.2.3 Ensaio de capacidade de carga com Defletómetro de Impacto (FWD)

O defletómetro de impacto é um equipamento destinado à realização de ensaios de capacidade de carga em pavimentos de estradas e de aeroportos que consistem na aplicação, à superfície, de uma força de impulso gerada pela queda de uma massa de determinada altura sobre um conjunto de amortecedores, e na medição das deflexões daí resultantes na referida superfície (Antunes *et al.*, 2004).

Para este ensaio utilizou-se o equipamento *DYNATEST 8000* (Figura 24), que pertence ao Laboratório de Pavimentos Rodoviários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.



Figura 24 - Defletómetro de Impacto da Universidade do Minho, DYNATEST 8000 (Magalhães, 2015)

Este equipamento é composto por 9 geofones, sendo que o primeiro geofone se localiza no centro da placa e os restantes à distância de 0,3m, 0,45m, 0,6m, 0,9m, 1,2m, 1,5m, 1,8m e 2,1m. A placa onde é provocado o impacto tem um diâmetro de 150mm. O impacto produz um impulso dinâmico no pavimento que simula a ação de uma carga rolante e permite a determinação da deflexão para uma carga controlada, a rondar os 65kN, sendo que as cargas que não compreendem este valor serão transformadas para a carga de 65kN. O ensaio realizou-se preferencialmente de 100 em 100m, podendo em alguns casos ter registos intercalados devido ao estado do pavimento ou para permitir parar o veículo em segurança para a realização do ensaio (nomeadamente nas situações em que o ponto de ensaio se situava a seguir a uma curva de visibilidade reduzida). Também de referir que o ensaio foi aplicado nas duas vias da estrada em estudo.

Após a recolha da informação, esta será disposta numa tabela em que se organiza por ordem crescente (relativamente à distância percorrida), permitindo determinar a extensão dos sub-trechos homogêneos da obra e qual o sub-trecho representativo da obra.

Primeiramente, para determinar os sub-trechos é necessário utilizar o método das diferenças acumuladas preconizado pelo método da AASHTO (ARA, 2004). Após definidos os sub-trechos é necessário definir o ponto representativo que melhor representa o pavimento da obra (tendo em conta a extensão do sub-trecho e o valor da deflexão característica, recorrendo ao percentil 85 das deflexões máximas medidas em cada trecho, que significa que em 85% das vezes as deflexões têm valor igual ou inferior ao registado obtido). Uma vez definido o sub-trecho representativo faz-se a seleção do ponto cujos valores de deflexão se assemelham dos valores característicos. Esse ponto é utilizado na determinação do modelo estrutural do pavimento que serve de base ao dimensionamento da reabilitação.

### **3.2.4 Abertura de poços de sondagem**

O estudo da reabilitação de pavimentos pressupõe a caracterização do pavimento existente. Assim, é essencial determinar a constituição e as espessuras das diversas camadas que compõem o pavimento. Essa caracterização é normalmente realizada pela abertura de poços de sondagem (consistindo num ensaio destrutivo do pavimento), em que se remove o material de cada camada de forma sequencial, medindo a respetiva espessura, e se obtém as necessárias amostras para caracterizações laboratoriais complementares.



A abertura de poços de sondagem permite ainda a realização de ensaios mecânicos *in situ* para caracterização da capacidade de carga do solo de fundação. Neste estudo foi realizado o ensaio de deflexão com o defletómetro de impacto ligeiro LFWD (*Light Failling Weight Deflectometer*), o qual permite obter o módulo de deformabilidade do solo.

O número de poços de sondagem foi definido em função da extensão do troço de cada estrada e dos resultados de deflexão referidos no subcapítulo 3.2.2. Assim, no acesso à Amorosa foram realizados dois poços de sondagem. O primeiro poço foi realizado à distância de 100m da origem do troço e o segundo à distância de 800m, no sentido de aproximação à Amorosa. Na EN302 foram realizados quatro poços: o primeiro à distância de 144m da origem, no sentido Outeiro – Perre; o segundo à distância de 1600m da origem, no sentido Perre – Outeiro; o terceiro poço encontra-se a 4400m da origem, no sentido Perre-Outeiro e; o último poço encontra-se a 5900m da origem, no sentido Outeiro-Perre. Na EN302-1 foram realizados dois poços: o primeiro à distância de 97 do ponto de origem (no sentido Santa Marta-Perre) e o segundo à distância de 1198m da origem, no sentido Santa Marta-Perre. Na Figura 25 é possível ver um exemplo de um dos poços abertos no presente trabalho e a realização de um ensaio de capacidade de carga para determinar o módulo de deformabilidade da fundação.



Figura 25 - Exemplo da abertura de poço e realização de ensaio de capacidade de carga

### 3.2.5 Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento

Tendo realizado todos os ensaios acima referidos, é possível realizar a reabilitação do pavimento de forma a garantir a qualidade estrutural e funcional do mesmo. Para estudar a técnica (ou as técnicas) de reabilitação a utilizar é necessário após definir os sub-trechos, bem como as estruturas de cada sub-trecho determinar qual o real comportamento do pavimento. Para tal, recorre-se a ferramentas/*software* informático que permitem, por análise inversa, calcular o módulo de deformabilidade das camadas, tendo por base a espessura real das

camadas. O *software* utilizado neste processo foi o *JPavBack*, desenvolvido pelo professor Jorge Pais, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

O programa permite comparar os resultados da bacia de deflexão referentes ao ensaio de defletómetro de impacto com os resultados da modelação de um ensaio realizado num pavimento teórico, no qual se definem as espessuras das camadas, o coeficiente de *Poisson* e módulo das camadas. Introduzindo estes dados no programa, este apresenta a resposta (bacia de deflexão teórica) do modelo e, através de um processo iterativo, por análise inversa, obtém-se módulos de rigidez/deformabilidade das diversas camadas.

Após a obtenção do modelo teórico que representa o pavimento em estudo é necessário determinar a melhor solução de reabilitação para cada estrada. No presente trabalho foi analisada uma solução tradicional e propôs-se uma solução alternativa (com reciclagem do pavimento existente) tendo posteriormente sido comparadas as duas soluções.

Tendo por base os valores de tráfego de projeto (determinados de acordo com a metodologia apresentada no Subcapítulo 3.2.1), determinou-se o valor admissível dos dois critérios de dimensionamento tradicionalmente utilizados para os pavimentos flexíveis (extensão horizontal de tração na base das camadas ligadas e extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação) de acordo com as leis de fadiga preconizadas no método da *Shell* (Shell, 1978).

Para o dimensionamento das soluções de reabilitação recorreu-se a um programa/*software* denominado de *JPav*, desenvolvido pelo professor Jorge Pais, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. À semelhança do *JPavBack*, este programa permite calcular a resposta de um sistema multiestratificado à aplicação de uma determinada carga e, desta forma, é possível estimar o valor das extensões instaladas num determinado ponto de um modelo de pavimento, de modo a compará-lo com o valor admissível obtido pelas leis de fadiga acima referidas. O dimensionamento de um pavimento pode ser considerado válido quando o valor das deflexões estimadas for inferior ao valor admissível.

A última etapa do dimensionamento de um pavimento consiste em fazer uma análise económica. Tendo em conta a localização e as soluções de reabilitação de cada pavimento, é possível calcular os custos da reabilitação de um pavimento, tendo em conta o tipo de material, o custo de produção, o custo de aplicação e também o transporte de materiais. Esta análise irá

determinar a viabilidade da solução e permite também fazer uma comparação entre as soluções, ajudando na tomada de decisão.

De forma a determinar os custos unitários dos materiais das camadas betuminosas recorreu-se ao apoio de dados fornecidos por empresas com vastos trabalhos em vias de comunicação da região norte do país. Os dados fornecidos tiveram em conta, tal como referido diversos fatores:

- Custo de aquisição/produção do material;
- Custo de aplicação em obra do material (tendo em conta o equipamento utilizado);
- Fresagem das camadas;
- O transporte do material da obra para central e vice-versa representa os custos da utilização do veículo de transporte.

Estes custos unitários foram aplicados tendo em conta as áreas a intervir nos três casos e sabendo as técnicas utilizadas. A Tabela 12 apresenta os custos unitários dos materiais que serviram de apoio para o cálculo dos custos finais de cada estrada.

Tabela 12 - Custos unitários dos materiais

<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>Custo unitário (€/m<sup>2</sup>)</b>
AC14surf	0,03	5,06
	0,04	6,04
	0,05	7,01
	0,06	7,98
	0,08	9,93
AC20reg	0,05	7,19
	0,06	8,07
	0,08	9,83
Mistura betuminosa reciclada, a frio, <i>in situ</i> , com betume-espuma	0,11	10,29
Microaglomerado betuminoso, a frio, <i>in situ</i>	0,01	3,48
Mistura betuminosa reciclada a frio, <i>in situ</i> , com emulsão betuminosa	0,06	5,33
	0,08	6,68
	0,12	10,30
	0,15	12,88
AC10surf	0,02	2,30
	0,04	1,38
Fresagem	0,06	1,54
	0,07	1,64
	0,08	1,92



## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados da análise do tráfego

Recorrendo à metodologia apresentada no Subcapítulo 3.2.1., foi possível determinar o número de veículos pesados que circulam em cada uma das estradas. Na Tabela 13 apresenta-se os dados recolhidos em obra através da visualização da passagem de veículos.

Tabela 13 - Resultados da contagem de tráfego

Por dia, de segunda a sexta-feira				
Estrada	Nº de autocarros	Carga (ton)	Nº camiões	Carga (ton)
EN302	12	17	20	19
EN302-1	19	17	20	19
Amorosa	4	17	50	26
Sábados				
Estrada	Nº de autocarros	Carga (ton)	Nº camiões	Carga (ton)
EN302	5	17	5	19
EN302-1	7	17	10	19
Amorosa	4	17	15	26
Domingos				
Estrada	Nº de autocarros	Carga (ton)	Nº camiões	Carga (ton)
EN302	5	17	0	19
EN302-1	2	17	0	19
Amorosa	4	17	0	26

Após a recolha dos dados, a informação foi tratada e foi estimado o tráfego de projeto de acordo com o método anteriormente apresentado. Para isso teve-se em consideração o número médio de veículos de cada tipo que solicita os pavimentos em estudo e os respetivos fatores de agressividade, bem como a taxa de crescimento estimada para o período em análise, de modo a obter o número acumulado de eixos padrão (NAEP).

Os resultados finais obtidos para as diferentes estradas em estudo apresentam-se na Tabela 14, tendo em conta as contagens de tráfego realizadas.

Tabela 14 - Resultados finais da análise de tráfego

Obra	NVP (2016)	NAVP (2016-2036)	NAEP (2016-2036)
<b>Amorosa</b>	21	186239	676884
<b>EN302</b>	13	110857	104997
<b>EN302-1</b>	16	137462	125197

O objetivo desta análise de tráfego é determinar o NAEP (2016-2036), presente na Tabela 14 que permite tal como referido dimensionar a reabilitação do pavimento. Como se comprova pela análise dos resultados, estas estradas são consideradas de baixo volume de tráfego porque o TMDA é inferior a 50 veículos pesados, conforme se conclui da análise da Tabela 2, em que refere que no caso de pavimento em que o tráfego seja inferior a 50 veículos pesados é necessário recorrer a um estudo específico.

Não havendo uma estrutura específica dada pelo MACOPAV para tráfegos inferiores a 50 veículos pesados por dia e por sentido, os valores mínimos preconizados nesse manual para a espessura da camada betuminosa permitem estabelecer uma referência no que seria espectável obter para um pavimento com uma ou duas camadas granulares, conforme se apresenta na Figura 26 para uma classe de fundação F3.

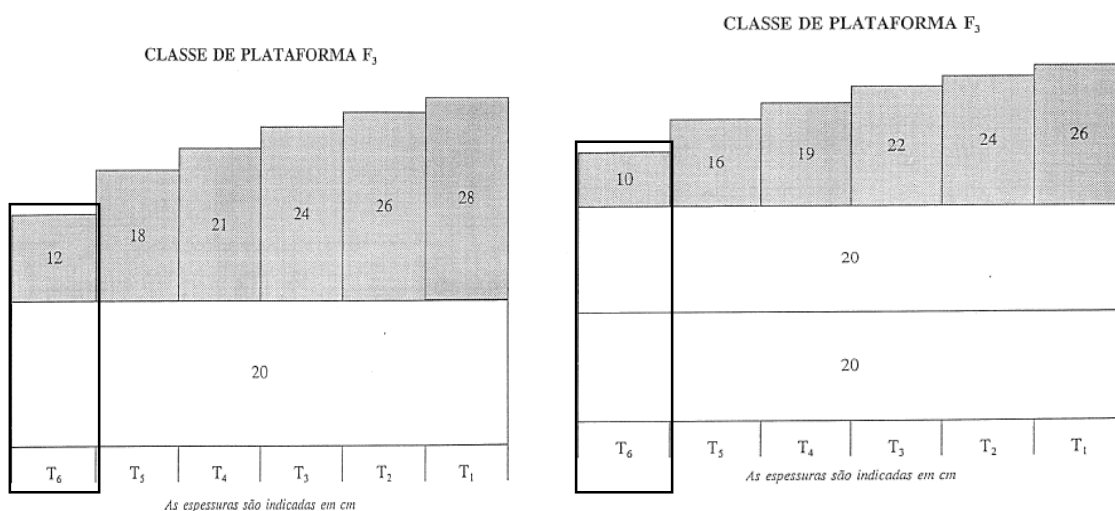


Figura 26 - Estruturas do MACOPAV (JAE, 1995)

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se os resultados obtidos na avaliação do estado superficial e nos ensaios de capacidade de carga, que permitiram definir os sub-trechos de comportamento homogêneo, bem como o resultado do dimensionamento das soluções de reabilitação e a análise económica realizada para cada pavimento em estudo.

## 4.2 Avenida do Atlântico – Acesso à Amorosa

### 4.2.1 Avaliação do Estado Superficial

O levantamento patológico tem elevada importância porque permite com a ajuda do ensaio de deflexões determinar quais as zonas a intervir no pavimento rodoviário. No presente trabalho definiram-se três zonas do perfil transversal onde se observaram as patologias: eixo da faixa de rodagem; via direita e via esquerda. No anexo I apresenta-se os resultados da observação visual do estado superficial do pavimento para cada uma das zonas. Esta informação é essencial para se poder identificar as áreas a intervir, sendo que no caso do acesso à Amorosa a intervenção será feita em toda a largura e extensão da obra devido ao facto de o pavimento se encontrar bastante degradado em toda a sua extensão.

As patologias foram definidas tendo em conta o seu tipo, extensão e nível. Ou seja, a classificação de nível baseia-se no catálogo de degradações dos pavimentos em que estas se classificam entre nível 1 a 3 (número mais elevado corresponde a maior degradação). No caso da pele de crocodilo, esta classifica-se entre nível 4 a 6 porque resultam geralmente da evolução de outra patologias.

Nesta estrada foram encontradas diversas patologias, sendo que as mais predominantes no pavimento e que causam mais impacto visual foram: a pele de crocodilo de diferentes tipos, desagregações superficiais e deformações localizadas. Outras patologias, como ninhos, covas, remendos e peladas foram registadas, mas não têm grande influência como as patologias que foram inicialmente determinadas. De forma a facilitar a interpretação, na Tabela 15 apresenta-se as principais patologias (predominantes) com o respetivo nível de degradação e extensão.

Tabela 15 - Principais patologias e suas extensões Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa

<b>Patologia</b>	<b>Nível</b>	<b>Extensão (m)</b>
Pele de crocodilo	4	153
	5	283
	6	847
Desagregações superficiais	1	54
	2	847
	3	234
Deformações localizadas	1	4
	2	123
	3	0

Grande parte das patologias evoluíram para um estado de pele de crocodilo como é possível observar na Tabela 15, em que há uma grande extensão desta patologia. Com a abertura de um número elevado de fendas, o que promoveu a existência de outras patologias e o agravamento das mesmas.

De forma a determinar o desenvolvimento das patologias ao longo da estrada, elaborou-se gráficos com o registo das patologias tendo em conta o seu nível de degradação e extensão em três zonas da estrada. A figura 27, 28 e 29, apresenta as patologias nas diferentes zonas do pavimento.

