



João Pedro Durand Duarte

Licenciado em Engenharia Civil

Avaliação do efeito do nível de informação no desempenho de pavimentos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Professor Luís Manuel Trindade Quaresma
Professor Auxiliar Convocado, Faculdade de Ciências e
Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Coorientador: Professor Doutor Rui Alexandre Lopes
Baltazar Micaelo, Professor Auxiliar, Faculdade de
Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António M. P. Ramos
Arguente: Doutor João Gomes Morgado
Vogal: Engenheiro Luís M. T. Quaresma

“Copyright” João Pedro Durand Duarte, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização desta dissertação simboliza o percorrer de um longo percurso e marca um ponto muito importante na minha vida.

O presente trabalho foi realizado sob orientação do Professor Luís Manuel Trindade Quaresma, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Civil e coorientação do Professor Doutor Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil.

Ao Professor Luís Quaresma quero expressar a minha gratidão pela orientação, a partilha de conhecimentos, a disponibilidade sempre demonstrada e o apoio prestado em alturas menos boas, que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Rui Micaelo agradeço a coorientação, a partilha de conhecimentos e os esclarecimentos prestados.

À empresa Infraestruturas de Portugal, agradeço a oportunidade desta colaboração e em particular Doutor Emanuel da Costa Duarte e à Engenheira Eugénia Correia, pela disponibilização dos dados necessários para a elaboração deste trabalho e nos esclarecimentos prestados, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Doutor Professor Corneliu Cismasiu, à Sr^a. Carla Figueiredo e à Sr^o. Maria da Luz, pela ajuda e apoio prestado numa altura menos feliz.

Aos meus amigos e colegas Rui Piteira, Filipe Nogueira, Pedro Parreira e Filipe Palma que me acompanharam ao longo destes anos, obrigada pela amizade e diversão.

Aos meus amigos Marco Alves e Vanessa Silva, pela força demonstrada ao longo deste trabalho e pela ajuda na revisão do texto.

À Rita, por toda ajuda, força e paciência evidenciados ao longo deste trabalho. Obrigada pelo carinho, amizade e gargalhadas.

Os meus sinceros agradecimentos à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, por me proporcionarem esta oportunidade e por me apoiarem sempre. A vossa força foi essencial nesta etapa final.

Resumo

Os pavimentos rodoviários, ao longo da sua vida, são alvo de ações do tráfego e das condições climáticas locais, cuja continuidade provoca a degradação do pavimento, sendo as degradações superficiais o reflexo dessa perda de qualidade.

Em Portugal, a rede rodoviária nacional encontra-se a cargo da Infraestruturas de Portugal (IP), sendo esta responsável pela gestão de 14000 km de estrada. Para auxiliar o processo de conservação, recorre a um Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP).

Um SGP corresponde a um sistema que auxilia a conservação da rede rodoviária através de um conjunto de ferramentas que determinam as estratégias mais económicas para assegurar boas condições de serviço. Para esse efeito, recorre a uma Base de Dados Rodoviária (BDR) que consiste num sistema de armazenamento de informação das características da rede rodoviária.

A finalidade atual da BDR da IP consiste no armazenamento das degradações presentes na rede rodoviária, provenientes dos resultados da monitorização, que avaliam o nível de serviço dos pavimentos, através de um índice de qualidade global (IQ). Trata-se de uma gestão reativa, uma vez que as intervenções de conservação ocorrem quando os pavimentos apresentam um valor baixo de IQ, segundo critérios técnicos e económicos (benefício/custo).

O principal objetivo desta dissertação é melhorar o nível de informação presente na BDR de um SGP e constituir uma nova base de dados, agregada à anterior e com uma amostragem menor, cujo nível de informação seja apropriado para o desenvolvimento de modelos de previsão de degradações.

O caso de estudo incidiu na análise de uma beneficiação do pavimento de uma estrada, utilizando os dados presentes na atual BDR da IP e as informações provenientes do Projeto de Execução e da Caracterização Final do Pavimento (CFP). Na previsão das degradações foram utilizados modelos determinísticos absolutos e incrementais.

Os resultados deste trabalho mostraram que o nível de informação presente na atual da BDR da IP coloca limitações no rigor da previsão de degradações, sendo propostas recomendações no tipo de dados que devem ser armazenados na BDR.

Palavras-Chave: Pavimentos Rodoviários, Sistema de Gestão de Pavimentos, Base de Dados Rodoviária, Modelos de Previsão de Degradações, Nível de Informação

Abstract

Throughout their lives, road pavements are subjected to traffic and local climatic actions, that cause its degradation leading to a loss of serviceability.

In Portugal, *Infraestruturas de Portugal* (IP) is in charge of the national road network and is responsible for the management of 14000 km of roads, which is supported by a Pavement Management System (PMS).

The PMS is a system that helps the maintenance of the road network through a set of tools to determine the most economic strategies to ensure the best service conditions. This system uses a Road Database where it is stored information concerning the characteristics of the road network.

The current purpose of the IP's Road Database consists in the storage of information regarding the distress of the road network (from the results of monitoring) that evaluates the pavement condition through an Global Quality Index (QI). The conservation interventions only occur when roads have a low value of QI, according to the technical and economical criteria.

The main objective of this work is to improve the level of information present in the Road Database of a PMS and constitute a new database, aggregated to the previous and with a smaller sample, with an appropriate level of information for the development of distress prediction models.

The case study focused on the analysis of a rehabilitation of a pavement section, using the data included in the current Road Database and the information obtained from the Project of Rehabilitation. In predicting distress were used absolute and incremental deterministic models.

The results of this study showed that the present level of information present in the current IP's Road Database places limitations on the distress of prediction accuracy and are proposed recommendations on the type of data to be stored in the Road Database.

Keywords: Road Pavements, Pavement Management System, Road Database, Pavement Performance Models, Information Level

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Objetivo e Âmbito do Trabalho | 3 |
| 1.3. Organização | 4 |
| 2. PREVISÃO DE DEGRADAÇÕES | 5 |
| 2.1. Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis | 5 |
| 2.1.1. Auscultação Estrutural | 7 |
| 2.1.2. Interpretação da Bacia de Deflexão..... | 10 |
| 2.1.3. Caracterização Mecânica do Pavimento..... | 15 |
| 2.2. Modelos Baseados em Sistemas de Gestão de Pavimentos | 18 |
| 2.2.1. Ciclo de Gestão de Pavimentos | 20 |
| 2.2.2. Sistema de Gestão de Pavimento da IP | 28 |
| 2.3. Conclusões | 34 |
| 3. CASO DE ESTUDO | 37 |
| 3.1. Enquadramento | 37 |
| 3.2. Metodologia | 38 |
| 3.2.1. Modelos de Previsão do Fendilhamento | 38 |
| 3.2.2. Modelos de Previsão de Rodeiras | 42 |
| 3.2.3. Tráfego | 43 |
| 3.3. Levantamento das Condições da Rede | 45 |
| 3.4. Análise dos dados da BDR da IP | 53 |
| 3.4.1. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento | 53 |
| 3.4.2. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento | 55 |
| 3.4.3. Modelos Mecanicistas de Previsão da Evolução do Fendilhamento..... | 57 |
| 3.4.4. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras..... | 58 |
| 3.5. Análise dos dados do PE | 63 |
| 3.5.1. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento | 65 |
| 3.5.2. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento | 67 |
| 3.5.3. Modelos Mecanicistas de Previsão da Evolução do Fendilhamento..... | 68 |
| 3.5.4. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras..... | 69 |
| 3.6. Análise aos dados da Caracterização Final do Pavimento | 71 |
| 3.6.1. Determinação das Características do Pavimento..... | 71 |
| 3.6.2. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento | 79 |
| 3.6.3. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento | 82 |
| 3.6.4. Modelo Mecanicista de Previsão da Evolução do Fendilhamento | 84 |