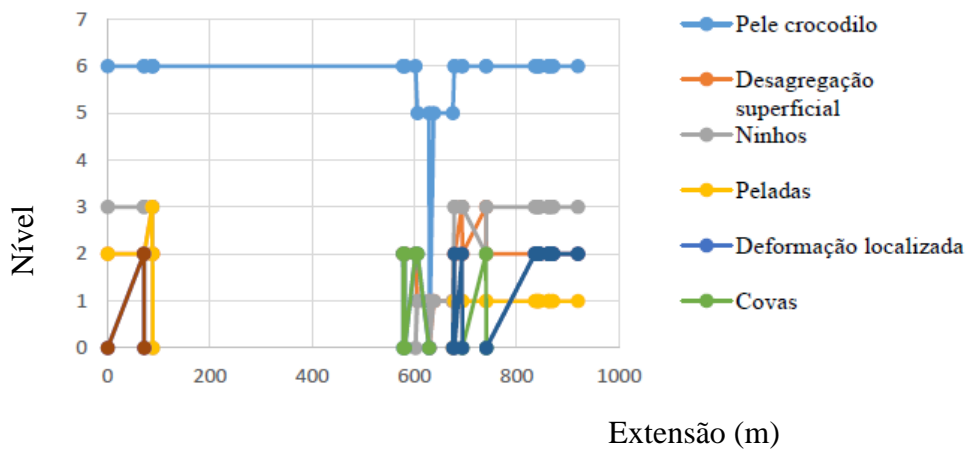


Figura 27 - Patologias no eixo da faixa de rodagem Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa

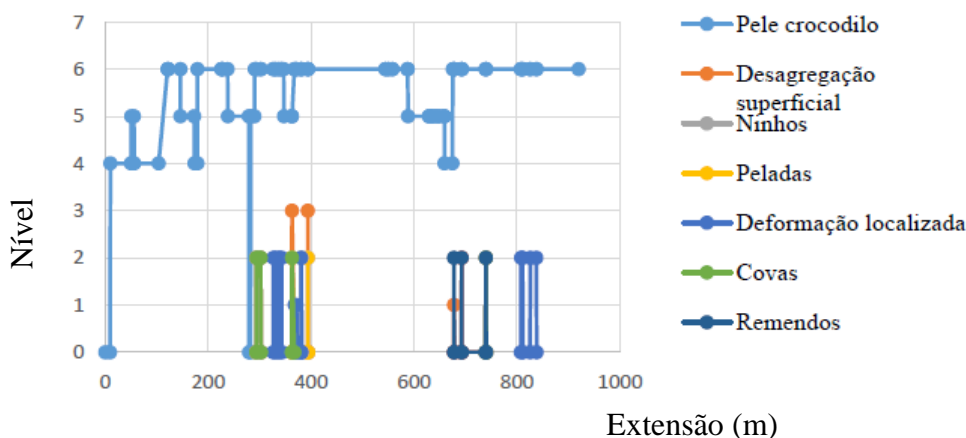


Figura 28 - Patologias na via da direita Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa



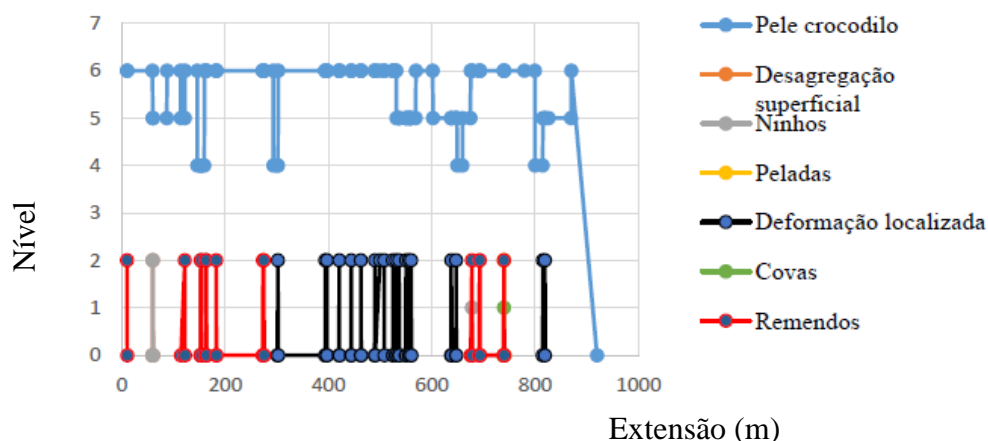


Figura 29 - Patologias na via da esquerda Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa

Os resultados dos gráficos de patologias permitem aferir o estado global do pavimento. Nesta estrada, o estado avançado de degradação do pavimento obriga a que a reabilitação do pavimento seja feita em toda a sua secção. Na Figura 30 apresenta-se como exemplo algumas das patologias registadas no pavimento resultantes do estudo de análise visual.



Figura 30 - Patologias no pavimento Avenida do Atlântico – Acesso Amorosa; a) Pele crocodilo Nível 2; Desagregação superficial Nível 3; Deformação localizada Nível 3 (Distância 394m); b) Pele crocodilo Nível 3; Deformação localizada Nível 2 (Distância: 840m-920m)

#### 4.2.2 Definição de sub-trechos homogêneos com base na capacidade de carga

O ensaio de FWD permitiu determinar as respostas do pavimento ao aplicar uma carga constante e assim determinar/definir os sub-trechos de comportamento homogêneo do

pavimento. Para determinar estes sub-trechos foi utilizado o método das diferenças acumuladas descrito no Capítulo 3.2.3.

Para o acesso à Amorosa, após se analisarem os resultados dos ensaios de capacidade de carga foi possível chegar ao gráfico da Figura 31, correspondente à representação dos valores da deflexão máxima obtida ao longo da distância do trecho em estudo. Para além disso, foi também possível calcular os valores das diferenças acumuladas que se apresentam na Figura 32, com o objetivo de identificar os sub-trechos homogêneos. Nesse sentido considerou-se que haveria lugar a um novo sub-trecho sempre que houvesse uma mudança de inclinação no gráfico das diferenças acumuladas (conforme se comprova na Figura 32).

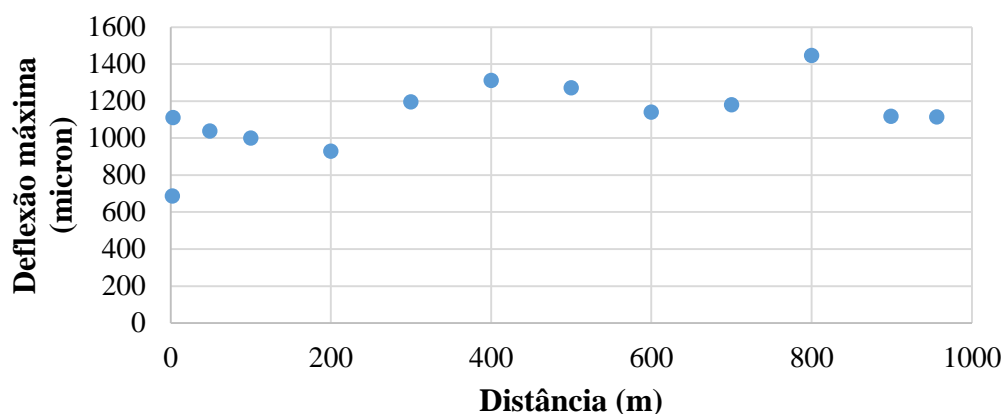


Figura 31 - Deflexão ao longo da distância (Amorosa)

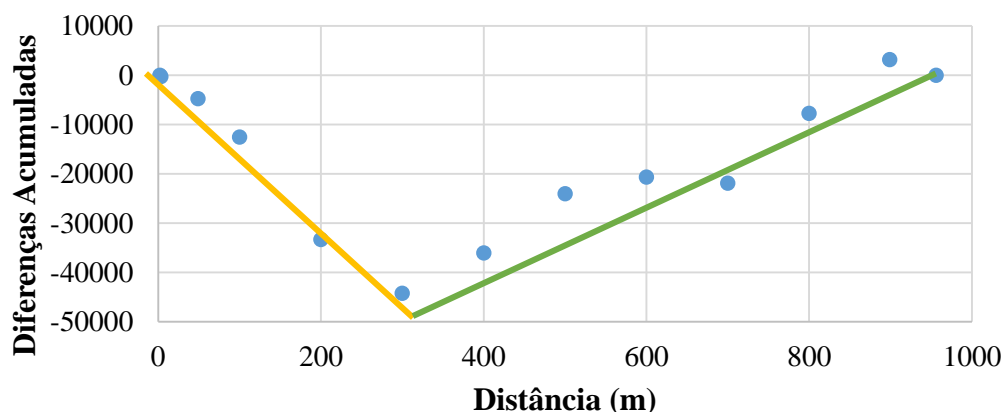


Figura 32 - Definição de sub-trechos (Amorosa)

Analisando pela Figura 32, verifica-se que existem dois sub-trechos de comportamento homogêneo, em resultado da mudança de inclinação do gráfico. Através do percentil 85 determinou-se os valores de deflexão característica de cada sub-trecho, encontrando-se presentes na Tabela 16.

Tabela 16 - Deflexões características (mícron) dos sub-trechos da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa

	<b>Distância ao centro da placa (m)</b>								
	0	0,3	0,45	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
<b>Sub-trecho 1</b>	1132	683	468	329	173	118	85	64	48
<b>Sub-trecho 2</b>	1326	685	452	339	219	162	125	102	84

Analisando os resultados da deflexão característica de cada sub-trecho (tendo por base o percentil 85) e a deflexão máxima ao longo do trecho (Figura 31) determinou-se que as deflexões não variam muito, tendo sido considerado apenas um trecho (agrupando os dois sub-trechos). O ponto representativo da obra para a obtenção do modelo do pavimento em estudo, tendo sido selecionado o ponto 8, a uma distância de 500m da origem. Tendo em consideração a localização do ponto 8, a estrutura utilizada na obtenção do modelo do pavimento resultou da análise da informação resultante da abertura dos poços de sondagem.

### 4.2.3 Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento

O modelo estrutural do pavimento considerado para a Avenida do Atlântico (Acesso à Amorosa) foi obtido pelo processo de análise inversa anteriormente descrito, tendo em conta a constituição do pavimento obtido nos poços de sondagem. Encontra-se no anexo II os resultados da abertura de poços. Os resultados dos módulos de deformabilidade bem como as espessuras de cada camada apresentam-se na Figura 33.

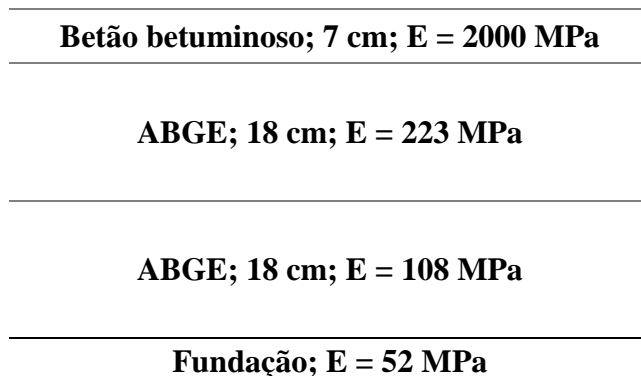


Figura 33 - Estrutura do pavimento antes da reabilitação Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa

Após definida a estrutura do pavimento existente foram analisadas duas soluções de reabilitação. Uma primeira solução tradicional, proposta em projeto, e outra solução alternativa, considerada no presente trabalho, com o objetivo de avaliar a possibilidade de utilizar técnicas mais sustentáveis (neste caso envolvendo a reciclagem de parte do pavimento existente). Estas soluções foram alvo de uma análise comparativa, tanto a nível estrutural como a nível económico para averiguar a viabilidade das propostas.

A proposta tradicional consiste em fresar a camada betuminosa de sete centímetros, e aplicar uma nova camada de regularização de oito centímetros (AC20reg), em conjunto com uma camada de desgaste de cinco centímetros (AC14surf). Quanto à proposta reciclada, consiste na reciclagem da camada betuminosa de sete centímetros, bem como de parte da camada granular de base. Esta secção reciclada, deu origem a uma nova camada de regularização reciclada a frio, *in situ*, com betume espuma. Foi adicionada ainda uma camada de desgaste (AC14surf) de quatro centímetros, devido ao facto de a camada reciclada não poder ser usada como camada de desgaste.

A utilização de uma camada de desgaste betuminosa, mesmo que seja uma camada delgada (betão betuminoso muito delgado ou um microaglomerado betuminoso a frio), representa um incremento indireto da capacidade de carga das camadas inferiores, nomeadamente, da camada de fundação e granulares. Este fator deve-se à impermeabilização que esta camada aufere ao pavimento.

Na Figura 34 apresenta-se as duas soluções avaliadas, que no caso da solução tradicional corresponde à proposta em projeto e no caso da solução reciclada resulta do processo de dimensionamento descrito no Subcapítulo 3.2.5.

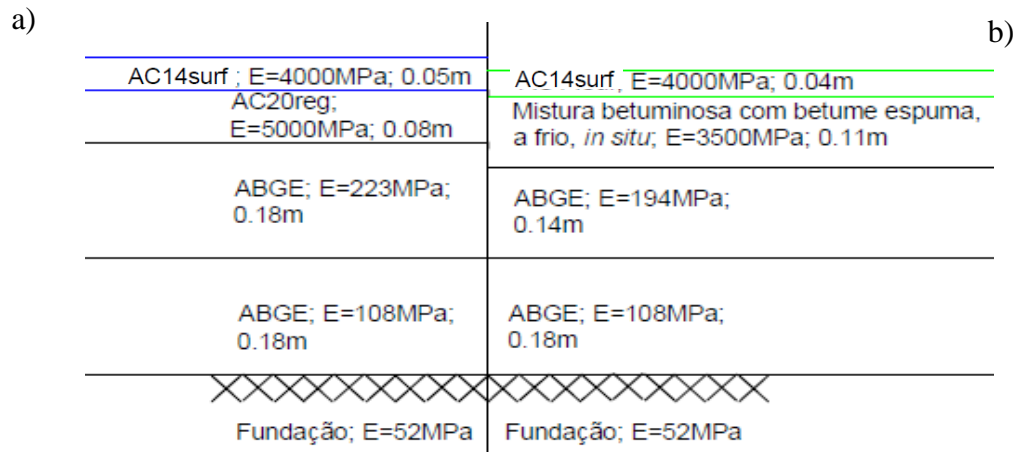


Figura 34 - Soluções de reabilitação do pavimento da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa; a) solução tradicional de projeto; b) solução alternativa reciclada

A escolha da mistura betuminosa *in situ* a frio com betume espuma surge como resposta à necessidade de se optar por uma solução mais sustentável e que não obrigasse a um período de cura muito prolongado devido à passagem de veículos pesados para a pedreira existente nas imediações. Desta forma, foi também adicionada uma camada de desgaste nova (com uma mistura AC14 Surf produzida a quente) para garantir a segurança estrutural da camada, nomeadamente ao nível dos esforços superficiais impostos pelos veículos pesados.

O pavimento atual apresenta uma estrutura com uma espessura total de 0,43m. Ambas as soluções provocam um aumento dessa cota. A solução tradicional acresce 0,06m à cota inicial, enquanto a solução reciclada traduz num acréscimo de 0,04m, devido ao incremento de mistura betuminosa a quente.

Para a análise estrutural recorreu-se ao *JPav*, que permitiu comparar as extensões instaladas no modelo estrutural do pavimento com as extensões admissíveis calculadas pelas leis de fadiga do método da *Shell*. Com base nesses resultados foi também possível estimar o dano provocado pelo tráfego de projeto relativamente ao tráfego admissível em cada solução (obtido nas leis de fadiga para as extensões instaladas no modelo do pavimento). Os resultados deste estudo de dimensionamento apresentam-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento do pavimento da Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa

<b>Solução tradicional</b>				<b>Solução alternativa</b>			
Extensão	NAEP (projeto)	NAEP (Admiss.)	Dano (%)	Extensão	NAEP (projeto)	NAEP (Admiss.)	Dano (%)
$\epsilon_t$	676884	735267,6	92	$\epsilon_t$	676884	778548,5	87
$\epsilon_z$		1951390	35	$\epsilon_z$		2622313	26

Com os resultados apresentados na Tabela 17 foi possível concluir que ambas as soluções estão em conformidade com o valor limite do dano, tendo em consideração que este não deve ser superior a 100%, garantindo a qualidade estrutural pretendida. Verificando que as soluções permitem uma garantia da qualidade estrutural para os vinte anos de período de dimensionamento, possibilitando a comparação económica que se encontra detalhado no Subcapítulo 4.2.4.