| | |
|--|------------|
| 3.6.5. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras..... | 88 |
| 3.6.6. Validação das Relações entre os Parâmetros Estruturais | 92 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 97 |
| 4.1. Discussão dos Resultados Obtidos | 97 |
| 4.2. Recomendações para Trabalhos Futuros..... | 100 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 101 |
| ANEXO A – CÁLCULO DO NÚMERO ESTRUTURAL MODIFICADO DO PAVIMENTO | 109 |
| ANEXO B – DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL..... | 113 |
| ANEXO C – PARÂMETROS UTILIZADOS NA PREVISÃO DAS RODEIRAS, SEGUNDO O MODELO HDM-4..... | 115 |
| ANEXO D – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARGA COM FWD..... | 120 |
| ANEXO E – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PROSPECÇÃO | 131 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Processo de evolução das degradações superficiais (Branco, F. et al, 2011)..... | 2 |
| Figura 2.1 – Aplicação da carga no pavimento (adaptado de Bernucci, L. B. et al, 2010)..... | 8 |
| Figura 2.2 - Princípio de execução do ensaio de carga com FWD (adaptado de WSDT, 2005) .. | 9 |
| Figura 2.3 – Método das Diferenças Acumuladas (adaptado de NCHRP, 2004) | 11 |
| Figura 2.4 – Diferentes bacias de deflexão para a mesma deflexão máxima (adaptado de Lopes, F. M. et al, 2013)..... | 12 |
| Figura 2.5 – Princípio de execução da retroanálise (adaptado de WSDT, 2005)..... | 15 |
| Figura 2.6 - Ciclo de Gestão de uma Rede Rodoviária (adaptado de Ferreira, A. et al, 2011) ... | 21 |
| Figura 2.7 – Fatores que influenciam a degradação dos pavimentos (adaptado de Svensson, M., 2013) | 22 |
| Figura 2.8 - Pavimento de uma estrada da Índia, durante uma vaga de calor (Exame Informática, 2015) | 23 |
| Figura 2.9 – Evolução dos valores da deflexão com o tempo (Francisco, A., 2012)..... | 24 |
| Figura 2.10 – Programação anual por níveis mínimos de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007) ... | 26 |
| Figura 2.11 – Programação plurianual por níveis mínimos de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007) | 27 |
| Figura 2.12 – Programação plurianual por nível de intervenção de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007) | 27 |
| Figura 2.13 – Estrutura esquemática do SGP da IP (adaptado de EP, 2009)..... | 29 |
| Figura 2.14 - Equipamento Viziroad (Santinho Horta, C., et al., 2013)..... | 30 |
| Figura 2.15 - Perfilómetro a laser da IP (Santinho Horta, C., et al., 2015)..... | 30 |
| Figura 2.16 – Modelo de referenciação da rede rodoviária nacional (adaptado de Morgado, J., 2010) | 31 |
| Figura 3.1 - Delimitação de Portugal Continental em função das temperaturas médias anuais (à esquerda) e das precipitações acumuladas anuais (à direita) (Silva, R., 2012) | 41 |
| Figura 3.2 – Índice de Qualidade | 46 |
| Figura 3.3 – Irregularidade Longitudinal | 46 |
| Figura 3.4 – Percentagem de área com fendilhamento tipo pele de crocodilo..... | 47 |
| Figura 3.5 – Irregularidade Transversal | 48 |
| Figura 3.6 – Modelo do fio utilizado pela IP, no cálculo da profundidade da rodeira (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006)..... | 49 |
| Figura 3.7 – Aumento do número de sensores na localização dos pontos altos e baixos do perfil (Mallela, R. e Wang, H., 2006) | 49 |
| Figura 3.8 – Variação do posicionamento lateral do perfilómetro (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006)..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.9 - Efeito da variação do posicionamento lateral na medição da profundidade das rodeiras (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006) | 50 |
| Figura 3.10 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo HDM-4, para os volumes de tráfego da BDR | 55 |
| Figura 3.11 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para os volumes de tráfego da BDR | 57 |
| Figura 3.12 – Influência da variação da qualidade de drenagem na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4 | 59 |
| Figura 3.13 – Influência do tipo de betume na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4 | 60 |
| Figura 3.14 – Influência da variação do tráfego na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4 | 61 |
| Figura 3.15 – Influência do VIM das camadas betuminosas na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4 | 62 |
| Figura 3.16 – Localização dos trabalhos de pavimentação previstos no PE | 64 |
| Figura 3.17 – Previsão do fendilhamento para as duas soluções previstas para secção C086, segundo o modelo HDM-4 | 66 |
| Figura 3.18 - Previsão do fendilhamento para as duas soluções previstas para secção C050, segundo o modelo HDM-4 | 66 |
| Figura 3.19 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para as soluções de pavimentação estimadas em PE | 68 |
| Figura 3.20 – Previsão de rodeiras para as duas soluções previstas para secção C086, segundo o modelo HDM-4 | 70 |
| Figura 3.21 – Previsão de rodeiras para as duas soluções previstas para secção C050, segundo o modelo HDM-4 | 70 |
| Figura 3.22 – Identificação dos trechos com comportamento estrutural homogéneo, sentido crescente | 72 |
| Figura 3.23 – Identificação dos trechos com comportamento estrutural homogéneo, sentido decrescente | 72 |
| Figura 3.24 - Evolução do volume de tráfego de veículos pesados (INE, 2015) | 78 |
| Figura 3.25 – Comparação entre a evolução do tráfego segundo o Projeto e o INE | 78 |
| Figura 3.26 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, nos trechos identificados no sentido crescente | 80 |
| Figura 3.27 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, nos trechos identificados no sentido decrescente | 81 |
| Figura 3.28 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, para os cenários de tráfego considerados | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.29 – Previsão do fendilhamento para o cenário otimista, segundo o modelo Mecanicista, nos trechos do sentido crescente, | 85 |
| Figura 3.30 – Previsão do fendilhamento para o cenário otimista, segundo o modelo Mecanicista, nos trechos do sentido decrescente | 85 |
| Figura 3.31 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para o cenário otimista (esquerda) e para o cenário pessimista (direita) | 87 |
| Figura 3.32 – Influência da variação da compactação relativa na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4 | 89 |
| Figura 3.33 – Previsão de rodeiras nos trechos do sentido crescente, da secção C050, segundo o modelo HDM-4 | 89 |
| Figura 3.34 – Previsão de rodeiras nos trechos do sentido decrescente, da secção C050, segundo o modelo HDM-4 | 90 |
| Figura 3.35 – Previsão de rodeiras, segundo o HDM-4, para os cenários de tráfego considerados | 91 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Deflexões influentes na avaliação da capacidade de carga do pavimento (Kim, Y. R. et al, 2002; Lopes, F. M. et al, 2010; Schnoor, H. et al, 2012)..... | 13 |
| Tabela 2.2 – Base de dados rodoviária da IP (adaptado de EP, 2009 e Santinho Horta, C. et al., 2013) | 32 |
| Tabela 2.3 - Classe de qualidade adotada pela IP (Santinho Horta, C., et al., 2015)..... | 33 |
| Tabela 3.1 – Nível de informação para a previsão do fendilhamento | 39 |
| Tabela 3.2 – Módulos de deformabilidade para a região A e coeficientes de drenagem para a região E (Silva, R., 2012)..... | 41 |
| Tabela 3.3 - Nível de informação para a previsão da profundidade média das rodeiras | 43 |
| Tabela 3.4 – Taxa de crescimento e fatores de agressividade do tráfego..... | 44 |
| Tabela 3.5 – Homogeneidade do valor médio da rodeira para a secção C086..... | 51 |
| Tabela 3.6 – Homogeneidade do valor médio da rodeira por cada quilómetro da secção C086 | 52 |
| Tabela 3.7 – Histórico do pavimento de acordo com a BDR da IP..... | 53 |
| Tabela 3.8 – Dados de tráfego armazenados na BDR da IP..... | 53 |
| Tabela 3.9 – Coeficientes estruturais e de drenagem utilizados no cálculo do SNC (Silva, R., 2012) | 54 |
| Tabela 3.10 – SNC estimado de acordo com o histórico do pavimento..... | 54 |
| Tabela 3.11 – Valores de NAEP (80 kN) para os dados de tráfego armazenado na BDR | 54 |
| Tabela 3.12 – Valores de NAEP (100 kN) para os dados de tráfego armazenados na BDR | 56 |
| Tabela 3.13 – Previsão do início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS, para os valores de tráfego da BDR..... | 56 |
| Tabela 3.14 – Valor de ϵ_t e de NAEP (130 kN) para os dados armazenados na BDR..... | 57 |
| Tabela 3.15 – Descrição dos cenários considerados | 58 |
| Tabela 3.16 – Índice de Vazios para as camadas betuminosas (EP, 2014b) | 61 |
| Tabela 3.17 – Estrutura do pavimento e suas características mecânicas..... | 63 |
| Tabela 3.18 – Volumes de tráfego para o Horizonte de Projeto (2009/2019)..... | 64 |
| Tabela 3.19 - Valores de SNC para as soluções previstas no PE | 65 |
| Tabela 3.20 – Valores de NAEP de 80 kN de acordo com PE..... | 65 |
| Tabela 3.21 – Valores de NAEP de 100 kN de acordo com PE..... | 67 |
| Tabela 3.22 – Previsão do início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS | 67 |
| Tabela 3.23 – Valores de ϵ_t e respetivo dano para as soluções de pavimentação do PE | 68 |
| Tabela 3.24 – Valores de NAEP de 130 kN de acordo com PE..... | 68 |
| Tabela 3.25 – Identificação dos trechos considerados na retroanálise | 74 |
| Tabela 3.26 – RMS resultante do processo de retroanálise..... | 75 |
| Tabela 3.27 – Cálculo inverso do CBR do solo de fundação..... | 75 |
| Tabela 3.28 - Caracterização mecânica do pavimento para a temperatura de serviço | 76 |

| | |
|---|----|
| Tabela 3.29 – Volumes de tráfego indicados nos Anuários | 77 |
| Tabela 3.30 – Volumes de tráfego considerados nos modelos de previsão | 79 |
| Tabela 3.31 – Valores de SNC nos trechos estruturalmente homogêneos | 79 |
| Tabela 3.32 – Valores de NAEP (80 kN) para os dois cenários de tráfego | 79 |
| Tabela 3.33 - Valores de NAEP (100 kN) para os dois cenários de tráfego | 82 |
| Tabela 3.34 – Previsão do início do fendilhamento no sentido crescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados..... | 82 |
| Tabela 3.35 – Previsão do início do fendilhamento no sentido decrescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados..... | 83 |
| Tabela 3.36 – Valores de NAEP (130 kN) para os dois cenários de tráfego..... | 84 |
| Tabela 3.37 – Valores de ϵ_t e respectivo dano para os trechos | 84 |
| Tabela 3.38 – Homogeneidade dos valores das rodeiras nos trechos do sentido decrescente | 91 |
| Tabela 3.39 – Relação entre ϵ_t e SNC | 92 |
| Tabela 3.40 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre ϵ_t e SNC..... | 93 |
| Tabela 3.41 – Relação entre ϵ_t e SCI..... | 94 |
| Tabela 3.42 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre ϵ_t e SCI..... | 94 |
| Tabela 3.43 – Relação entre SNC e SCI | 95 |
| Tabela 3.44 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre SNC e SCI | 95 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Abreviaturas e Siglas

AASHO – American Association of State Highway Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ALT – Secções de Teste Acelerado (Accelerated Loading Testing)

BB – Betão Betuminoso

BDR – Base de Dados Rodoviária

CBR – Índice de capacidade de carga da fundação (Californian Bearing Ratio)

CETO – Caderno de Encargos Tipo Obra

CFP – Caracterização Final do Pavimento

CSE – Caracterização da Situação Existente

Desg. – Camada de Desgaste

EP – Estradas de Portugal

ESAL – Eixo Simples Padrão (Equivalent Single Axle Load)

FWD – Falling Weight Deflectometer

HDM - Highway Development and Management

IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes

INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias

IQ – Índice de Qualidade

IP – Infraestruturas de Portugal

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IRI – Índice de Irregularidade Longitudinal (International Roughness Index)

JAE – Junta Autónoma das Estradas

MACOPAV – Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional

MB – Macadame Betuminoso

MESALs – Milhões de Passagens de Eixo Simples Padrão (Million Equivalent Single Axle Load)

MH – Macadame Hidráulico

NMQ – Nível Mínimo de Qualidade

NAVp – Número Acumulado de Veículos Pesados

NAEP – Número Acumulado de Eixo-Padrão

PARIS – Performance Analysis of Road Infrastructure

Pk – Ponto Quilométrico

Pk's – Pontos Quilométricos
PSI – Present Serviceability Index
PE – Projeto de Execução
Reg. – Camada de Regularização
RMS – Root Mean Square
RS – Revestimento Superficial
RLT – Secções de Teste Regular (Real-time Loading Test)
SAE – Sistema de Avaliação de Estratégias
SGP – Sistema de Gestão de Pavimentos
SNC – Número Estrutural Modificado
SN – Número Estrutural
SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SPB – Semipenetração Betuminosa
TMDA_p – Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados
Tmma – Temperatura média mensal anual
WSDT – Washington State Department of Transportation

Símbolos

a_1 – Coeficiente estrutural da camada 1
 a_2 – Coeficiente estrutural da camada 2
BDI – Índice de Danos da Base (Base Damage Index)
BCI – Índice de Curvatura da Base (Base Curvature Index)
CBR_c – Valor de CBR calculado
CBR_a – Valor de CBR adotado
 C_M – Força de impacto medida
 C_P – Força de impacto padrão
COMP – Índice de compactação relativa da fundação
 C_V – Coeficiente de variação
 C_{3t} – Coeficiente de área com fendilhamento tipo pele de crocodilo no ano t
 $D_i^{\text{Normalizada}}$ – Deflexão normalizada no geofone i para a força de impacto padrão
 D_i^{Medida} – Deflexão medida no geofone i para a força de impacto medida
 d_i – Deflexão no ponto de ensaio i
 d_{ci} – Deflexão calculada no geofone i
 d_{mi} – Deflexão medida no geofone i

d_M – Média da deflexão em todos os pontos de ensaio

D_K – Deflexão característica

D_0 – Deflexão registada no centro da placa de carga

D_{30} – Deflexão registada a 30 cm do centro da placa de carga

D_{60} – Deflexão registada a 60 cm do centro da placa de carga

D_{90} – Deflexão registada a 90 cm do centro da placa de carga

E_f – Módulo de deformabilidade do solo de fundação

E_m – Módulo de deformabilidade da última camada betuminosa

E_T – Módulo de deformabilidade para uma temperatura T

E_1 – Módulo de deformabilidade da camada 1

E_2 – Módulo de deformabilidade da camada 2

IQ_t – Índice de Qualidade no ano t

IRI_t – Índice de Irregularidade Longitudinal no ano t

E_{20} – Módulo de deformabilidade de referência para 20°C

f – Coeficiente de equivalência que expressa o número de passagens de um eixo de carga P_1 que provoca o mesmo dano que a passagem do eixo de carga P_2

n – Número total de geofones em cada ponto de ensaio

N_1 – Número de passagens de um eixo simples de carga P_1 que provoca um determinado dano

N_2 – Número de passagens de um eixo simples de carga P_2 que provoca um determinado dano

N_{10} – Número de cargas acumuladas de um eixo-padrão de 100 kN no início do fendilhamento