#### 4.2.4 Avaliação económica das alternativas

De modo a avaliar a viabilidade económica de cada solução alternativa foram determinados os custos globais das alternativas em estudo. Quanto aos custos de construção de cada solução foi tido em conta o custo de aquisição do material, aplicação e transporte do mesmo (incluindo transporte de material para central que se encontra a aproximadamente 30km de todas as estradas em estudo).

A Tabela 18 permite assim comparar os custos globais das diferentes soluções construtivas do pavimento.

Tabela 18 - Análise de custos Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa

<b>Solução</b>	<b>Distância (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo total</b>
<b>Tradicional</b>	956	7	6692	135045€
<b>Reciclada</b>				113108€

Com base nos resultados apresentados na Tabela 18 é possível verificar que a solução reciclada garante uma poupança 21937€ (16,24%) na totalidade da obra, garantindo assim uma alternativa excelente para reabilitação de pavimentos em que se pretende a reabilitação do pavimento em toda a sua extensão na obra. No anexo III apresenta detalhadamente os custos para a aplicação das duas soluções comparativas.

## 4.3 EN-302

### 4.3.1 Avaliação do Estado Superficial

Realizada a observação do estado superficial do pavimento que permite observar as principais degradações é necessário tratar a informação de forma a obter resultados concretos. No anexo IV segue o resultado fotográfico das patologias existentes no pavimento rodoviário, no qual, através de recurso fotográfico é possível verificar o registo feito ao longo da estrada das patologias, definindo as áreas a intervir a nível de patologias.

As principais patologias encontradas no pavimento desta estrada foram: pele de crocodilo (diversos estados de degradação) e desagregação superficial. Sendo que outras patologias foram verificadas e catalogadas em registo fotográfico ou gráfico. Na Tabela 19 apresenta-se as principais patologias quanto ao seu nível e extensão, independentemente da zona da secção da estrada.

Tabela 19 - Principais patologias e suas extensões EN-302

<b>Patologia</b>	<b>Nível</b>	<b>Extensão (m)</b>
Pele de crocodilo	4	1910
	5	1409
	6	1875
Desagregações superficiais	1	814
	2	262
	3	123

Comparada com o caso anterior, esta estrada apresenta as patologias pontualmente, ou seja, não apresenta uma extensão tão elevada em cada patologia e a largura das mesmas. Para se entender melhor as patologias e a preponderância das mesmas no impacto visual e na qualidade estrutural do pavimento (de modo a determinar quais as áreas a intervir no pavimento rodoviário) realizou-se três gráficos. As Figuras 35, 36 e 37 apresentam as patologias registadas em zonas diferentes da estrada (eixo da faixa de rodagem, via direita e via esquerda)

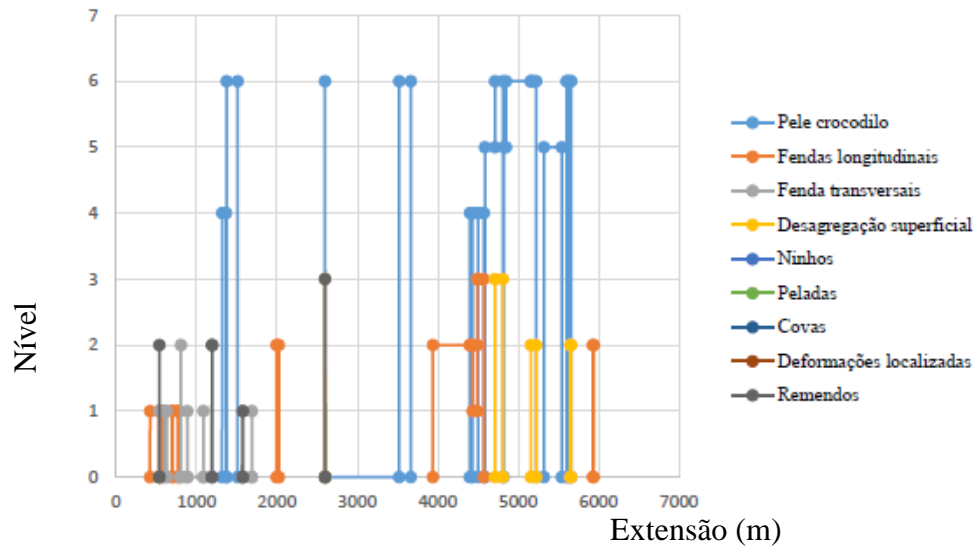


Figura 35 - Patologias no eixo da faixa de rodagem EN-302

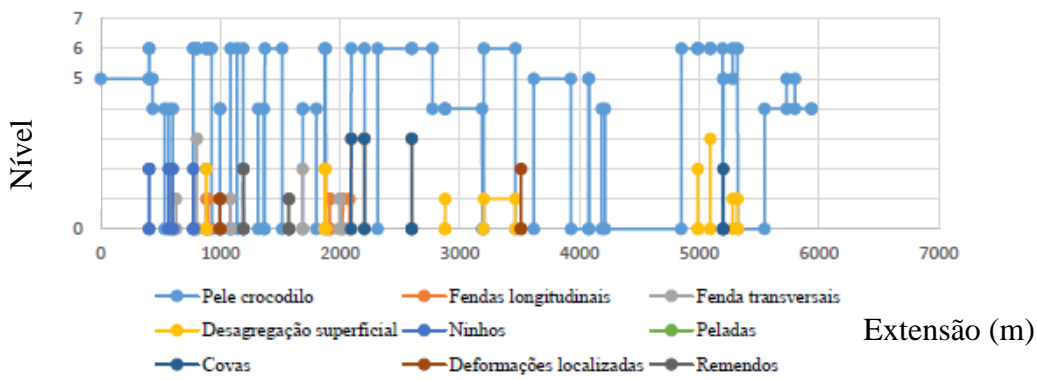


Figura 36 - Patologias na via da direita EN-302

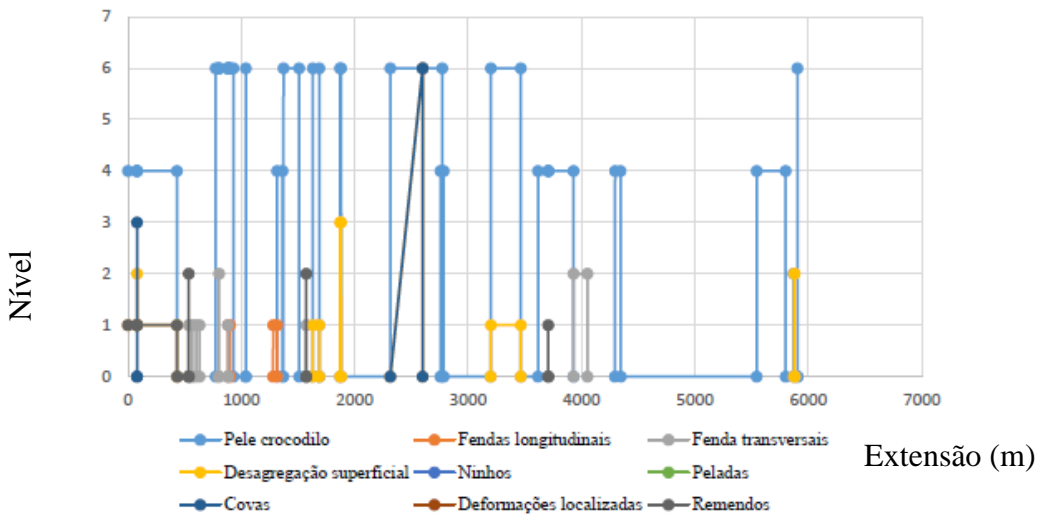


Figura 37 - Patologias na via da esquerda EN302



A organização das patologias em gráficos, como os apresentados acima, permite assim definir as áreas a intervir no pavimento rodoviário, em conjunto com os resultados do ensaio de defletómetro de impacto. Nesta estrada foi definido que a solução tradicional de projeto assenta numa solução de correção pontual das principais degradações, fresando a camada de desgaste nas zonas mais críticas e repondo essa espessura com uma nova mistura betuminosa. Na Figura 38 apresenta-se como exemplo algumas das patologias registadas no pavimento resultantes do estudo de análise visual.

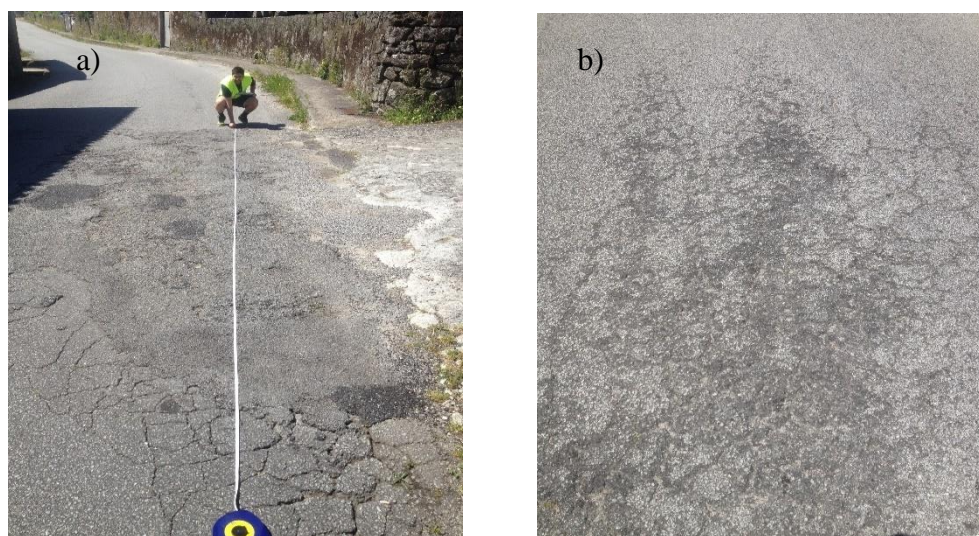


Figura 38 - Patologias na EN-302: a) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2; Tapagem de covas Nível 2 (Distância 1870m - 1880m); b) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2 (Distância: 4711m – 4809m)

#### **4.3.2 Definição de sub-trechos homogéneos com base na capacidade de carga**

O processo para determinar os sub-trechos nesta estrada consiste basicamente no mesmo processo que na estrada anterior e preconizada no Subcapítulo 3.2.3, obtendo-se a Figura 39 e a Figura 40 que permite assim definir os sub-trechos homogéneos.

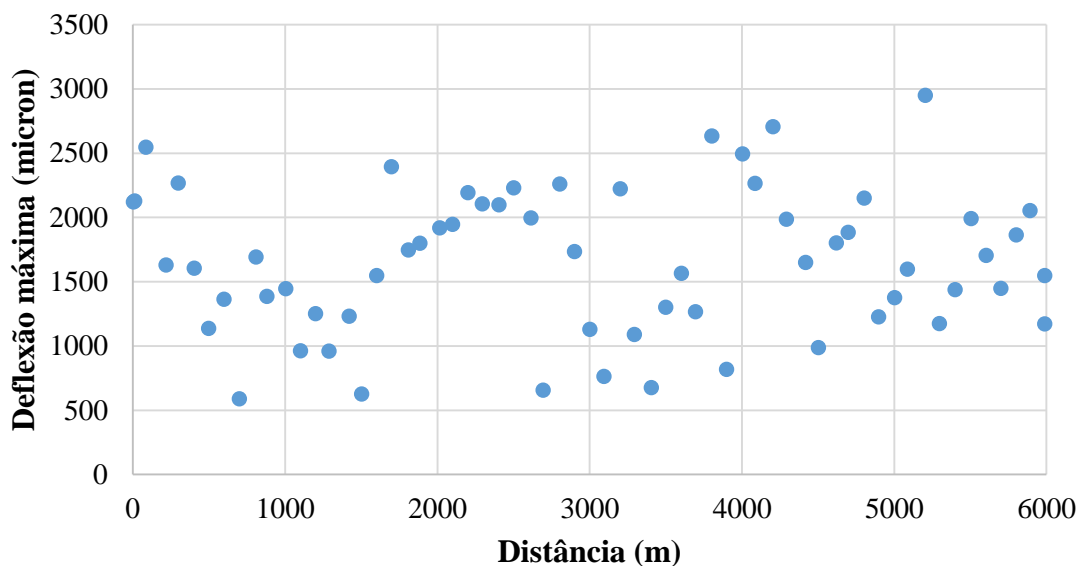


Figura 39 - Deflexão ao longo da estrada EN-302

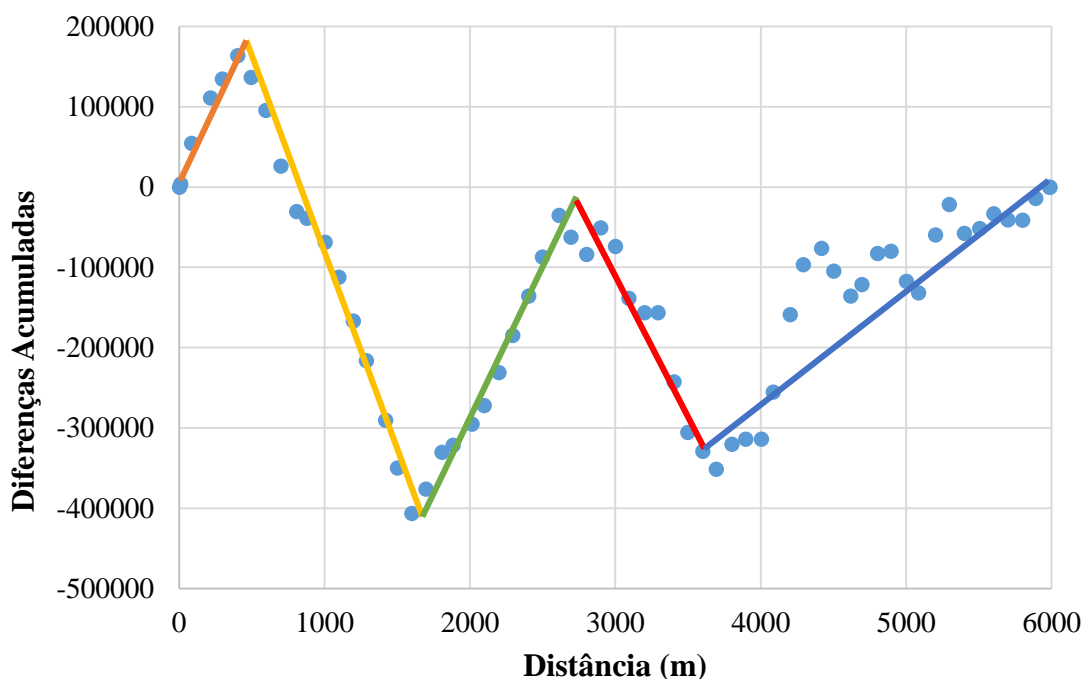


Figura 40 - Definição de sub-trechos EN-302

Ao contrário do sucedido na Amorosa, os pontos da Figura 39 encontram-se dispersos, não havendo uma linha de tendência sendo necessário definir os sub-trechos de comportamento homogêneo. Para tal a Figura 40 apresenta o resultado da aplicação do método das diferenças acumuladas para esse efeito, em que se definiu 5 sub-trechos. Para definir o ponto representativo de cada sub-trecho recorreu-se novamente ao percentil 85, cujos valores se encontram na Tabela 20.

Tabela 20 - Deflexões características (mícron) dos sub-trechos da EN 302

	<b>Distância ao centro da placa (m)</b>								
	0	0,3	0,45	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
<b>Sub-trecho 1</b>	2337	1499	1048	749	387	257	195	156	134
<b>Sub-trecho 2</b>	1481	981	705	511	276	181	112	74	52
<b>Sub-trecho 3</b>	2217	1328	908	619	308	207	128	94	64
<b>Sub-trecho 4</b>	1979	1292	963	716	326	151	91	70	56
<b>Sub-trecho 5</b>	2391	1660	1153	748	360	204	140	103	85

Numa primeira análise aos valores do percentil 85 de cada sub-trecho com o objetivo de minimizar o número de sub-trechos, foi possível agrupar alguns que apresentavam valores de deflexão característica semelhante. Ou seja, o mesmo ponto representativo para um conjunto de sub-trechos. Neste caso foi possível agrupar os sub-trechos 1 e 5 e os sub-trechos 3 e 4. Ficando assim três pontos representativos para 5 sub-trechos, facilitando o cálculo posterior. No subtrecho 1+5, o ponto representativo é o ponto 42 (cobrindo assim os valores de deflexão), encontrando-se a uma distância de 4005m. Para o sub-trecho 3+4, o ponto 27 representa o conjunto das deflexões, situando-se a 2500m da origem. Por fim o sub-trecho 2 tem como ponto representativo o 12, a uma distância de 1004m.