N_{10Y} – Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 100 kN

N_{80} – Número de eixos-padrão de 80 kN

N_{80Y} – Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 80 kN

N_{130Y} – Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 130 kN

K_s – Parâmetro associado à probabilidade de sobrevivência atribuída no âmbito do dimensionamento

P – Período de dimensionamento

R_t – Profundidade média das rodeiras no ano t

RC – Raio de Curvatura

SCI – Índice de Curvatura da Superfície (Surface Curvature Index)

SCI_k – Índice de Curvatura da Superfície característico para um percentil de 85%

t – Taxa de crescimento

v_b – Percentagem volumétrica de betume

VIM – Índice de vazios na mistura betuminosa

$VIM_{\min.}$ – Valor mínimo de índice de vazios para a mistura betuminosa

$VIM_{m\acute{a}x.}$ – Valor máximo de ndice de vazios para a mistura betuminosa

x – Expoente que caracteriza o tipo de pavimento rodoviário

Z_i – Diferença acumulada no ponto de ensaio i

Z_{i-1} – Diferença acumulada no ponto de ensaio $i-1$

α – Fator de agressividade

ϵ_t – Extensão máxima de tração

ϵ_z – Extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação

μ – Valor médio das deflexões no trecho em estudo

σ – Desvio-padrão das deflexões do trecho em estudo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A rede rodoviária representa a principal infraestrutura de transporte de pessoas e mercadorias, sendo um elemento essencial para o desenvolvimento socioeconómico de qualquer país (Branco, F. et al., 2011).

Nos países desenvolvidos, grande parte da rede rodoviária já se encontra construída. Assim, o envelhecimento dos pavimentos assume um papel importante na evolução da sua qualidade, obrigando a uma maior atenção para a conservação da rede rodoviária existente. Tendo em consideração o aumento das restrições económicas nas administrações rodoviárias, é fundamental adequar o nível de investimento às necessidades de conservação, maximizando a eficiência na gestão da rede rodoviária.

De acordo com o Relatório da Competitividade Mundial 2014-2015 divulgado pelo Fórum Económico Mundial (*World Economic Forum*), Portugal apresenta uma elevada qualidade das infraestruturas rodoviárias nacionais, ocupando o segundo lugar a nível mundial e o primeiro lugar a nível europeu. A avaliação é realizada com base na qualidade das infraestruturas rodoviárias, na abrangência territorial e na capacidade de resposta às necessidades de desenvolvimento do país (EP, 2009).

A rede rodoviária nacional está atualmente a cargo da Infraestruturas de Portugal (IP). A IP é uma sociedade anónima de capitais públicos que resultou da fusão entre duas empresas públicas, no domínio rodoviário (EP, S.A.) e no domínio ferroviário (REFER, E.P.E.), em Junho de 2015. Ao nível rodoviário, o serviço que presta incide na exploração, conservação e requalificação das estradas classificadas como rede rodoviária nacional (IP, 2015).

Na conservação da rede rodoviária nacional, a IP recorre a um Sistema de Gestão de Pavimentos, denominado por SGPav, que se encontra em vigor desde 2007. A estratégia de conservação adotada resulta da avaliação da condição de circulação dotada pelos pavimentos (também designada por nível de serviço do pavimento), através da monitorização anual da rede rodoviária, que se traduz num índice de qualidade global (IQ), intervencionando quando este atinge um valor mínimo admissível (Santinho Horta, C., et al, 2013).

A estratégia de conservação a este nível envolve recursos financeiros muito significativos, visto haver necessidade de restabelecer não só as características funcionais, conforto e segurança, como também as características estruturais, devido ao elevado nível de gravidade das degradações.

Os modelos de previsão de degradação permitem avaliar a evolução de uma determinada degradação a longo prazo, a partir do estado atual do pavimento, dos fatores de degradação

(tráfego e clima) e dos efeitos resultantes das ações de conservação. Deste modo, antecipam cenários futuros relacionados com as degradações do pavimento, permitindo planejar ações de conservação de caráter corrente, com menores recursos financeiros, aumentando a vida útil do pavimento e diminuindo os custos associados ao ciclo de vida do pavimento.

A previsão de degradações pode ser realizada durante o dimensionamento de pavimentos, ao nível de projeto, ou em pavimentos em serviço, ao nível da rede. Ao nível de projeto, permite avaliar economicamente as soluções quanto ao seu desempenho futuro, enquanto ao nível da rede avaliam a evolução da degradação. No entanto, estes dois níveis podem ser interligados, uma vez que os resultados provenientes da fase de projeto podem auxiliar as tomadas de decisões ao nível da rede.

Os pavimentos rodoviários são dimensionados para proporcionar uma circulação rodoviária com segurança e conforto, durante um determinado período de vida útil. Após a sua construção, os pavimentos são alvo de ações provenientes da passagem do tráfego e das condições climáticas que, continuamente, promovem uma diminuição da qualidade inicial do pavimento, sendo as degradações superficiais o reflexo dessa perda de qualidade.

O processo de degradação de um pavimento resulta de dois grupos de fatores: fatores ativos, o tráfego e as condições climáticas, responsáveis principais pela degradação; fatores passivos próprios do pavimento construído, a espessura das camadas, as características dos materiais utilizados, a qualidade da construção. A ação conjunta destes dois grupos fatores influencia o desempenho do pavimento a longo prazo (Branco, F. et al, 2011).

As degradações superficiais dos pavimentos flexíveis podem surgir, inicialmente, de forma isolada, associadas frequentemente à diminuição da qualidade estrutural do pavimento. No entanto, o aparecimento de outros tipos de degradação é consequência da degradação inicial, sendo responsáveis pela diminuição das condições de circulação (Figura 1.1).

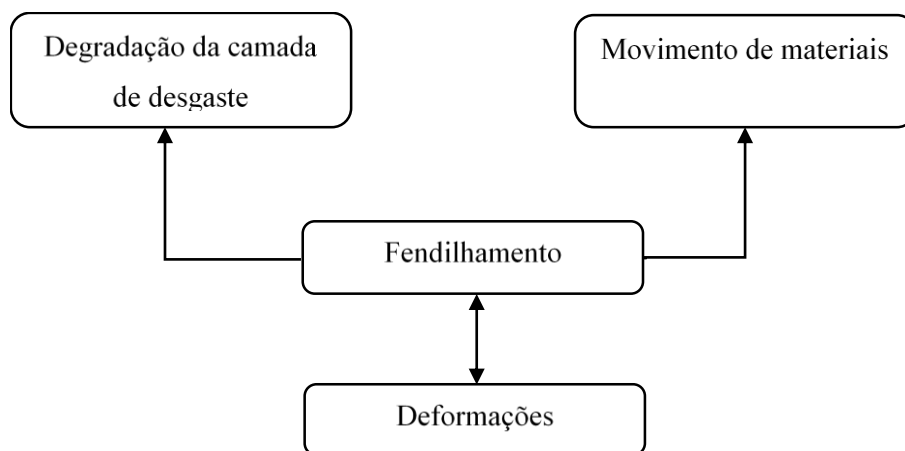


Figura 1.1 – Processo de evolução das degradações superficiais (Branco, F. et al, 2011)

Na Figura 1.1 observa-se a interação que existe entre as diferentes famílias de degradação que ocorrem nos pavimentos flexíveis. A interação assenta no princípio da cadeia das consequências, sendo visível que o fendilhamento e/ou deformações são a principal causa das restantes famílias de degradação (Branco, F. et al, 2011).

O desenvolvimento de modelos de previsão iniciou-se na década de 1980, a nível europeu (COST 324, 1997). A integração de modelos existentes em Sistemas de Gestão de Pavimentos necessita de uma Base de Dados Rodoviária (BDR) que apresente informações de um elevado número de secções, de modo a permitir a adaptação destes modelos às características da rede rodoviária. Na BDR da IP são armazenadas informações sobre o nível de serviço dos pavimentos, através das degradações que suportam o IQ e os registos das intervenções que se realizam na rede.

Dada a elevada qualidade da infraestrutura rodoviária nacional, tal como indicado no Relatório da Competitividade Mundial 2014-2015, a consideração de modelos de previsão de degradações no SGP, torna-se fundamental para uma estratégia proativa na preservação dessa qualidade.

Em trabalhos anteriores (Silva, R., 2012 e Sá, S., 2014) foram desenvolvidos modelos de previsão do fendilhamento e das rodeiras para a rede rodoviária nacional, respetivamente, em colaboração da IP através da utilização da sua Base de Dados Rodoviária. Um fator comum nesses trabalhos correspondeu à necessidade de confirmar as informações armazenadas na BDR.

Tendo em conta o que foi referido anteriormente, torna-se importante avaliar o efeito do nível de informação no desempenho do pavimento, identificando os parâmetros que devem ser armazenados na BDR da IP.

1.2. Objetivo e Âmbito do Trabalho

O principal objetivo desta dissertação é melhorar o nível de informação presente na BDR de um SGP e constituir uma nova base de dados, agregada à anterior e com uma amostragem menor, cujo nível de informação seja apropriado para o desenvolvimento de modelos de previsão de degradações.

No âmbito deste trabalho, o caso de estudo, em parceria com a IP, incidiu na análise de uma beneficiação de uma estrada, utilizando os dados presentes na atual BDR da IP e as informações provenientes do Projeto de Execução (PE) e da Caracterização Final do Pavimento (CFP). Recorrendo a modelos de previsão determinísticos absolutos e incrementais para o fendilhamento e rodeiras, avaliou-se o desempenho do pavimento de acordo com as três fontes de informação.

Ainda no âmbito deste trabalho, foi possível validar as relações existentes que correlacionam parâmetros mecanicistas com os índices que quantificam a capacidade estrutural de um pavimento, de modo a interligar o dimensionamento de pavimentos com os modelos de previsão desenvolvidos ao nível de rede.

1.3. Organização

Esta dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos, os quais se encontram divididos em subcapítulos. Os subcapítulos ainda podem apresentar divisões menores.

No Capítulo 1, “Introdução”, apresenta-se o enquadramento onde se refere a importância deste estudo, o objetivo e o âmbito deste trabalho e a sua organização.

No Capítulo 2, “Previsão de Degradações”, descrevem-se como estas são abordadas ao nível do dimensionamento de pavimentos, através de critérios de dimensionamento empírico-mecanicistas e ao nível de pavimentos em serviço, através de modelos baseados em SGP que resultam da relação de degradações observadas e determinados parâmetros. São referidas, também, as ferramentas que usualmente estruturam o SGP, bem como todo ciclo que envolve a conservação de pavimentos. No fim deste capítulo é apresentada a estrutura atual do SGP da IP.

No Capítulo 3, “Caso de Estudo” é referida a estrada em estudo, bem como o nível de informação presente na BDR da IP, no PE e na CFP. Analisou-se os resultados da monitorização da qualidade da rede rodoviária, efetuada na estrada em estudo. Posteriormente, avaliou-se o desempenho do pavimento, para o fendilhamento e para as rodeiras, através do Modelo HDM-4, dos Modelos do Projeto PARIS e o Modelo Mecanicista de Previsão do Fendilhamento, de acordo com as informações presentes. Avaliou-se, também, as relações existentes que correlacionam parâmetros mecanicistas com os índices que quantificam a capacidade de carga de um pavimento.

No Capítulo 4, “Considerações Finais”, apresentam-se as recomendações finais do trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

2. PREVISÃO DE DEGRADAÇÕES

2.1. Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

A previsão de degradações pode ser abordada tanto ao nível do dimensionamento de pavimentos flexíveis, seja construção nova ou reabilitação, como também ao nível de pavimentos em serviço, através de modelos baseados em SGP.

Em Portugal, o dimensionamento de pavimentos flexíveis é realizado através de critérios de dimensionamento que visam limitar as degradações estruturais que ocorrem neste tipo de pavimentos, nomeadamente o fendilhamento excessivo e a deformação permanente elevada (rodeiras) à sua superfície. No entanto, esses critérios apenas qualificam o desempenho do pavimento durante o seu período de vida útil e não quantificam a previsão do nível de gravidade do fendilhamento e das rodeiras ao longo desse mesmo período.

Os critérios de dimensionamento usualmente adotados são os seguintes (Quaresma, L., 2015):

- Critério de Fadiga – Limitar a extensão máxima de tração na base das camadas betuminosas, local onde se instalam as extensões de tração com maior intensidade, impedindo a rotura por fadiga destas camadas que conduza ao fendilhamento excessivo na superfície do pavimento;
- Critério de Deformação Permanente – Limitar a extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação, material com menor resistência quanto à deformabilidade, reduzindo a contribuição da fundação na formação das rodeiras que conduza à deformação excessiva na superfície do pavimento.

Através dos critérios referidos anteriormente é possível relacionar o valor da extensão obtida com o número de eixos-padrão admissíveis até à ruína do material, sendo o método empírico-mecanicista da *Shell* o mais utilizado em Portugal, em virtude do método empírico-mecanicista de *Nottingham* ser muito conservador (Branco, F. et al., 2011).

O método da *Shell*, para o critério de fadiga e para o critério de deformação permanente, apresenta as expressões de cálculo (2.1) e (2.2), respetivamente (Micaelo, R., 2014).

$$\varepsilon_t = (0,856 \times v_b + 1,08) \times E_m^{-0,36} \times N_{80}^{-0,2} \quad (2.1)$$

Onde,

ε_t – Extensão máxima de tração (adimensional);

v_b – Percentagem volumétrica de betume;

E_m – Módulo de deformabilidade da última camada betuminosa (Pa);

N_{80} – Número de eixos-padrão de 80 kN.

$$\varepsilon_z = K_s \times N_{80}^{-0,25} \quad (2.2)$$

Onde,

ε_z – Extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação (adimensional);

N_{80} – Número de eixos-padrão de 80 kN;

K_s – Parâmetro associado à probabilidade de sobrevivência atribuída no âmbito do dimensionamento do pavimento ($2,8 \times 10^{-2}$ para 50% de grau de confiança; $2,1 \times 10^{-2}$ para 85% e $1,8 \times 10^{-2}$ para 95%).

A análise estrutural de um pavimento assenta em modelos de cálculo que visam determinar o estado de tensão/deformação dos materiais, sendo o modelo de *Burmister* o mais utilizado (Branco, F. et al., 2011). Neste modelo, o pavimento é assimilado por um conjunto de camadas sobrepostas, horizontalmente infinitas e com espessura finita, à exceção da fundação que apresenta uma espessura infinita. Os materiais que constituem as camadas são considerados como homogêneos, isotrópicos e apresentam um comportamento linear (Micaelo, R., 2014).

Um dimensionamento adequado obtém-se quando o dano – quociente entre o número de eixos-padrão estimados e o número de eixos-padrão admissíveis para o critério mais condicionante – se encontra no intervalo compreendido entre 80% e 100%, resultando a seguinte metodologia (Quaresma, L., 2015):

- Caracterizar as solicitações, através do volume de tráfego que possa vir a circular durante o período de dimensionamento e da temperatura de serviço a que o pavimento será sujeito;
- Estabelecer a composição da estrutura, em termos de características geométricas, tipologia de materiais e espessuras das camadas, e em termos de características mecânicas em função da temperatura de serviço, para os materiais betuminosos, e dos resultados dos ensaios de carga ou de cartas geológicas, para a fundação, em caso de beneficiação do pavimento ou pavimento novo, respetivamente;
- Analisar estruturalmente o pavimento, calculando o estado de tensão e de deformação nos locais críticos;
- Comparar os valores calculados com os valores admissíveis, definidos pelos critérios de dimensionamento;
- Fazer ajustamentos nos materiais ou nas espessuras das camadas de modo a atingir um dimensionamento adequado, correspondendo à solução económica e tecnicamente viável.