A estrutura do pavimento em cada um destes pontos representativos foi definida tendo em conta os resultados do Subcapítulo 3.2.4.

### 4.3.3 Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento

O modelo estrutural do pavimento considerado para a EN302 foi obtido pelo processo de análise inversa anteriormente descrito, tendo em conta a constituição do pavimento obtido nos poços de sondagem (Anexo V). Os resultados dos módulos de deformabilidade bem como as espessuras de cada camada apresentam-se nas Figuras 41, 42 e 43 tendo em conta os respetivos sub-trechos.

---

**Betão betuminoso; 4 cm; E = 1000 MPa**

---

**Semipenetração; 8 cm; E = 500 MPa**

---

**Camada sub-base; 21 cm; E = 51 MPa**

---

**Fundação; E = 30 MPa**

Figura 41 - Estrutura do sub-trecho 1+5 EN-302

---

**Betão betuminoso; 8 cm; E = 500 MPa**

---

**Semipenetração; 12 cm; E = 300 MPa**

---

**Camada sub-base; 9 cm; E = 83 MPa**

---

**Fundação; E = 55 MPa**

Figura 42 - Estrutura do sub-trecho 3+4 EN-302

---

**Betão betuminoso; 6 cm; E = 1200 MPa**

---

**Semipenetração; 11 cm; E = 1200 MPa**

---

**Camada sub-base; 6 cm; E = 51 MPa**

---

**Fundação; E = 40 MPa**

Figura 43 - Estrutura do sub-trecho 2 EN-302

O objetivo é realizar reabilitações a nível de cada sub-trecho, visto estes apresentarem diferentes estruturas. A solução tradicional de projeto consiste em fresar a camada betuminosa existente e aplicar uma nova camada de desgaste (AC14 Surf) com a espessura da anterior camada, adicionando um microaglomerado, a frio, *in situ*, que proporciona um ligeiro aumento da capacidade de carga das camadas inferiores (traduzido na aplicação do JPav), pela impermeabilização da superfície do pavimento.

Por outro lado, a solução reciclada consiste em reciclar a camada betuminosa e parte da camada granular. A quantidade a reciclar depende das exigências de capacidade de carga do pavimento, sendo diferente para cada sub-trecho. Posteriormente é adicionada uma camada betuminosa delgada (AC10 Surf), com dois centímetros, garantindo um adequado comportamento funcional do pavimento e um ligeiro aumento da sua capacidade estrutural.

Nas Figuras 44, 45 e 46, apresenta-se as soluções tradicionais consideradas em fase de projeto.

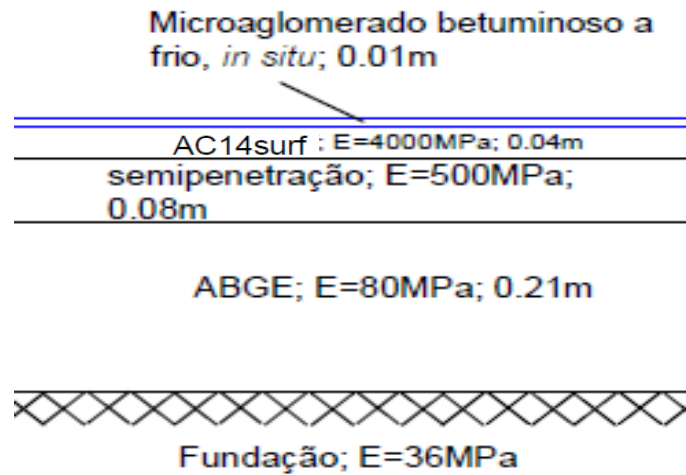


Figura 44 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 1+5 da EN-302

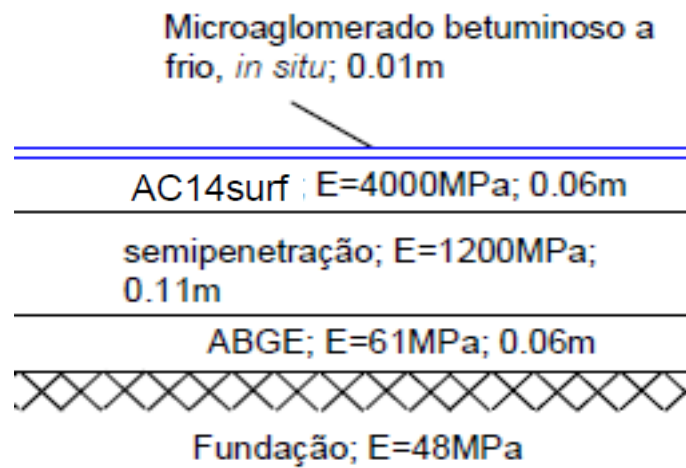


Figura 45 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 2 da EN-302

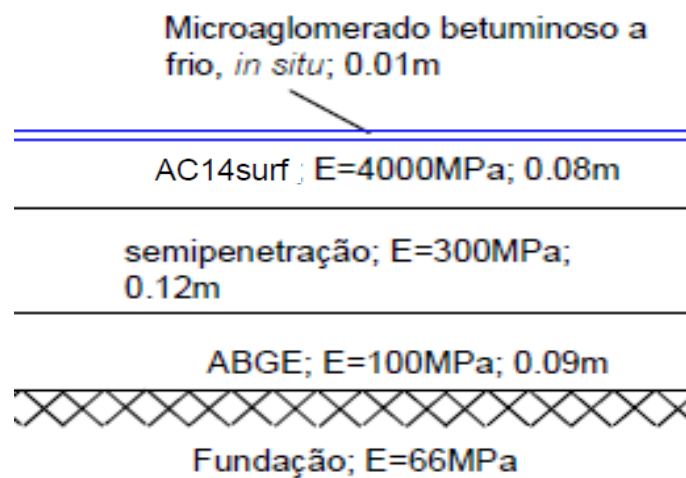


Figura 46 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 3+4 da EN-302

Todas as soluções provocam um aumento da cota inicial em um centímetro devido à aplicação do micro aglomerado a frio. Esta solução prevê a aplicação desta camada delgada em toda a extensão do pavimento.

Para a solução tradicional de projeto efetuou-se apenas uma iteração no *JPav* para aferir a qualidade estrutural da estrutura visto serem dados de projeto. Sendo que os resultados do ensaio serviram para comprovar a capacidade de carga das estruturas. Na

Tabela 21 apresenta-se os resultados da capacidade estrutural dos sub-trechos.

Tabela 21 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302 – Solução tradicional

<b>Solução tradicional (fresagem pontual e reposição)</b>				
Sub-trecho	Extensão	NAEP(projeto)	NAEP(admissível)	Dano (%)
1+5	$\epsilon_t$	104997	714718,55	14,69
	$\epsilon_z$		29453,92	356,48
2	$\epsilon_t$		37789958,68	0,278
	$\epsilon_z$		231281,36	45,398
3+4	$\epsilon_t$		141803,28	74,04
	$\epsilon_z$		202813,54	51,77

A análise estrutural permitiu observar que a solução 1+5 apresenta uma baixa resistência à deformação permanente devido à reduzida espessura do pavimento. Essa solução garante apenas um período de vida do sub-trecho de 6,45 anos, sendo que para a análise econômica de comparação com a solução reciclada foi necessário realizar uma adaptação para vinte anos da solução atual (apresentado na Figura 47).

Analisando as soluções pontuais que serão aplicadas no pavimento é necessário definir as zonas a intervir. Estas zonas recaíram em áreas onde as deflexões eram altas tendo em conta a estrutura do pavimento, e áreas onde o estado de degradação era elevado, relacionando os dois ensaios. Resultando então na Tabela 22, onde apresenta as áreas de intervenção.

Tabela 22 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto EN-302

Sub-trecho	Zona da estrada	Distância (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1+5	Eixo da faixa de rodagem	4711,4 - 5224,1	2	1025,4
		5602,4 - 5612,1	2	19,4
		5646,7 - 5660,6	2	27,8
	Via direita	4850 - 5092	2,25	544,5
		5279,5 - 5321,1	2,25	116,1
		5731,3 - 5861,5	2	260,4
	Totalidade da largura da estrada	5930,1 - 5937,7	5,5	41,8
2	Via direita	1085 - 1191,7	2,25	240,075
		1510,4 - 1517,3	2,25	15,525
	Via direita e esquerda	775 - 928,42	3	460,26
	Totalidade da largura da estrada	1371,8 - 1510,4	5,5	762,3
3+4	Via direita	2092 - 2203	2,25	249,75
	Via esquerda	1630,97 - 1687,78	2,25	127,8225
	Via direita e esquerda	1870,7 - 1880,5	4,5	44,1
		2314 - 2771	4,5	2056,5
		3200 - 3464	4,5	1188
	Eixo da faixa de rodagem	2596 - 2603	1	7
3518 - 3602		2	168	

É possível constatar que a área total a intervir é de 7351,73m<sup>2</sup> de um total de 32939,5m<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 22.32% da área total da estrada. Esta solução atua a nível pontual, fazendo que as degradações já existentes possam se propagar e afetar a solução de reabilitação ou até evoluírem as patologias já existente para um estado de degradação mais avançado, obrigando a novas intervenções no pavimento.

Quanto à solução reciclada, esta consistiu na reciclagem da camada betuminosa e parte da camada granular (dependendo da necessidade da capacidade estrutural) *in situ* a frio, com emulsão betuminosa, com adição de 1% de cimento. Esta adição de cimento reduz a sensibilidade à água e aumenta a coesão do material. Como a camada reciclada a frio não é adequada para funcionar como camada de desgaste, foi introduzida uma camada betuminosa delgada a quente de dois centímetros para garantir que a camada reciclada não se encontra exposta.

Para que essa solução tradicional do sub-trecho 1+5 seja comparada foi necessário alterar a estrutura, tendo por base uma camada de regularização de cinco centímetros e uma camada de desgaste com três centímetros. Quanto aos restantes sub-trechos mantiveram-se iguais as suas estruturas.

Na figura 47, 48 e 49 encontram-se as soluções recicladas para cada sub-trecho,

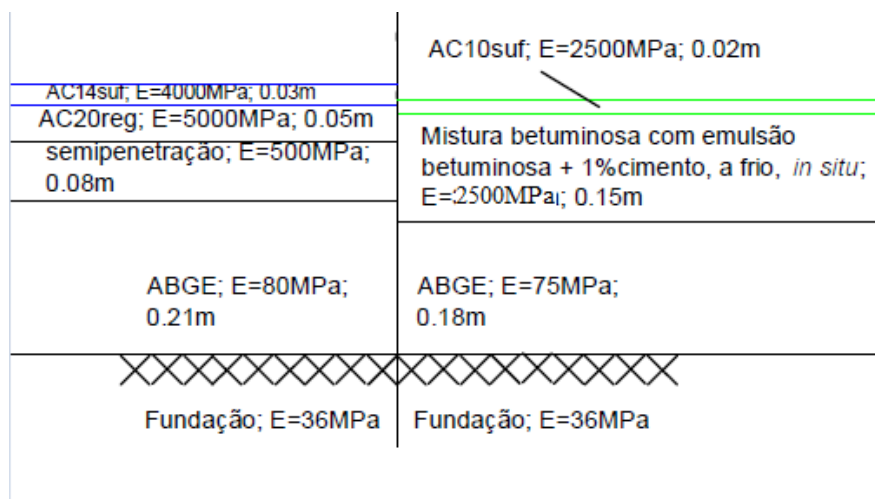


Figura 47 - Solução de reabilitação sub-trecho 1+5 da EN-302; a) Solução tradicional para vinte anos; b) solução reciclada

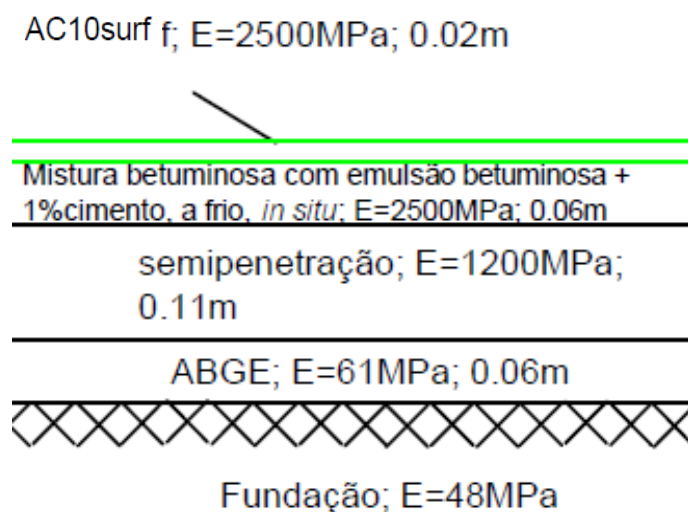


Figura 48 - Solução de reabilitação reciclada sub-trecho 2 da EN-302



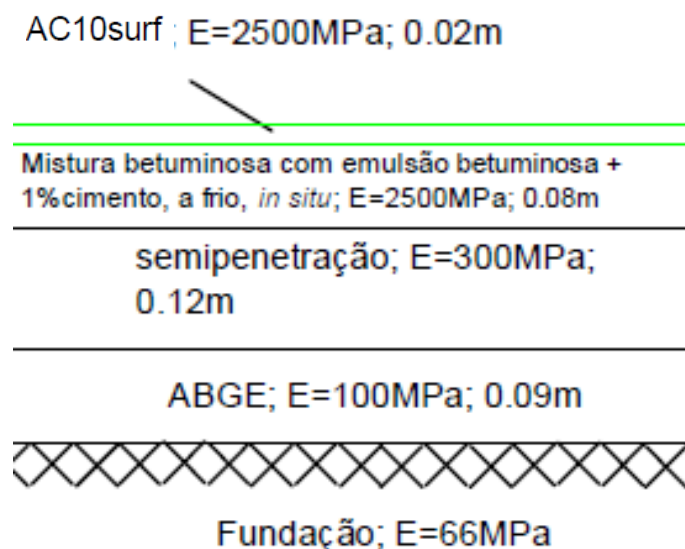


Figura 49 - Solução de reabilitação reciclada sub-trecho 3+4 da EN-302

Na solução reciclada, a cota do pavimento alterou-se, ou seja, apresenta um aumento da cota atual do pavimento em dois centímetros, devido à introdução da camada de desgaste a quente, sendo necessário realizar o disfarce do aumento da cota.

Quanto à solução tradicional do sub-trecho 1+5, aplicado a toda a obra, esta cota foi mais significativa. Apresenta uma diferença de cota em relação à estrutura atual de quatro centímetros e de três centímetros com a cota da solução pontual para o mesmo sub-trecho.

Através do programa de dimensionamento foi possível determinar a qualidade estrutural das soluções. Na

Tabela 23 apresenta-se os resultados do dimensionamento das soluções propostas.

Tabela 23 - Resultados do dimensionamento da EN-302

<b>Resultados da solução comparativa</b>				
Sub-trecho	Extensão	NAEP (projeto)	NAEP (admissível)	Dano (%)
1+5 (tradicional para 20 anos)	$\epsilon_t$	104997	110001,4	95,45
	$\epsilon_z$		127642,4	82,26
1+5 (reciclada)	$\epsilon_t$	104997	135397	77,55
	$\epsilon_z$		345014	30,43
2 (reciclada)	$\epsilon_t$	104997	3787026,87	2,77
	$\epsilon_z$		313994,17	33,44
	$\epsilon_t$		162841,01	64,48

3+4 (reciclada)	$\epsilon_z$	267612,16	32,24
--------------------	--------------	-----------	-------

Com os resultados apresentados na

Tabela 23 foi possível concluir que as soluções estão em conformidade com o valor limite do dano, tendo em consideração que este não deve ser superior a 100%. Verificando que as soluções permitem uma garantia da qualidade estrutural para os vinte anos de período de dimensionamento, possibilitando a comparação económica.

#### 4.3.4 Avaliação económica das alternativas

A última etapa no dimensionamento de um pavimento, consiste na análise económica da solução tradicional, tendo em conta as áreas de intervenção. Na Tabela 24, apresenta os custos finais da solução de projeto.

Tabela 24 - Custo da solução tradicional de projeto / Áreas de intervenção EN-302

Solução	Sub-trecho	Área	Custo final
<b>Tradicional</b>	1+5	2035,4	110086,35€
	2	1478,16	40161,46€
	3+4	3841,1725	90167,025€
	<b>Somatório</b>		240414,835€

Visto que esta solução tem o inconveniente de um dos sub-trechos não apresentar um tempo de vida esperado de vinte anos, a comparação de custos entre as duas soluções não poderá ser feita de forma direta. Outro problema na comparação de soluções é o facto de a solução tradicional de projeto não ser feita em toda a obra.