Após a realização dos trabalhos de pavimentação, é fundamental avaliar a qualidade global do pavimento construído, em termos funcionais e estruturais, sendo esta análise designada por Caracterização Final do Pavimento (CFP). Quaisquer ações de conservação ou beneficiação da

rede rodoviária nacional, a IP considera obrigatório a realização desta análise, sendo efetuada antes da abertura ao tráfego. Os parâmetros que são objetos desta análise são (EP, 2014):

- Índice de Irregularidade Longitudinal, IRI (*International Roughness Index*);
- Macrotextura Superficial;
- Coeficiente de Atrito;
- Capacidade Estrutural do Pavimento Construindo, em caso de existir estrutura nova do pavimento ou reforço do pavimento existente, para espessuras das misturas betuminosas superiores a 0,10m.

A previsão do desempenho futuro de um pavimento construído, entendido como a capacidade de suportar as cargas do tráfego e as que resultam das condições climáticas, de modo a proporcionar uma circulação confortável e segura, é calculado quanto à sua componente estrutural através da vida residual (Freitas, E. F., et al, 2001).

O cálculo da vida residual do pavimento é parcialmente semelhante ao procedimento utilizado no cálculo do dano, em fase de dimensionamento. As diferenças entre estes dois parâmetros reside na estrutura do pavimento, uma vez que as espessuras das camadas são obtidas pela extração de carotes para os materiais betuminosos e o módulo de deformabilidade das camadas é determinado através de ensaios de carga.

Tal como no dano, a vida residual apenas qualifica o desempenho do pavimento construído. Ainda assim, este desempenho resulta das características mecânicas determinadas *in situ*, enquanto em dimensionamento estas são estimadas em função da temperatura local.

2.1.1. Auscultação Estrutural

A auscultação estrutural pode ser definida como a metodologia que permite determinar as características mecânicas de um pavimento rodoviário, isto é, o módulo de deformabilidade das camadas que o constituem o pavimento.

O parâmetro utilizado nessa metodologia é a deflexão e corresponde a uma deformação vertical reversível, traduzindo a resposta elástica do pavimento, quando este é solicitado por uma carga, permitindo avaliar mecanicamente toda a estrutura do pavimento (Bernucci, L. B. et al, 2010).

Os ensaios de carga são realizados com recurso a defletómetros. Estes equipamentos aplicam a carga no pavimento e, posteriormente, efetuam a medição da deflexão provocada pela carga. Atendendo à velocidade de aplicação da carga e ao método de leitura da deflexão, existem diferentes tipos de defletómetros utilizados na auscultação estrutural do pavimento (Branco, F. et al., 2011):

- Carga aplicada de forma quase-estática:
 - Leitura Estacionária:
 - Viga de *Benkleman*;
 - Leitura Contínua:
 - Defletógrafo *Flash* (resultou da evolução do antigo Defletógrafo de *Lacroix*);
 - Curviâmetro;
- Carga aplicada de forma dinâmica:
 - Leitura Estacionária:
 - Defletómetro de Impacto (*Falling Weight Deflecometer*, FWD).

Neste trabalho, será dado ênfase somente ao Defletómetro de Impacto (FWD), uma vez que este foi o equipamento utilizado no caso de estudo, por imposição do Caderno de Encargo Tipo Obra (CETO) da IP (EP, 2014).

O FWD aplica uma carga no pavimento de forma dinâmica, simulando a passagem dos veículos. A aplicação da carga na superfície do pavimento realiza-se através da queda de uma massa sobre uns amortecedores (Figura 2.1). Estes amortecedores, por sua vez, transmitem essa força de impacto a uma placa rígida, que está em contacto com a superfície do pavimento, distribuindo as tensões uniformemente pelo pavimento (Bernucci, L. B. et al, 2010).

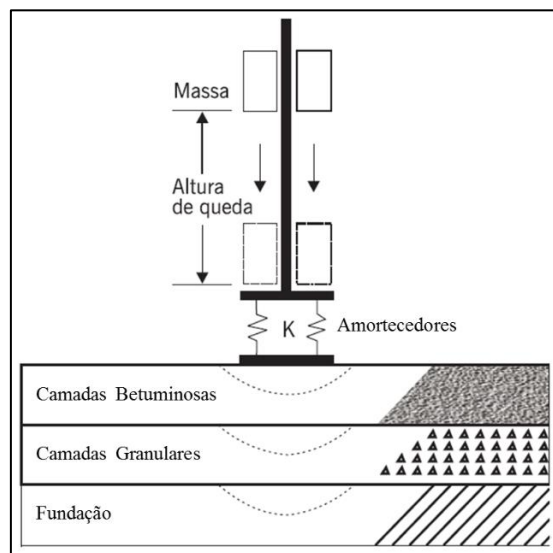


Figura 2.1 – Aplicação da carga no pavimento (adaptado de Bernucci, L. B. et al, 2010)

A deflexão medida na superfície do pavimento é o resultado da deformação dos diferentes materiais localizados abaixo da zona de tensão aplicada (WSDT, 2005). Deste modo, a leitura das deflexões é realizada em diferentes pontos, localizados ao longo de um alinhamento longitudinal,

através de geofones. Dessa leitura discreta, resulta a bacia de deflexão do pavimento, que corresponde à deformada do pavimento (Figura 2.2).

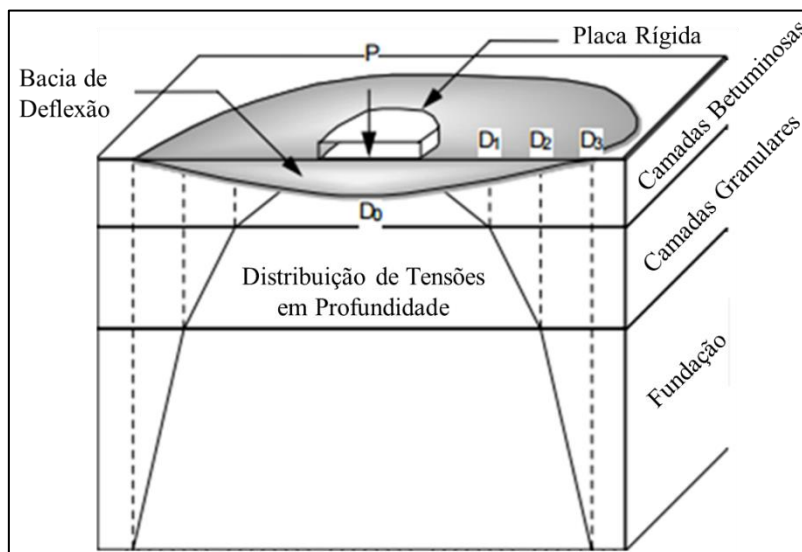


Figura 2.2 - Princípio de execução do ensaio de carga com FWD (adaptado de WSDT, 2005)

A velocidade de aplicação da carga, proveniente da altura da queda, permite simular a passagem de um veículo que circula a uma velocidade entre os 60 e 80 km/h. O equipamento permite colocar a massa em quatro alturas diferentes, resultando em forças de impacto entre 30 a 240 kN (Branco, F. et al., 2011).

De acordo com a norma ASTM D 4694-96, o diâmetro da placa rígida deverá ser de 30 cm, e o número dos sensores e o seu espaçamento depende das características do pavimento que se pretenda avaliar, sendo adotado frequentemente um espaçamento de 30 cm entre geofones, sendo que o primeiro localiza-se no centro da placa rígida.

O posicionamento dos geofones recomendado pela IP, medido a partir do centro da placa, é indicado seguidamente (EP, 2014):

- D_0 – Deflexão registada no centro da placa de carga (também designada por deflexão máxima);
- D_{30} – Deflexão registada a 30 cm do centro da placa de carga;
- D_{45} – Deflexão registada a 45 cm do centro da placa de carga;
- D_{60} – Deflexão registada a 60 cm do centro da placa de carga;
- D_{90} – Deflexão registada a 90 cm do centro da placa de carga;
- D_{120} – Deflexão registada a 120 cm do centro da placa de carga;
- D_{180} – Deflexão registada a 180 cm do centro da placa de carga;
- D_{210} – Deflexão registada a 210 cm do centro da placa de carga.

O afastamento entre locais de ensaio deverá ser de 100 m para as vias mais solicitadas e de 200 m para as restantes vias, no caso de existir mais que uma via por sentido. Em quaisquer dos casos, o ensaio deverá localizar-se na rodéira direita de cada via (INIR, 2015).

Em cada local de ensaio, deve ser registado a temperatura do ar, a temperatura superficial da camada de desgaste e a temperatura no interior das camadas betuminosas, uma vez que a temperatura tem influência na rigidez das camadas betuminosas (Micaelo, R., 2014).

2.1.2. Interpretação da Bacia de Deflexão

Durante o ensaio de carga com FWD, pode haver variações na força de impacto associadas às características da deformabilidade do meio ensaiado, à presença de atrito no sistema de guiamento da massa e à variação da deformabilidade dos amortecedores com a temperatura (Domingos, P., 2007).

Essas variações na força de impacto promovem alteração nos valores das deflexões, impossibilitando a qualquer tipo de tratamento, uma vez que não são comparáveis. Assim, como forma de compensar essas diferenças é necessário normalizar as deflexões para uma força de impacto padrão. A força de impacto padrão indicada no CETO da IP é de 65 kN (EP, 2014).

A normalização das deflexões é realizada de acordo com a seguinte expressão (INIR, 2015):

$$D_i^{Normalizada} = C_P \times \frac{D_i^{Medida}}{C_M} \quad (2.3)$$

Onde,

$D_i^{Normalizada}$ – Deflexão normalizada no geofone i para a força de impacto padrão;

C_P – Força de impacto padrão;

D_i^{Medida} – Deflexão medida no geofone i para a força de impacto medida;

C_M – Força de impacto medida.

A avaliação estrutural do pavimento em cada local de ensaio torna o processo muito moroso e praticamente impossível, uma vez que as ações de conservação atingem, frequentemente, extensões significativas. Deste modo, o procedimento adotado consiste na divisão da extensão do pavimento, em zonas com comportamento estruturalmente homogéneo, e analisar mecanicamente os locais representativos de cada zona.

A divisão em trechos homogéneos é realizada pelo método das diferenças acumuladas (*Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences*), em função das deflexões, através da metodologia da AASHTO (1993).

A identificação de trechos estruturalmente homogêneos pelo método das diferenças acumuladas traduz-se através da seguinte expressão (Francisco, A., 2012):

$$Z_i = d_i - d_M + Z_{i-1} \quad (2.4)$$

Onde,

Z_i – Diferença acumulada no ponto de ensaio i ;

d_i – Deflexão no ponto de ensaio i ;

d_M – Média da deflexão em todos os pontos de ensaio;

Z_{i-1} – Diferença acumulada no ponto de ensaio $i-1$.

A representação gráfica dos valores obtidos pelo método das diferenças acumuladas permite a identificação dos trechos através da mudança de declives (positivo, negativo). O trecho compreendido em cada declive apresenta um comportamento estruturalmente homogêneo (AASHTO, 1993).

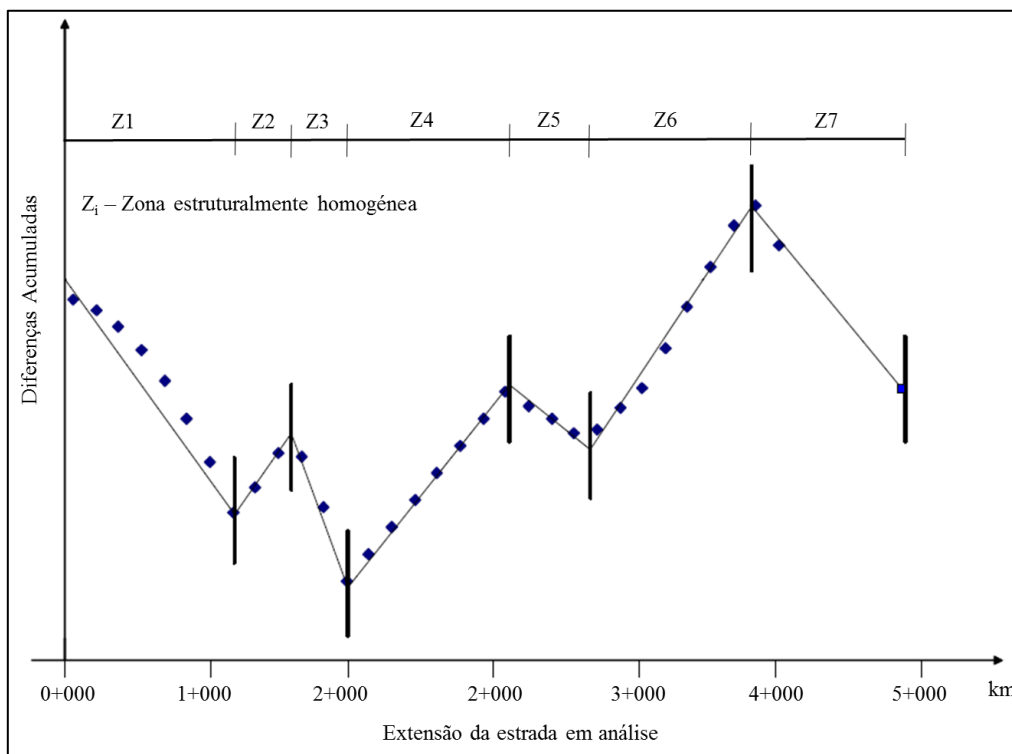


Figura 2.3 – Método das Diferenças Acumuladas (adaptado de NCHRP, 2004)

Na Figura 2.3, observa-se a presença de sete zonas estruturalmente homogêneas, através da transição sucessiva entre declives positivos e negativos. No entanto, sem efetuar cálculos de caracterização mecânica, pode-se deduzir, *à priori*, dois tipos de comportamento associados a cada declive: em declives negativos, as deflexões são inferiores ao valor médio, pelo que se conclui corresponder a trechos com melhor comportamento estrutural; em declives positivos, as

deflexões são superiores ao valor médio, traduzindo-se em trechos que apresentam pior comportamento estrutural.

Geralmente, a divisão do pavimento em trechos estruturalmente homogêneos é efetuada apenas através da deflexão obtida no centro da placa, D_0 (Branco, F. et al., 2011).

A deflexão máxima caracteriza a qualidade estrutural de toda a estrutura do pavimento, desconhecendo a contribuição de cada camada do pavimento. Ou seja, efetuar um ensaio de carga com FWD, onde são registradas oito deflexões e apenas se utiliza a primeira para caracterizar a capacidade de carga do pavimento, é pouco fiável, tal como se ilustra na Figura 2.4.

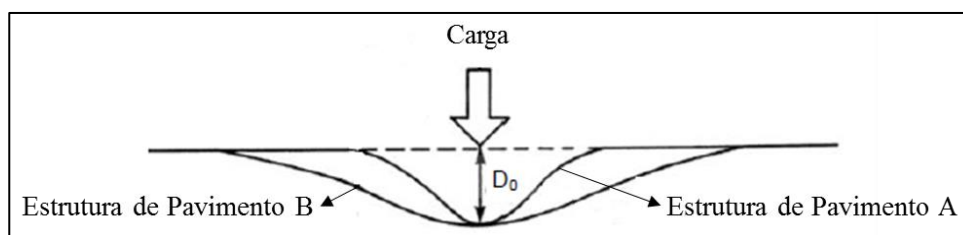


Figura 2.4 – Diferentes bacias de deflexão para a mesma deflexão máxima (adaptado de Lopes, F. M. et al, 2013)

Na Figura 2.4, observa-se a bacia de deflexão de dois pavimentos diferentes na sua constituição (A e B), após aplicação de uma carga. Verifica-se que ambos apresentam a mesma deflexão máxima. Contudo, a forma da bacia de deflexão é diferente, evidenciando uma capacidade estrutural diferente.