Para comparar as duas soluções foi necessário aplicar a solução tradicional a toda obra e reajustar o sub-trecho 1+5 para garantir o período de vida de vinte anos. Na Tabela 25 apresenta-se os resultados da comparação das duas soluções aplicada a toda a obra.

Tabela 25 - Comparação de custos a toda a estrada no mesmo período de vida EN-302

Solução	Sub-trecho	Zona da estrada	Distância (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Custo total
<b>Tradicional</b>	1+5	Totalidade da estrada	2696	5,5	14828	220144,29€
<b>Reciclada</b>						247064,07€
<b>Tradicional</b>	2	Totalidade da estrada	1198	5,5	6589	91342,21€
<b>Reciclada</b>						58651,32€
<b>Tradicional</b>	3+4	Totalidade da estrada	2095	5,5	11522.5	191826,41€
<b>Reciclada</b>						128664,35€

<b>Custo Final Tradicional</b>	504067,21€
<b>Custo Final Reciclada</b>	424379,81€

Equilibrando as duas soluções, pode-se assim defender que a solução reciclada permite obter uma poupança de cerca 79687,40€ (15,8%) para a totalidade da estrada e cumprindo o requisito do período de vida de um pavimento flexível. Apesar de que no sub-trecho 1+5 o custo ter sido mais elevado devido à quantidade de material reciclado ser tão elevado para garantir uma boa qualidade estrutural. Tal como no caso da Amorosa, a solução reciclada conseguiu obter uma poupança significativa, sendo neste caso numa estrada de longa distância, comprovando em termos económicos como sendo uma boa solução a curtas e longas distâncias de reabilitação.

No anexo VI detalha-se em pormenor as soluções comparativas relativamente aos custos.

#### 4.4 EN 302-1

##### 4.4.1 Avaliação do Estado Superficial

Da avaliação do estado superficial foi possível definir quais as zonas de maior nível de degradação. Através de uma análise cuidada dos resultados obtidos foi possível definir que as principais patologias desta estrada se baseiam na pele de crocodilo, fendas longitudinais e desagregações superficiais. Tendo também outros tipos de patologias.

Na Tabela 26 encontra-se as extensões das principais patologias em todo o pavimento.

Tabela 26 - Principais patologias e suas extensões EN302-1

<b>Patologia</b>	<b>Nível</b>	<b>Extensão (m)</b>
Pele de crocodilo	4	400
	5	516
	6	892
Fendas longitudinais	1	76
	2	69
	3	98
Desagregações superficiais	1	0
	2	0
	3	133

Para além destas patologias foram também registadas outras formas de degradações que se encontram registadas nas Figuras 50, 51 e 52, tendo em conta a zona da estrada em que se encontra a patologia.

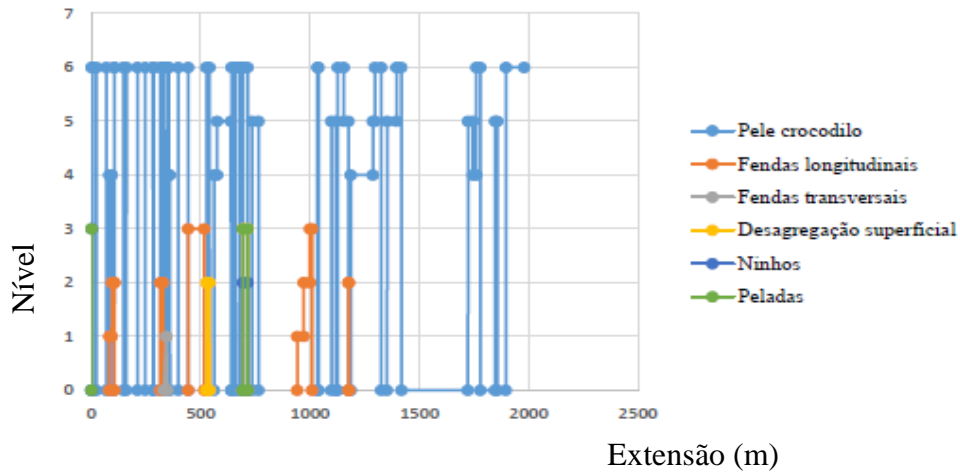


Figura 50 - Patologias no eixo da faixa de rodagem EN302-1

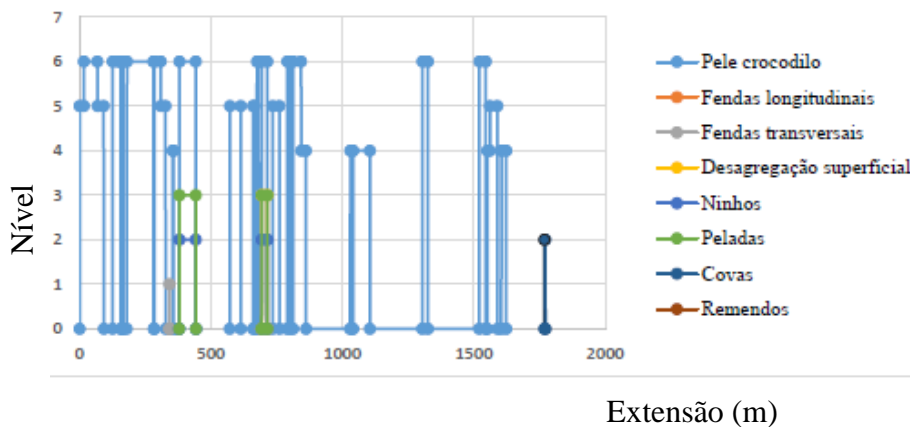


Figura 51 - Patologias na via da direita EN302-1

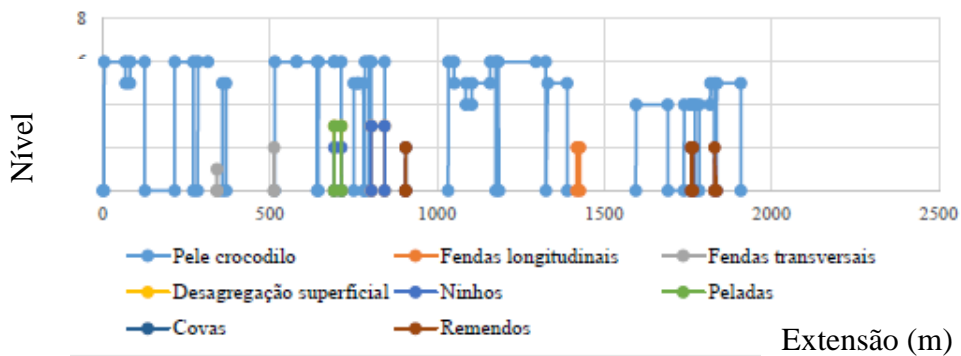


Figura 52 - Patologias na via da esquerda EN302-1

Apesar de não apresentar um grande número de patologias recorrentemente ao longo do pavimento, é possível verificar a existência de uma grande extensão de pele de crocodilo de diferentes níveis. Sendo locais de sensível propensão ao aparecimento de novas patologias, sendo necessário intervir nas zonas com um estado avançado de pele de crocodilo.

Com o registo gráfico e com o apoio do ensaio de capacidade de carga definiu-se as áreas a intervir, tal como era proposto em projeto. Na Figura 53 apresenta-se como exemplo algumas das patologias registadas no pavimento resultantes da observação do estado superficial. No anexo VII apresenta-se o restante registo fotográfico obtido.



Figura 53 - Patologias na EN302-1; a) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 3; Ninhos Nível 2; Tapagem de covas e reparações Nível 2 (Distância 380m-442m); b) Pele crocodilo Nível 3; Desagregação superficial Nível 2 (Distância: 804m-843m)

#### 4.4.2 Definição de sub-trechos homogêneos com base na capacidade de carga

A realização dos ensaios de defletómetro de impacto permitiu estudar os dados recolhidos e determinar os sub-trechos homogêneos. Estes sub-trechos serviram para facilitar o dimensionamento da estrada, determinando semelhanças entre o traçado em estudo tendo em conta a deflexão (medida utilizada para caracterizar a capacidade de carga de um pavimento). Assim, representou-se os resultados obtidos nesses ensaios através da Figura 54 e da Figura 55, que representam as deflexões ao longo da estrada e o resultado do método das diferenças acumuladas.

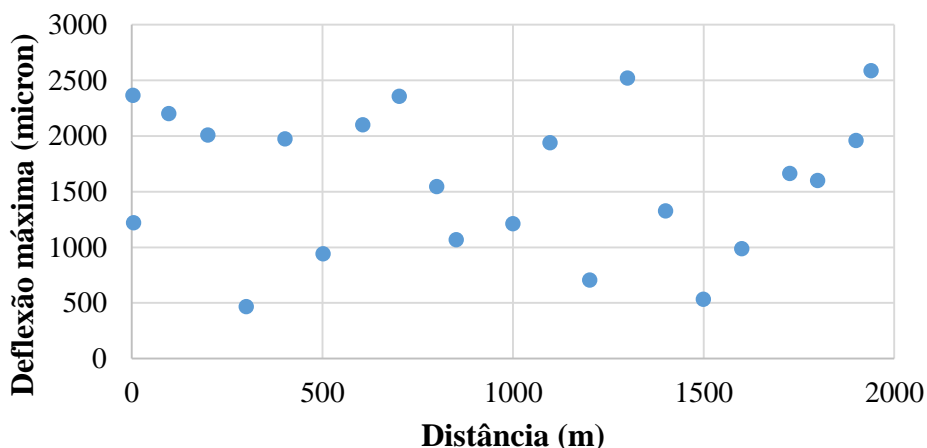


Figura 54 - Deflexão ao longo da estrada EN302-1

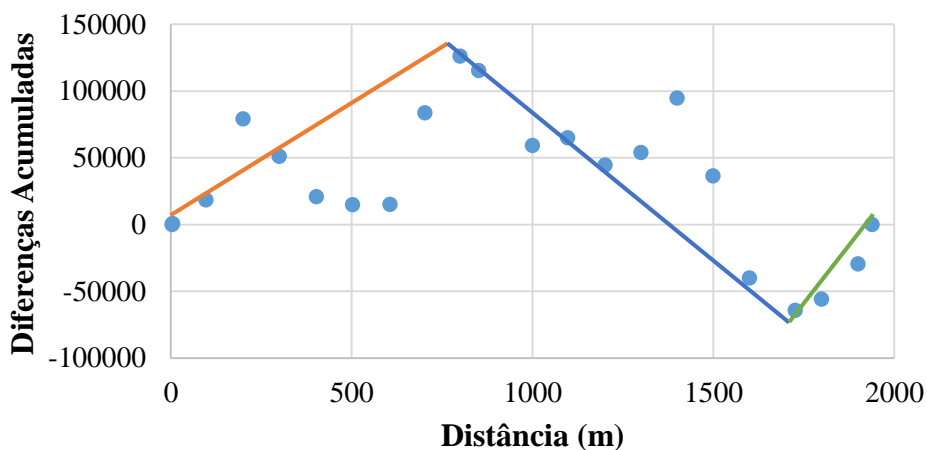


Figura 55 - Definição de sub-trechos EN302-1

Tal como sucedido na EN-302, nesta estrada ocorre dispersão dos valores de deflexão da Figura 54, sendo necessário definir sub-trechos. Na Figura 55 é possível observar que o comprimento da estrada foi dividido em três sub-trechos. A Tabela 27 permite verificar a existência de semelhanças de sub-trechos através do percentil 85.

Tabela 27 - Deflexões características (micron) dos sub-trechos da EN 302

	Distância ao centro da placa (m)								
	0	0,3	0,45	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
<b>Sub-trecho 1</b>	2325	1439	975	636	306	191	127	98	82
<b>Sub-trecho 2</b>	1925	121	808	572	315	202	139	105	82
<b>Sub-trecho 3</b>	2399	1906	1421	1029	557	328	218	150	128

Sucedendo novamente a determinação do ponto representativo da obra de cada sub-trecho, onde foi possível dividir os 3 sub-trechos iniciais em apenas dois sub-trechos, agrupando assim o sub-trecho 1+3 com o ponto representativo a 702m da origem, e o sub-trecho 2, com ponto representativo a 1097m da origem.

#### 4.4.3 Dimensionamento da Reabilitação do Pavimento

O modelo estrutural do pavimento considerado para a EN302-1 foi obtido pelo processo de análise inversa anteriormente descrito, tendo em conta a constituição do pavimento obtido nos poços de sondagem (anexo VIII). Os resultados dos módulos de deformabilidade bem como as espessuras de cada camada apresentam-se nas Figuras 56 e 57.

---

**Betão betuminoso; 6 cm; E = 2000 MPa**

---

**Camada base; 15 cm; E = 127 MPa**

---

**Camada sub-base; 15 cm; E = 67 MPa**

---

**Fundação; E = 35 MPa**

Figura 56 - Estrutura do sub-trecho 1+3 EN302-1

---

**Betão betuminoso; 6 cm; E = 2000 MPa**

---

**Camada de base; 16 cm; E = 156 MPa**

---

**Camada sub-base; 22 cm; E = 80 MPa**

---

**Fundação; E = 35 MPa**

Figura 57 - Estrutura do sub-trecho 2 EN302-1

Após a análise das estruturas do pavimento foram propostas duas soluções para o mesmo sub-trecho. Uma primeira solução tradicional e uma solução reciclada. A solução tradicional consistiu em fresar a camada betuminosa e aplicar uma nova camada de desgaste (AC14 surf) com a espessura anteriormente existente e ainda um microaglomerado a frio, *in situ* para

garantir a impermeabilização de toda a camada de desgaste e uma ligeira melhoria da capacidade estrutural. Nas Figuras 58 e 59 apresenta-se as estruturas de cada sub-trecho.

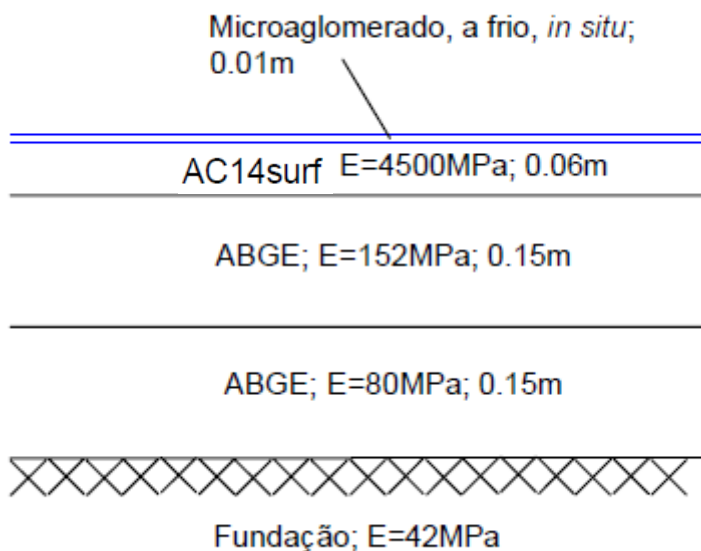


Figura 58 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 1+3 da EN302-1

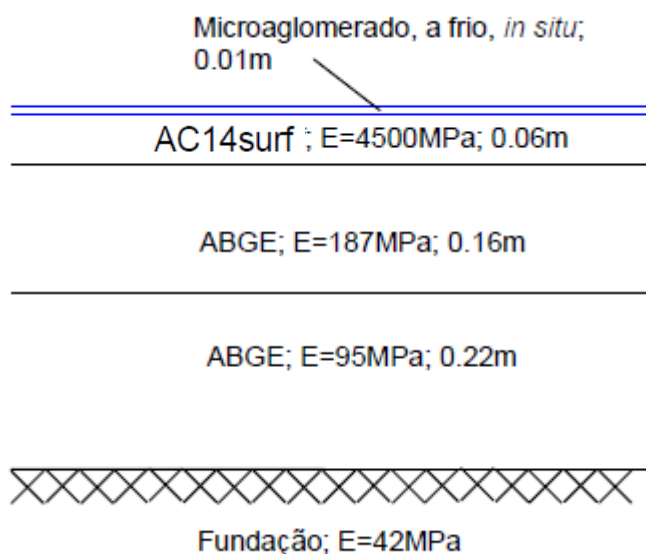


Figura 59 - Solução de reabilitação tradicional sub-trecho 2 da EN302-1

Em relação à cota existente, estas soluções promovem um aumento de um centímetro devido à introdução do microaglomerado, visto que a camada betuminosa nova apenas substitui a camada anterior. Para a solução tradicional somente foi realizada uma iteração no *JPav* para



determinar o tráfego que a estrutura aguenta. Na Tabela 28 apresenta-se os resultados das solicitações do pavimento através do *JPav*.

Tabela 28 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302-1 – Solução pontual

Sub-trecho	Extensão	Solução tradicional		
		NAEP (projeto)	NAEP (admissível)	Dano (%)
1+3	$\epsilon_t$	125197	133066,1	94,09
	$\epsilon_z$		57977,31	215,94
2	$\epsilon_t$		136802,9	91,52
	$\epsilon_z$		186645,9	67,08

A análise estrutural permitiu observar que a solução 1+3 apresenta uma baixa resistência à deformação permanente (compressão no topo da camada do solo de fundação) devido à reduzida espessura do pavimento e à reduzida contribuição da camada betuminosa para a redução do estado de tensão ao nível da fundação. Essa solução garante um período de vida do sub-trecho de 10,25 anos, sendo que para a análise económica de comparação com a solução reciclada foi necessário realizar uma adaptação para vinte anos da solução atual.

Analisando as soluções pontuais que serão aplicadas no pavimento é necessário definir as zonas a intervir. Estas zonas recaíram em áreas onde as deflexões eram altas, tendo em conta a estrutura do pavimento, e áreas onde o estado de degradação era elevado, relacionando os dois ensaios. Semelhante ao caso anterior devido à existência de patologias de pouca extensão e largura reduzida apresentam menor área como se verifica na Tabela 29 e 30.

Tabela 29 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto sub-trecho 2 EN302-1

Sub-trecho	Zona	Distância (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
2	Eixo da faixa de rodagem	1034-1038	1,5	6
		1126-1154	1,2	33,6
		1395-1407	0,8	9,6
		1412-1417	0,8	4
	Via direita	813-843	1,6	48
		1304-1325	1,1	23,1
		1521-1527	3,2	19,2
	Via esquerda	1534-1545	1	11
		804-843	2,6	101,4
		1034-1051	1,2	20,4
		1159-1175	0,7	11,2
		1186-1296	1,1	121
Via esquerda - Direita	1296-1325	2,3	66,7	

Tabela 30 - Áreas a intervir na solução tradicional de projeto sub-trecho 1+3 EN302-1

Sub-trecho	Zona	Distância (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	
1+3	Eixo da faixa de rodagem	0-5	1	5	
		23-50	1,3	35,1	
		50-67	0,7	11,9	
		104-145	1,3	53,3	
		140-157	2,8	47,6	
		160-180	0,7	14	
		246-281	1	35	
		327-331	0,8	3,2	
		347-354	0,6	4,2	
		397-442	1,3	58,5	
		526-540	1,1	15,4	
		641-656	1,8	27	
		1761-1778	0,8	13,6	
		1896-1903	1	7	
		1910-1922	1,3	15,6	
		1932-1939	1	7	
		Via Direita	16-68	1,1	57,2
			126-145	1,5	28,5
			160-165	0,7	3,5
	213-281		0,7	47,6	
	285-309		0,7	16,8	
	380-442		1,4	86,8	
	790-795		0,9	4,5	
	797-801		0,9	3,6	
	Via Esquerda	5-68	1,1	69,3	
		82-126	1,2	52,8	
		216-271	0,7	38,5	
		515-580	1,3	84,5	
		580-641	2,2	134,2	
		646-693	1,5	70,5	
		763-780	2,4	40,8	
		785-797	3	36	
	Esquerda-Direita	285-315	2,17	65,1	
Eixo da faixa de rodagem – via direita	180-210	2,5	75		
	625-684	2,5	147,5		
Totalidade da estrada		693-714	5,5	115,5	

É possível constatar que a área total a intervir é de 2006,8 m<sup>2</sup> de um total de 10664,5m<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 18,82% da área total da estrada. Esta solução atua a nível pontual, fazendo que as degradações já existentes possam propagar-se e afetar a solução de reabilitação ou até evoluírem as patologias já existentes para um estado de degradação mais avançado, obrigando a novas intervenções no pavimento.

Para que seja possível comparar a solução tradicional com a solução reciclada, além de aplicar a solução tradicional a toda a estrada, é também necessário reajustar as estruturas que apresentam um período de vida inferior a vinte anos.

O sub-trecho 1+3 apresenta um período de vida inferior ao admissível. Para tal, segundo o estudo de dimensionamento, definiu-se que a estrutura do pavimento seria constituída por uma camada de regularização (AC20 reg) com seis centímetros de espessura e mais uma camada de desgaste (AC14 surf) com quatro centímetros de espessura.

Quanto às soluções recicladas, estas consistiram na reciclagem da camada betuminosa e parte da camada granular com uma emulsão betuminosa e 1% de cimento, como camada de regularização, e uma camada betuminosa delgada de desgaste a quente (AC10 surf) com dois centímetros.

Nas Figuras 60 e 61 apresenta-se as soluções propostas tendo em conta os resultados de dimensionamento.

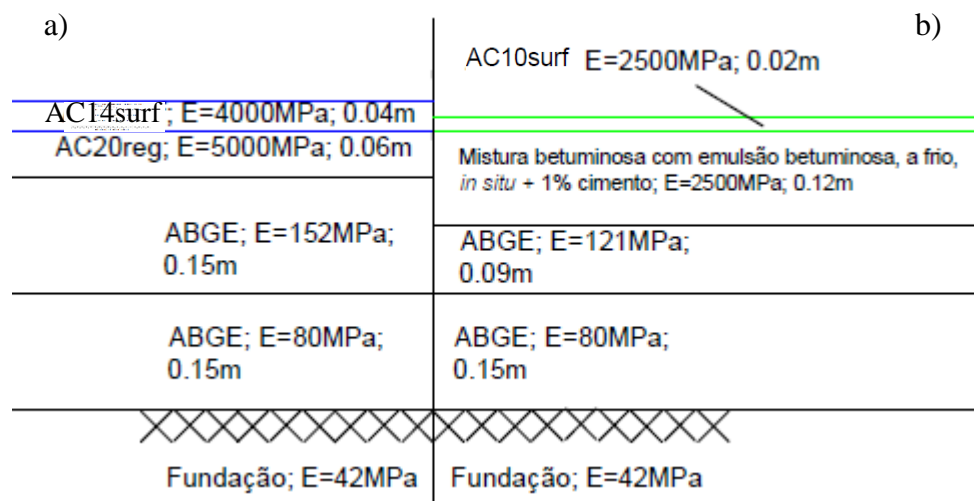


Figura 60 - Solução de reabilitação sub-trecho 1+3 da EN302-1; a) Solução tradicional para vinte anos; b) solução reciclada

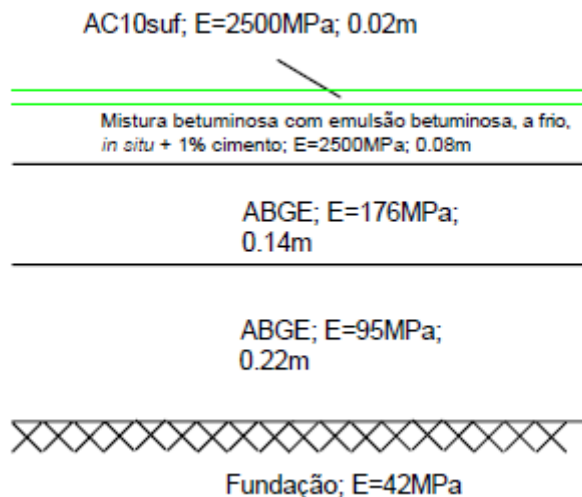


Figura 61 - Solução de reabilitação sub-trecho 2 da EN302-1

Tal como na EN-302, nesta situação a cota da solução reciclada foi superior em dois centímetros à cota existente, devido à introdução da camada de desgaste delgada. Quanto à solução tradicional para vinte anos do sub-trecho 1+3, o aumento de cota foi de quatro centímetros devido à camada de desgaste.

Através do programa de dimensionamento *JPav* foi possível verificar a qualidade estrutural das soluções apresentadas, resultando assim na Tabela 31.

Tabela 31 - Resultados do dimensionamento do pavimento da EN302-1

<b>Resultados da solução comparativa</b>				
<b>Sub-trecho</b>	<b>Extensão</b>	<b>NAEP (projeto)</b>	<b>NAEP (admissível)</b>	<b>Dano (%)</b>
<b>1+3 (tradicional vinte anos)</b>	$\epsilon_t$	125197	155829,1	80,34
	$\epsilon_z$		193344,2	64,75
<b>1+3 (reciclada)</b>	$\epsilon_t$		150179,8	83,37
	$\epsilon_z$		298625,7	41,92
<b>2 (reciclada)</b>	$\epsilon_t$	128989,3	97,51	
	$\epsilon_z$	338949,3	36,94	

Todos os valores da tabela anterior estão em conformidade com os valores limites pretendidos, sendo assim possível avaliar economicamente as soluções propostas para um período de vida de vinte anos

#### 4.4.4 Avaliação económica das alternativas

Apesar de se ter bastantes pontos a intervir, estes são de pouca largura, fazendo com que a área total a intervir seja de 2006,8m<sup>2</sup> de um total de 10664,5m<sup>2</sup> existentes. Este valor traduz numa percentagem de 18,82% de área de intervenção, sendo inferior ao registado na EN-302 devido aos fatores enunciados anteriormente. Posto isto, foi necessário calcular os custos da intervenção tradicional de projeto como se encontra representado na Tabela 32.

Tabela 32 - Custo da solução tradicional de projeto / Áreas de intervenção EN302-1

<b>Solução</b>	<b>Sub-trecho</b>	<b>Área</b>	<b>Custo final</b>
<b>Tradicional</b>	1+3	1531,6	35593,31€
	2	475,2	24126,11€
<b>Somatório</b>			<b>59719,42€</b>

Esta solução apesar de parecer rentável apresenta problemas desde logo no dimensionamento do mesmo, em que o sub-trecho 1+3 se encontra subdimensionado e adicionando também a inevitável propagação de fendas de outras patologias poderá não ser uma boa opção de utilização. Assim surge a reciclagem, e de forma a comparar as duas soluções foi necessário corrigir o dimensionamento da solução tradicional (para 20 anos) e aplicar em toda a obra para a comparação ser mais eficaz. Na Tabela 33 apresenta então os resultados finais da comparação de custos da obra em estudo.

Tabela 33 - Comparação de custos a toda a estrada no mesmo período de vida EN302-1

<b>Solução</b>	<b>Sub-trecho</b>	<b>Distância (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo total</b>
<b>Tradicional</b>	1+3	1013	5,5	5571,5	95094,36€
<b>Reciclada</b>					78425,85€
<b>Tradicional</b>	2	926	5,5	5093	71993,676€
<b>Reciclada</b>					52089,95€
<b>Custo Final Tradicional</b>					167089,01€
<b>Custo Final Reciclada</b>					130515,48€

No caso desta última estrada, tal como nas anteriores, a solução reciclada é a que apresenta um custo mais baixo e uma qualidade semelhante à anterior, conseguindo manter um nível de qualidade estrutural elevado. Nesta obra a diferença de custos é de cerca 36573,53€ (21,88%). Para pormenor dos custos da solução estudada no anexo IX detalha os custos das duas soluções.

## 4.5 Considerações finais

Em suma, o custo de todas as obras de reabilitação de um pavimento rodoviário (Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa, EN-302 e EN302-1) pode ser verificado na Figura 62.

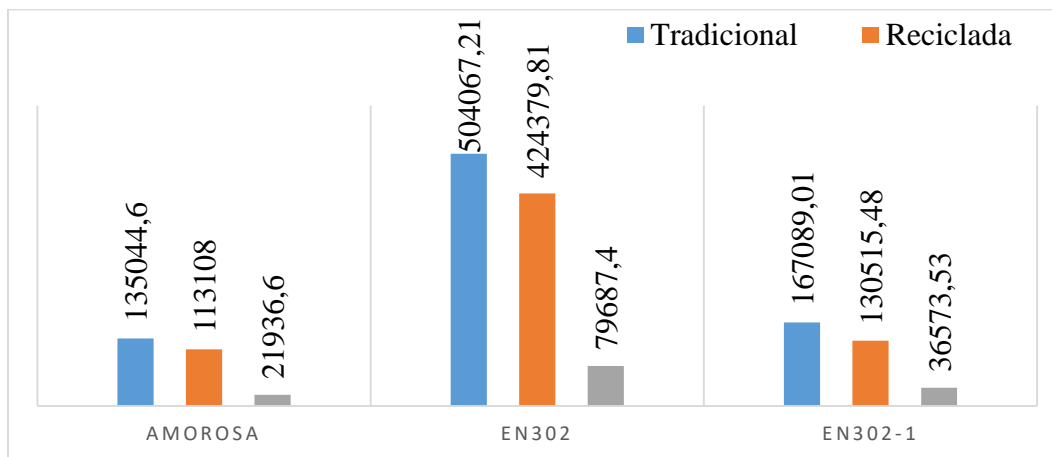


Figura 62 - Custo das alternativas de Reabilitação aplicadas a toda a obra (Avenida do Atlântico – Acesso da Amorosa; EN-302; EN302-1)

A Figura 62 permite observar que as soluções recicladas resultam numa poupança significativa de recursos a utilizar devido fundamentalmente dois fatores. O primeiro fator é a redução do transporte de materiais da obra para a central e vice-versa. Somente na aplicação da camada delgada na solução de reciclagem é que foi necessário recorrer a transporte de material. O segundo fator refere-se à fresagem das camadas, sendo que na solução tradicional apresenta um custo acrescido que não existe na solução de reciclagem de pavimentos e também um reaproveitamento do material.

No conjunto das três estradas, o custo total da solução tradicional é de 806200,82€. O total a poupar com a utilização da solução reciclada é da ordem dos 138197,5€, correspondendo a 17,14%. Sendo um valor de poupança significativo para as Administrações Rodoviárias. Garantindo uma obra com qualidade, menor custo e mais ambientalmente sustentável.

Quanto à solução de projeto (que pressupõe a fresagem pontual e reposição com nova mistura betuminosa), apesar de não ser possível fazer uma comparação com a solução reciclada, realizou-se uma análise da solução proposta como é possível verificar na Tabela 34.

Tabela 34 - Análise da solução pontual

Estrada	Sub-trecho	Área intervenção (m <sup>2</sup> )	Área total/sub-trecho (m <sup>2</sup> )	Custo global / sub-trecho	Custo global da estrada	Tempo de vida	Tempo de vida médio
<b>EN302</b>	1+5	2035	14828	110086,35	240414,84	6,45	16,0
	Área não intervencionada	12793		11,78			
	2	1478	6589	40161,46	20		
	Área não intervencionada	5111		20			
	3+4	3841	11523	90167,25	20		
	Área não intervencionada	7681		20			
<b>EN302-1</b>	1+3	1532	5572	35593,31	59719,42	10,25	14,0
	Área não intervencionada	4040		9,57			
	2	475	5093	24126,11	20		
	Área não intervencionada	4618		18,61			

Esta análise não foi feita para a estrada da Amorosa devido ao facto de a mesma não apresentar como solução de projeto um conjunto de intervenções pontuais. Com a Tabela 35 foi possível verificar que apesar da solução pontual intervir no pavimento nas zonas onde as patologias se encontram num estado avançado de degradação, não garante que o tempo de vida útil do pavimento seja os vinte anos.

Para tal é necessário intervir mais vezes na solução pontual para um mesmo período de vida (vinte anos) em comparação com a solução reciclável. Podendo o custo da solução pontual para vinte anos ser mais elevado do que o custo da solução reciclada em que o número de intervenções é reduzido e consegue eliminar qualquer patologia e propagação das mesmas.





## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

### 5.1 Conclusões

Com este trabalho pretendeu-se avaliar a eficácia de técnicas mais sustentáveis, como a reciclagem de pavimentos rodoviários, como soluções alternativas face à existência de técnicas de reabilitação convencionais, nomeadamente, quando aplicadas à reabilitação de pavimentos de baixo volume de tráfego. Esta comparação teve por base uma análise estrutural, económica e ambiental.

Numa primeira fase, foram aprofundados conhecimentos quanto aos métodos de observação do estado conservação de pavimentos. Desde ensaios que permitem determinar a capacidade de carga de um pavimento com uma precisão muito elevada, como é o caso do ensaio de FWD, a métodos visuais e fotográficos de análise do estado superficial do pavimento, que envolvem uma menor precisão devido à subjetividade humana.

Numa segunda fase, estudou-se os diferentes tipos de reciclagem existentes, como se aplicam e as suas respostas na estrutura do pavimento. Além disso, foram estudadas as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de reciclagem.

Em termos de desempenho estrutural, foi possível verificar que as misturas recicladas a frio somente podem atuar ao nível da camada de base/regularização, sendo necessário uma camada de desgaste a quente. Enquanto as misturas recicladas a quente, principalmente em central, apresentam melhor qualidade/estabilidade e podem ser utilizadas em camadas de desgaste.

Em termos económicos, as técnicas de reciclagem constituem geralmente uma solução mais barata comparada com a técnica tradicional, dependendo do tipo de reciclagem e do tipo de técnica tradicional usada. A técnica de reciclagem, fundamentalmente quando aplicada *in situ*, a frio, não apresenta custos de fresagem e de transporte de material da obra para a central de produção de misturas betuminosas e vice-versa.

Na vertente ambiental, apesar de não ter sido feito um estudo aprofundado nesta dissertação, esta foi tida em conta na determinação da solução a adotar. A técnica de reciclagem de pavimentos, ao garantir a incorporação de material fresado do pavimento antigo, permite uma

economia de recursos novos. Outro aspecto da incorporação de material antigo é a eliminação dos depósitos de material em vazadouro.

A utilização da técnica de reciclagem *in situ*, a frio, permite incorporar 100% do material fresado, sendo uma percentagem mais elevada que qualquer outro tipo de reciclagem a quente. Adicionalmente, sendo uma técnica a frio existe uma menor libertação de gases poluentes para a atmosfera devido ao aquecimento dos materiais utilizados na produção de misturas betuminosas.

O estudo realizado neste trabalho baseou-se num conjunto de estradas que se prevê virem a ser reabilitadas em breve. De acordo com o projeto de reabilitação, grande parte das intervenções previstas baseiam-se na reparação pontual das zonas dos pavimentos mais degradadas (com fresagem da camada superior betuminosa e a reposição das zonas afetadas com uma nova mistura betuminosa), a qual se considera uma solução tradicional de reabilitação. Com o estudo das patologias foi possível verificar que em algumas zonas o pavimento não se encontrava em total estado de degradação. Apesar disso, a área com elevado nível de degradação pode ser considerada como significativa, existindo ainda outras áreas com níveis de degradação mais baixos que se vão desenvolver ao ponto de o pavimento necessitar brevemente de novas reparações.

De acordo com a análise estrutural realizada às soluções de tradicionais de reabilitação pontual foi possível constatar que nem todos os sub-trechos identificados garantem um comportamento adequado durante um período de vida do pavimento de 20 anos (normalmente considerado para o dimensionamento de pavimentos flexíveis). Para isso seria necessário aplicar uma espessura betuminosa superior, o que encareceria a solução de reabilitação prevista. Em alternativa estudou-se neste trabalho a possibilidade de reciclar a parte superior do pavimento em análise com um ligante betuminoso, *in situ* a frio, de modo a garantir um adequado comportamento do pavimento em toda a extensão da estrada.

Apesar do custo inicial da técnica reciclada ser superior ao custo da técnica tradicional aplicada pontualmente, no futuro poderá apresentar mais vantagens devido à dispensa de se intervir tantas vezes ao longo do tempo de vida do pavimento, garantindo desde já um pavimento sem degradações e com qualidade elevada.

Pode-se concluir que, em termos económicos, estruturais e ambientais a solução de reciclagem apresenta mais vantagens no conjunto dos três fatores em relação à técnica tradicional. Deve ser tido em conta a utilização de técnicas de reabilitação mais sustentáveis de pavimentos em detrimento das técnicas mais convencionais.

## **5.2 Trabalhos futuros**

O trabalho realizado foi muito importante para analisar a viabilidade de soluções de reabilitação mais sustentáveis, mas não foi possível avaliar todos os aspetos relacionados com o ciclo de vida dos pavimentos, nomeadamente a nível ambiental. Tal como tinha sido referido, não foi elaborado um estudo detalhado a nível ambiental, por exemplo relacionado com a libertação de emissões poluentes de cada solução durante as fases de produção e aplicação de cada material ou técnica construtiva.

Devido ao tempo limitado para a elaboração da dissertação, não foi possível fazer um acompanhamento da obra, em que seria possível confirmar quais as áreas sujeitas a reabilitação, a técnica efetivamente utilizada em cada obra e também uma análise comparativa entres os resultados obtidos na realidade e os definidos nesta dissertação.

Outro trabalho futuro poderá passar por estudar outros tipos de soluções de reabilitação sustentáveis e catalogar soluções de referência para pavimentos de baixo volume de tráfego com as soluções propostas, podendo ser visto como um complemento à informação do MACOPAV e facilitando a utilização do manual.

Um dos trabalhos que maior desafio poderá trazer para o futuro é reduzir as desvantagens das soluções, através da descoberta de novas soluções mais sustentáveis para pavimentos rodoviários.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavements Structures*, American Association of State highways and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*, Interium Edition: A Manual of Practice, American Association of State highways and Transportation Officials

Alkins, A.E., Kazmierowski, T., Lane, B. (2008). Sustainable Pavements - Environmental, Economic and Social benefits of in situ pavement recycling, *Quantifying Sustainability in Pavement Rehabilitation Projects Session of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada*, Toronto, Ontario.

Almeida, L. (2013). *Técnicas de Conservação e de Reabilitação para Pequenas Reparações de Pavimentos Rodoviários*, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Alves, T.S.F. (2007). *Metodologias de auscultação de pavimentos rodoviários - Aplicação prática do radar de prospecção e do defletómetro de impacto*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Antunes, M.d.L., Branco, F., Barros, R. (2004). Avaliação “in situ” das condições de fundação dos pavimentos rodoviários com base em ensaios de carga, LNEC.

Antunes, M.L. (1993). *Avaliação da capacidade de carga de pavimento utilizando ensaios dinâmicos*, Tese de Doutoramento, Lisboa.

ARA (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Part 2. Design Inputs, Chapter 5. Evaluation of Existing Pavements for Rehabilitation*, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council.

Araújo, J.P., Oliveira, J.R.M., Silva, H. (2012). Sustainability comparison between pavements with conventional and recycled hot mix asphalt, Universidade do Minho.

Azevedo, M.d.C. (2009a). *Construção e Reabilitação de Pavimentos - Reciclagem de Pavimentos*, Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP.

Azevedo, M.d.C. (2009b). *Diretivas Construção Pavimentos - Critérios Dimensionamento*, Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP.

Baptista, A. (1999). *Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Flexíveis - Aplicabilidade em Portugal dos métodos existentes*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Coimbra.

Baptista, A.M.C. (2006). *Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central - Contribuição para o seu estado e aplicação*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Batista, F.A. (2004). *Misturas Betuminosas Densas a Frio*, Tese de Douturamento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Branco, F., Pereira, P., Santos, L.P. (2005). *Pavimentos Rodoviários*, Almedina.

Brundtland (1987). *Our Common Future*, Oxford University Press.

Byrne, D.A. (2005). *Recycling Of Asphalt Pavements In New Bituminous Mixes*, Napier University - School Of Built Environment.

Cordeiro, A.D. (2009). *Reciclagem "Semi quente" em central - EN 244 - Entre Ponte de Sôr e o Entroncamento com a EN 118 (Gavião)*, 2ª Jornadas CEPSA Betumes/CRP - Poupança: energia e recursos naturais, EP - Estradas de Portugal, S.A.

Costa, M.S., Diogo, A.C. (2013). *Reciclagem a Quente em Central de Misturas Betuminosas na Perspetiva da Regeneração do Betume*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais & Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Química, Lisboa.

Cunha, C.M. (2010). *Reciclagem de pavimentos rodoviários flexíveis - Diferentes tipos de reciclagem*, DISSERTAÇÃO de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

EP - Estrada de Portugal, S.A. (2014). *Caderno de encargos tipo obra*, Pavimentação - Métodos construtivos.

EP - Estradas de Portugal, S.A. (2008). *Catálogo de degradações dos Pavimentos Rodoviários*.

Esteves, S.F. (2014). *Reciclagem de Pavimentos Betuminosos - Influência da Granulometria nas Propriedades Mecânicas de Misturas Recicladas a Frio com Emulsão*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Figueiredo, N.P.D. (2011). *Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego - Contribuição para uma Metodologia de Apoio*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Fonseca, P. (2002). *Reciclagem de Pavimentos Rodoviários*, RECIPAV, Cartaxo.

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

Francisco, V.D.L.F. (2009). *A Drenagem Superficial e o seu Impacto Funcional e Estrutural na Vida dos Pavimentos Rodoviários*, Dissertação de Mestrado, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Gennet, B. (2013). *appui institutionnel à l'entretien routier en republique de guinée*, [www.capacity4dev.ec.europa.eu](http://www.capacity4dev.ec.europa.eu), International Cooperation and Development.

Gomes, L.S. (2005). *Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central*, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

- Haas, R., Hudson, R. (1978). *Pavement Management System*, McGraw-Hill.
- IP, I.d.P. (2016). *Rede Rodoviária*, 2016; <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/rodoviaria>; Acedido em 03/10/2016.
- Jacinto, M. (2003). *Caracterização Estrutural de Pavimentos*, Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- JAÉ (1995). *Manual De Concepção De Pavimentos Para a Rede Rodoviária Nacional*, Junta Autónoma de Estradas.
- Jimenez, F.E.P. (2014a). *Manual de Pavimentação - betumes*, Universidade Politécnica da Catalunha e a Direção Técnica da CEPESA-PROAS, Espanha.
- Jimenez, F.E.P. (2014b). *Manual de Pavimentação - Dimensionamento de Pavimentos* Universidade Politécnica da Catalunha e a Direção Técnica da CEPESA-PROAS, Espanha.
- Jorge, L., Capitão, S., Picado-Santos, L. (2016). *Dimensionamento de Pavimentos de Estradas de Baixo Tráfego: Estudo comparativo*, Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa. Portugal.
- Magalhães, B.A.d.C. (2015). *Comparação de Diferentes Métodos de Avaliação da Capacidade de Carga de Pavimentos Rodoviários*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.
- Martinho, F. (2005). *Reciclagem de Pavimentos - Estado da Arte, Situação Portuguesa e Seleção do Processo Construtivo*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Martinho, F., Picado-Santos, L.G., Pais, J.C. (2004). *Reciclagem de Pavimentos Rodoviários - selecção do processo construtivo*, 3º Congresso Rodoviário Português, Lisboa.
- Menezes, M.V.P. (2008). *Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego*, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Muench, S.T. (2005). *Maintenance and Rehabilitation of Low-Volume Pavements in Washington*, 84<sup>th</sup> Annual Meeting. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.
- Muench, S.T., White, G.C., Mahoney, J.P., Pierce, L.M., Sivaneswaren, N. (2004). *Long-Lasting Low-Volume Pavements in Washington State*, International Symposium on Design and Construction of Long Lasting Asphalt Pavements, International Society for Asphalt Pavements, Auburn, AL.
- Nunes, M.G.F. (2008). *Reciclagem de Pavimentos "in situ" a Frio com Emulsão Betuminosa - A Experiência Portuguesa*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

O'Flaherty, A.M. (2002). *Highways - The Location, Design, Construction & Maintenance of Pavements*, Butterworth Heinemann.

Peixoto, R. (2014). *Avaliação de metodologias de dimensionamento de pavimentos de baixo volume de tráfego muito pesado*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

Pereira, P., Valverde, M. (1999). *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*, Universidade do Minho, Braga.

Ribeiro, R. (2012). *Aplicação de mistura betuminosa aberta com betume modificado com alta incorporação de borracha na reabilitação de pavimentos rodoviário*, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu.

Seixas, P. (2006). *Microaglomerado betuminoso a frio - Uma técnica de referência*, Congresso Rodoviário Português, Probisa.

Shell, I.P.C.L. (1978). *Shell Pavement Design Manual - Asphalt Pavements and Overlays For Road Traffic*, Transport Research Laboratory, United Kingdom.

Silva, D. (2014). *Avaliação da sustentabilidade de diferentes soluções de reabilitação de pavimentos urbanos betuminosos*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

Teixeira, M. (2006). *Reciclagem de Pavimentos com Espumas de Betume*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Timm, D.H., Newcomb, D.E., Selvaraj, I. (2006). *Practical Guide to Low-Volume Road Perpetual Pavement Design*, International Conference on Perpetual Pavement - Ohio Research Institute for Transportation and the Environment.

Vicente, A.M.M. (2006). *A utilização de betumes modificados com borracha na reabilitação de pavimentos flexíveis* Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Wirtgen (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology* Wirtgen Group Company, Alemanha.

Zhao, Y., Dennis, N. (2007). *Development of a simplified mechanist-empirical design procedure for low-volume flexible roads*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1989(1):130-137



## **ANEXOS**






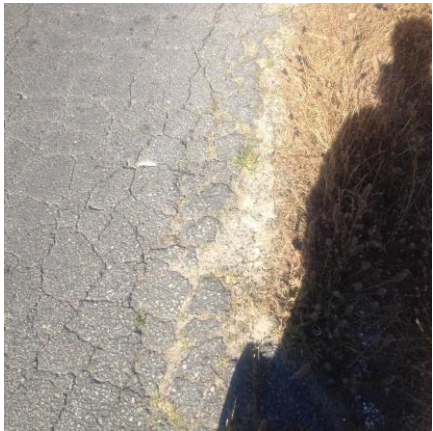


FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 5 Pele de crocodilo - Nível 3 Desagregação superficial - Nível 2 Ninhos - Nível 2 Covas - Nível 2 Distância – 294 a 302m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 6 Pele de crocodilo - Nível 3 Desagregação superficial - Nível 2 Deformação localizada - Nível 2 Distância – 363 a 588m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 7 Pele de crocodilo - Nível 1 Deformação localizada - Nível 2 Distância – 381m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 8 Pele de crocodilo - Nível 2 Desagregação Material - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Distância – 394m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>







FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 9 Ondulação Deformação localizada - Nível 3 Distância –421 a 444m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda)</p>
	<p>Foto 10 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Distância –463 a 490m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda e direita)</p>
	<p>Foto 11 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Desagregação Material - Nível 3 Distância –556 a 560m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda e direita)</p>
	<p>Foto 12 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Desagregação Material - Nível 3 Distância –556 a 560m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda e direita)</p>





FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 13 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Distância –566 a 570m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 14 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Reparação localizada ao centro Distância –578 a 581m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 15 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Reparação localizada/ remendos Distância –670 a 678m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 16 Pele de crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 3 Reparação localizada/ remendos Distância –693 a 710m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>



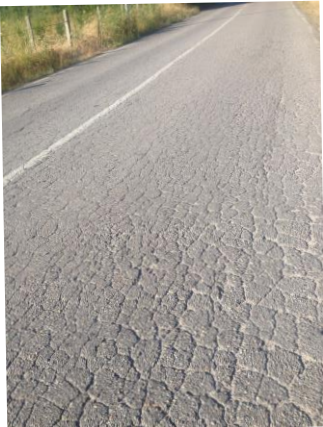

FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 17 Pele crocodilo - Nível 3 Reparação - Nível 2 Distância –740 m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 18 Pele crocodilo - Nível 3 Reparação - Nível 2 Deformação localizada - Nível 2 Distância –836 a 840 m Sentido Amorosa - Chafé (via direita)</p>
	<p>Foto 19 Pele crocodilo - Nível 3 Deformação localizada - Nível 2 Distância –840 a 920 m Sentido Amorosa - Chafé (totalidade)</p>
	<p>Foto 20 Pele crocodilo - Nível 3 Reparação - Nível 2 Deformação localizada - Nível 2 Distância –840 842 m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda)</p>

FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 21 Pele crocodilo - Nível 3 Reparação - Nível 2 Deformação localizada - Nível 2 Distância –840 842 m Sentido Amorosa - Chafé (via esquerda)</p>





**Escola de Engenharia**  
**Universidade do Minho**  
**Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil**  
**Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação**  
**Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães**  
**Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo II**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** Acesso à Amorosa  
**Local** a 100m da origem  
**Sentido** sentido Amorosa  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** P1  
Nem aterro nem escavação  
Zona com pele de crocodilo

**Sondagem P1**

**7 cm**

**Betão betuminoso**

**36 cm**

**Camada de base granular (ABGE)**

**17 cm**

**Leito do pavimento (aterro com solos  
selecionados)**

**Solo fundação arenoso**



**Escola de Engenharia  
Universidade do Minho  
Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil  
Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo II**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** Acesso à Amorosa  
**Local** a 800m da origem  
**Sentido** sentido Amorosa  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** P2  
Zona em aterro  
Zona com pele de crocodilo

**Sondagem P2**

**6 cm**

**Betão betuminoso**

**33 cm**

**Camada de base granular (ABGE)**

**Solo fundação arenoso (areia fina)**

Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Total (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	7 cm	m2	6692	1.64	10974.9
2	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2.1	AC14surf com 5 cm após compactação	m2	6692	7.01	46910.9
2.2	AC20reg com 8 cm após compactação	m2	6692	9.83	65782.4
3	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
3.1	Rega de colagem	kg	6692	0.58	1940.68
4	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
4.1	Material fresado	ton/km	1100.834	0.1	3302.5
4.2	AC14surf (central-obra)	ton/km	786.31	0.1	2358.93
4.3	Ac20reg (central-obra)	ton/km	1258.096	0.1	3774.29
	Nota: baridade= 2.35ton/m3			<b>Custo total:</b>	135045

Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Total (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	Não existe fresagem				
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2	AC14surf com 4 cm após compactação	m2	6692	6.04	40419.7
2.1					
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes "in situ" a frio</b>				
3	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com betume espuma	m2	6692	10.29	68860.7
3.1					
	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
4	Rega de colagem	kg	6692	0.58	1940.68
4.1					
	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
5	AC14surf (central-obra)	ton/km	629.0715	0.1	1887.21
5.1					
	Nota: baridade= 2.35ton/m3			<b>Custo total:</b>	113108







Anexo IV

Resultados Ensaio patológico fotográfico – EN302

Universidade do Minho

FOTO

DESCRIÇÃO



Foto 9  
Fenda longitudinal - Nível 1  
Distância – 559.82 a 581.9m  
Sentido Perre – Outeiro  
(central)



Foto 10  
Remendos - Nível 2  
Distância – ao londo da  
estrada  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita)



Foto 11  
Ninhos - Nível 2  
Distância –775.99m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita)



Foto 12  
Pele de crocodilo - Nível 3  
Distância –775 a 928.42m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita e esquerda)

## FOTO

## DESCRIÇÃO



Foto 13  
Pele de crocodilo - Nível 3  
Desagregação de Material -  
Nível 2  
Ninhos - Nível 2  
Fenda transversal - Nível 1  
Distância –882.7m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita e esquerda)



Foto 14  
Deformação localizada -  
Nível 2  
Distância –989.39m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita e esquerda)



Foto 15  
Pele crocodilo - Nível 1  
Deformações localizadas -  
Nível 1  
Distância –775.99m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita)



Foto 16  
Pele crocodilo - Nível 1  
Deformações localizadas -  
Nível 1  
Distância –775.99m  
Sentido Perre – Outeiro (via  
direita)









FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 25            Pele crocodilo - Nível 3            Desagregação materal - Nível 2            Distância –1870.7 a 1880.54m            Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 26            Pele crocodilo - Nível 3            Desagregação materal - Nível 3            Distância –1870.7 a 1880.54m            Ninhos - Nível 2 (via esquerda/direita)            Peladas - Nível 3 (via esquerda/direita)            Tapagem de covas - Nível 3            Sentido Perre – Outeiro (via esquerda)</p>
	<p>Foto 27            Pele crocodilo - Nível 3            Desagregação materal - Nível 3            Distância –1870.7 a 1880.54m            Ninhos - Nível 2 (via esquerda/direita)            Tapagem de covas - Nível 3            Peladas - Nível 3 (via esquerda/direita)            Sentido Perre – Outeiro (via esquerda)</p>
	<p>Foto 28            Pele crocodilo - Nível 3            Desagregação materal - Nível 3            Tapagem de covas - Nível 3 (7 metros)            Ninhos - Nível 2            Peladas – Nivel 3            Distância –2092.41 a 2203.27m            Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>





FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 29 Pele crocodilo - Nível 3 Desagregação materal - Nível 3 Subida de finos - Nível 1 Tapagem de covas - Nível 3 (7 metros) Distância –2092.41 a 2203.27m Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 30 Pele crocodilo - Nível 2 Distância –2314.12 A 2771.40m Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 31 Pele crocodilo - Nível 2 Distância –2286.4m Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 32 Pele crocodilo - Nível 3 Distância –2314.12 A 2771.40m Sentido Perre – Outeiro (via esquerda)</p>









FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 33                      Pele crocodilo - Nível 3                      Desagregação material - Nível 3                      Ninhos – Nível 2                      Peladas - Nível 3                      Tapagem de covas - Nível 3 (7metros)                      Distância – 2598.2m                      Sentido Perre – Outeiro (totalidade)</p>
	<p>Foto 34                      Pele crocodilo - Nível 3                      Desagregação material - Nível 3                      Ninhos – Nível 2                      Peladas - Nível 3                      Tapagem de covas - Nível 3 (7metros)                      Distância – 2598.2m                      Sentido Perre – Outeiro (totalidade)</p>
	<p>Foto 35                      Pele crocodilo - Nível 3                      Distância – 3518.3 a 3602.8m                      Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 36                      Deformações localizadas - Nível 2                      Distância – 3511.4m                      Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>



FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 42 Pele crocodilo - Nível 3 Desagregação superficial - Nível 2 Ninhos - Nível 3 Peladas – Nível 2 Distância – 4988.5m Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>
	<p>Foto 43 Pele crocodilo - Nível 2 Tapagem de covas -Nível 2 Distância –5200.5m Sentido Perre – Outeiro (via direita)</p>



**Escola de Engenharia  
Universidade do Minho  
Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil  
Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo V**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302  
**Local** a 144m da origem  
**Sentido** sentido decrescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** P1  
Poço com bom material  
Nem escavação nem aterro  
Zona com pele de crocodilo malha

**Sondagem P1**

**4 cm**

**Betão betuminoso**

**8 cm**

**camada de regularização semipenetração**

**7 cm**

**Camada de sub-base**

**20 cm**

**32cm**

**Leito do Pavimento**

**Solo fundação**



**Escola de Engenharia  
Universidade do Minho  
Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil  
Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo V**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302  
**Local** a 1600m da origem  
**Sentido** sentido crescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** Poço com material relativamente bom  
P2  
Zona de aterro, com pele malha fechada  
lado contrario escavação

**Sondagem P2**

**6 cm**

**Betão betuminoso**

**11 cm**

**Camada de regularização semipenetração**

**9 cm**

**Camada de sub-base (ABGE)**

**Solo de fundação**







**Escola de Engenharia**  
**Universidade do Minho**  
**Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil**  
**Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação**  
**Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães**  
**Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo V**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302  
**Local** a 4400m da origem  
**Sentido** sentido crescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** Poço com material relativamente bo  
P3  
Zona de aterro alto, com pele malha  
lado contrário escavação

**Sondagem P3**

**3.5 cm**

**Betão betuminoso**

**8.5 cm**

**Camada de regularização semipenetração**

**21.5 cm**

**Camada de sub-base (ABGE)**

**10.5 cm**

**Camada de leito de pavimento**

**Solo de fundação**





**Escola de Engenharia  
Universidade do Minho  
Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil  
Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo V**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302  
**Local** a 5900m da origem  
**Sentido** sentido decrescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** Poço com material xistoso ou trans  
P4  
Zona de escavação  
Quase sem fendilh nesta via na out

**Sondagem P4**

8 cm

**Betão betuminoso**

12.5 cm

**Camada de regularização semipenetração**

9 cm

**Camada de sub-base (ABGE)**

**Solo de fundação**



## EN-302

Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Custo (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	4cm	m2	14828	1.38	20462.64
1.2	6cm	m2	6589	1.54	10147.06
1.3	8cm	m2	11522.5	1.92	22123.2
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2	<b>betuminosas</b>				
2.1	AC14suf com 3cm após compactação	m2	14828	5.06	75029.68
2.2	AC14surf com 6 cm após compactação	m2	6589	7.98	52580.22
2.3	AC14suf com 8cm após compactação	m2	11522.5	9.83	113266.2
2.4	AC20reg com 5cm após compactação	m2	14828	7.2	106761.6
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes "in situ"</b>				
3	<b>provenientes "in situ"</b>				
3.1	Microaglomerado "in situ" a frio	m2	18111.5	3.48	63028.02
	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
4	<b>com emulsão betuminosa</b>				
4.1	Rega de colagem	kg	32939.5	0.58	9552.455
5	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
5.1	Material fresado (4cm)	ton/km	1393.832	0.1	4181.496
5.2	Material fresado (6m)	ton/km	929.049	0.1	2787.147
5.3	Material fresado (8cm)	ton/km	2166.23	0.1	6498.69
5.3	AC14surf (central-obra) com 3cm	ton/km	1045.374	0.1	3136.122
5.4	AC14surf (central-obra) com 6cm	ton/km	929.049	0.1	2787.147
5.5	AC14surf (central-obra) com 8cm	ton/km	2166.23	0.1	6498.69
5.6	AC20reg (central-obra) com 8cm	ton/km	1742.29	0.1	5226.87
				<b>Custo total:</b>	<b>504067.212</b>
	Nota: baridade= 2.35ton/m3				

## EN302

Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Custo (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	Não existe fresagem				
2	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2.1	AC10suf com 0.02m após compactação	m2	32939.5	3	98818.5
3	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes "in situ"</b>				
3.1	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com emulsão betuminosa com 1% de cimento (0.06m)	m2	6589	5.33	35119.37
3.2					
3.3	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com emulsão betuminosa com 1% de cimento (0.08m)	m2	11523	6.68	76973.64
3.4	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com emulsão betuminosa com 1% de cimento (0.15m)	m2	14828	12.88	190984.64
3.5	Custo do cimento (preço saco de 25kg)	kg	69056.1	3	8286.732
4	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
4.1	Rega de colagem	kg	32939.5	0.58	9552.455
5	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
5.1	AC10suf com 0.02m	ton/km	1548.1565	0.1	4644.4695
	Nota: baridade= 2.35ton/m3		<b>Custo total:</b>		424379.8065











FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 9  Pele crocodilo Nível 2  Desagregação material Nível 2  Distância – 68 a 82m  Sentido Sta Marta - Perre  (via esquerda)</p>
	<p>Foto 10  Pele crocodilo Nível 2  Desagregação material Nível 2  Reparações Nível 2  Distância – 68 a 92m  Sentido Sta Marta - Perre  (eixo da faixa de rodagem)</p>
	<p>Foto 11  Pele crocodilo Nível 2  Desagregação material Nível 2  Distância – 68 a 92m  Sentido Sta Marta - Perre  (via direita)</p>
	<p>Foto 12  Pele de crocodilo - Nível 3  Distância –126 a 145m  Sentido Sta Marta - Perre  (via direita)</p>









FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 17 Pele crocodilo - Nível 3 Ninhos Nível 2 Peladas Nível 3 Tapagem de covas e Reparações Nível 2 Distância -380 a 442m Sentido Sta Marta - Perre (via direito)</p>
	<p>Foto 18 Pele crocodilo - Nível 3 Tapagem de covas e Reparações Nível 3 Desagregação de material Nível 3 Distância -398m Sentido Sta Marta - Perre (via esquerda)</p>
	<p>Foto 19 Fenda longitudinal Nível 3 Distância -442 a 512m Sentido Sta Marta - Perre (eixo da faixa de rodagem)</p>
	<p>Foto 20 Fenda longitudinal Nível 3 Distância -465m (observação - início da ponte até 490m) Sentido Sta Marta - Perre (eixo da faixa de rodagem)</p>













FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 25 Pele crocodilo nível 3 Ninhos Nível 2 Peladas Nível 3 Distância –646 a 693m Sentido Sta Marta - Perre (via esquerda)</p>
	<p>Foto 26 Pele crocodilo nível 3 Ninhos Nível 2 Peladas Nível 3 Distância –675 a 680m Sentido Sta Marta - Perre (via direita)</p>
	<p>Foto 27 Pele crocodilo nível 3 Ninhos Nível 2 Peladas Nível 3 Distância –675 a 684m Sentido Sta Marta - Perre (eixo da faixa de rodagem)</p>
	<p>Foto 28 Pele crocodilo nível 3 Ninhos Nível 2 Desagregação superficial Nível 3 Distância –693 a 714m Sentido Sta Marta - Perre (via direita)</p>







FOTO	DESCRIÇÃO
	<p>Foto 37 Pele crocodilo Nível 3 Desagregação material Nível 3 Reparação de material Distância –1021 a 1026m Sentido Sta Marta - Perre (via direita)</p>
	<p>Foto 39 Pele crocodilo Nível 2 Desagregação material Nível 1 Distância –1159 a 1175m Sentido Sta Marta - Perre (via esquerda)</p>
	<p>Foto 40 Pele crocodilo Nível 2 Desagregação material Nível 1 Distância –1287 a 1296m Sentido Sta Marta - Perre (eixo da faixa de rodagem)</p>
	<p>Foto 41 Reparação com desagregação de material Distância –1287 a 1296m Sentido Sta Marta - Perre (eixo da faixa de rodagem)</p>



**Escola de Engenharia**  
**Universidade do Minho**  
**Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil**  
**Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação**  
**Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães**  
**Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo VIII**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302-1  
**Local** a 97m da origem  
**Sentido** sentido crescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** P1  
Nem escavação nem aterro  
Zona com pele de crocodilo

**Sondagem P1**

**6 cm**

**Betão betuminoso**

**15 cm**

**Camada de base granular**

**15 cm**

**Camada de sub-base**

**19 cm**

**Camada de leito de pavimento**

**Solo fundação**



**Escola de Engenharia  
Universidade do Minho  
Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil  
Lab. de Eng<sup>a</sup> - Sec. de Vias de Comunicação  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Telef: 253 510211 Fax: 253 510217**

**Anexo VIII**

**Requerente** C.M. Viana do Castelo  
**Obra** EN302-1  
**Local** a 1198m da origem  
**Sentido** sentido crescente  
**Concelho** Viana do Castelo  
**Sondagem** P2  
Nem escavação nem aterro  
Zona com pele de crocodilo

**Sondagem P2**

6 cm

**Betão betuminoso**

12 cm

**Camada de base granular**

27 cm

**Camada de sub-base granular**

18.5 cm

**Camada de leito de pavimento**

**Solo fundação**



Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Custo (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	6 cm	m2	10664.5	1.54	16423.33
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2					
2.1	AC14surf com 4 cm após compactação	m2	5571.5	6.04	33651.86
2.2	AC14surf com 6 cm após compactação	m2	5093	7.98	40642.14
2.3	AC20reg com 6 cm após compactação	m2	5571.5	8.07	44962.01
	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes "in situ"</b>				
3					
3.1	Microaglomerado "in situ" a frio	m2	5093	3.48	17723.64
	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
4					
4.1	Rega de colagem	kg	10664.5	0.58	3092.705
	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
5					
5.1	Material fresado (6m)	ton/km	1503.6945	0.1	4511.084
5.2	AC14surf (central-obra) com 4cm	ton/km	523.721	0.1	1571.163
5.3	AC14surf (central-obra) com 6cm	ton/km	718.113	0.1	2154.339
5.4	AC20reg (central-obra) com 6cm	ton/km	785.5815	0.1	2356.745
			<b>Custo total:</b>		<b>167089.01</b>
	Nota: baridade= 2.35ton/m3				

## EN302-1

Item	Descrição	Unidades	Quantidades (Áreas, Volumes e Pesos)	Preço Em euros	
				Preço Unitário (€)	Custo (€)
1	<b>Fresagem de material existente</b>				
1.1	Não existe fresagem				
2	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes de central de produção de misturas betuminosas</b>				
2.1	AC10suf com 0.02m após compactação	m2	10664.5	3	31993.5
3	<b>Fornecimento e aplicação de misturas betuminosas, em obra provenientes "in situ"</b>				
3.1	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com emulsão betuminosa com 1% de cimento (0.08m)	m2	5093	6.68	34021.24
3.2	Mistura betuminosa, "in situ", a frio com emulsão betuminosa com 1% de cimento (0.12m)	m2	5571.5	10.3	57386.45
3.3	Custo do cimento (preço saco de 25kg)	kg	20982.4	3	2517.888
4	<b>Fornecimento e aplicação de rega com emulsão betuminosa</b>				
4.1	Rega de colagem	kg	10664.5	0.58	3092.705
5	<b>Transporte de Material (30km)</b>				
5.1	AC10suf com 0.02m	ton/km	501.2315	0.1	1503.695
				<b>Custo total:</b>	<b>130515.4775</b>
	Nota: baridade= 2.35ton/m3				