Por esse motivo, muitos autores têm desenvolvidos vários trabalhos com o objetivo de conhecer as deflexões influentes na resposta de cada camada da estrutura do pavimento, através da observação da bacia de deflexão. Na Tabela 2.1 são apresentadas tais deflexões.

Tabela 2.1 – Deflexões influentes na avaliação da capacidade de carga do pavimento (Kim, Y. R. et al, 2002; Lopes, F. M. et al, 2010; Schnoor, H. et al, 2012)

| Parâmetros da bacia de deflexão | Expressão de cálculo | Unidade | Indicador estrutural |
|--|---|----------------|--|
| Deflexão Máxima | $D_{\text{máx.}} = D_0$ | 10^{-2} mm | Caracteriza o comportamento global do pavimento-fundação. Quanto maior o seu valor, menor a sua capacidade estrutural |
| Raio de Curvatura (RC) | $RC = \frac{5 \times 30^2}{D_0 - D_{30}}$ | m | Carateriza o comportamento estrutural das camadas betuminosas, através do arco da deformada. Quanto menor for o seu valor, menor a sua capacidade estrutural (RC < 100 m, capacidade estrutural crítica) |
| Índice de Curvatura da Superfície (SCI, <i>Surface Curvature Index</i>) | $SCI = D_0 - D_{30}$ | 10^{-2} mm | Carateriza o comportamento estrutural das camadas betuminosas, através do arco da bacia de deflexão |
| Índice de Danos da Base (BDI, <i>Base Damage Index</i>) | $BDI = D_{30} - D_{60}$ | 10^{-2} mm | Caracteriza o comportamento estrutural das camadas granulares |
| Índice de Curvatura da Base (BCI, <i>Base Curvature Index</i>) | $BCI = D_{60} - D_{90}$ | 10^{-2} mm | Caracteriza o comportamento estrutural da fundação |
| $D_{\text{máx.}}$ (10^{-2} mm); D_0 (10^{-2} mm); D_{30} (10^{-2} mm); D_{60} (10^{-2} mm); D_{90} (10^{-2} mm) | | | |

Observando novamente a Figura 2.4, verifica-se que, apesar de apresentarem a mesma deflexão máxima, o raio de curvatura (RC) da bacia de deflexão do pavimento A é menor que o RC da bacia de deflexão do pavimento B. Assim, conclui-se que o pavimento A tem pior comportamento estrutural, quando comparado com o pavimento B.

A divisão do pavimento em trechos estruturalmente homogêneos baseada apenas na deflexão máxima poderá não garantir uma uniformidade no comportamento do pavimento. Os parâmetros referidos anteriormente podem ser utilizados na metodologia das diferenças acumuladas, para a identificação de trechos estruturalmente homogêneos. Essa identificação seria obtida através da

interseção das diferentes zonas, promovendo uma uniformidade dos parâmetros para cada trecho identificado.

Para a determinação da bacia de deflexão característica (ou deformada característica) de cada trecho, realiza-se o tratamento estatístico das deflexões obtidas nos mesmos, através da adoção de quantilhos de 85%, 95% e 97,5%. Ou seja, uma deflexão característica com um quantilho de x% corresponde a uma deflexão com probabilidade de não ser ultrapassada em x%, de acordo com o intervalo das deflexões obtidas para o trecho em estudo (Jacinto, M. et al, 2006).

A deflexão característica é calculada supondo que se distribui, ao longo do respetivo trecho, segundo uma distribuição de *Gauss*. Assim, dependendo do quantilho adotado, esta pode ser obtida de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{Percentil de 85\%: } D_K^{85\%} = \mu + 1,036 \times \sigma \quad (2.5)$$

$$\text{Percentil de 95\%: } D_K^{95\%} = \mu + 1,645 \times \sigma \quad (2.6)$$

$$\text{Percentil de 97,5\%: } D_K^{97,5\%} = \mu + 1,960 \times \sigma \quad (2.7)$$

Onde,

D_K – Deflexão característica (10^{-2} mm);

μ – Valor médio das deflexões do trecho em estudo (10^{-2} mm);

σ – Desvio-padrão das deflexões do trecho em estudo (10^{-2} mm).

Em Portugal, a deflexão característica é obtida para um percentil de 85% (EP, 2014).

A avaliação da homogeneidade estrutural de cada trecho é realizada através da seguinte expressão (Antunes, M. L. et al, 2004):

$$C_V (\%) = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (2.8)$$

Onde,

C_V – Coeficiente de variação (%)

μ – Valor médio das deflexões obtidas no trecho em estudo (10^{-2} mm);

σ – Desvio-padrão das deflexões obtidas no trecho em estudo (10^{-2} mm).

A homogeneidade do trecho é avaliada através dos seguintes critérios (Antunes, M. L. et al, 2004):

- $C_V < 20\%$ - Boa homogeneidade;
- $20\% \leq C_V < 30\%$ - Homogeneidade moderada;
- $30\% \leq C_V < 40\%$ - Homogeneidade fraca;

- $C_v \geq 40\%$ - Trecho não é homogêneo.

Após validada a homogeneidade do trecho, o local representativo de cada trecho corresponde à localização do ponto de ensaio cuja deflexão medida seja semelhante à deflexão característica. No caso de existirem vários pontos de ensaio, todos eles são designados como pontos representativos do trecho em análise, contribuindo para a sua caracterização mecânica.

2.1.3. Caracterização Mecânica do Pavimento

A caracterização mecânica do pavimento é realizada através da retroanálise ou análise inversa, cujos princípios de cálculo assentam na teoria de *Burmister*. A retroanálise é um processo iterativo, que consiste na obtenção dos módulos de deformabilidade das camadas do pavimento, através do ajuste entre as deflexões medidas e as deflexões calculadas (Figura 2.5), dentro de um intervalo de erro admissível (Machado, A. et al, 2013).

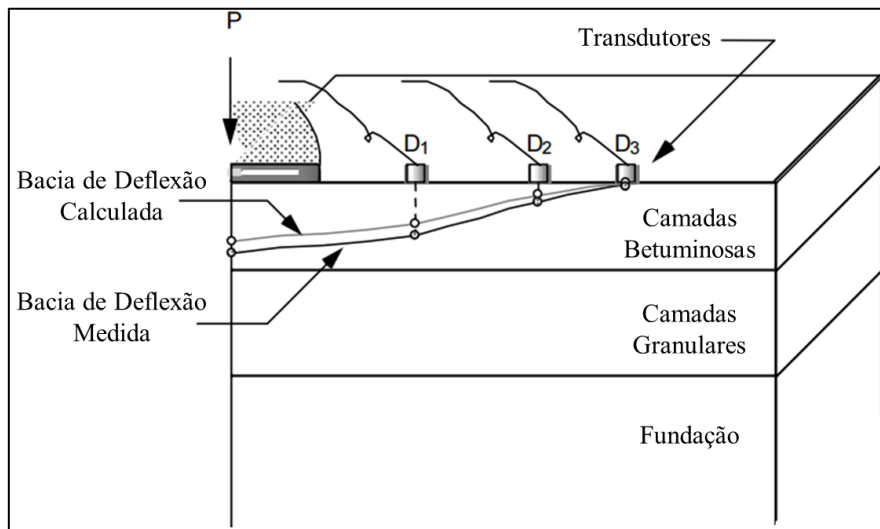


Figura 2.5 – Princípio de execução da retroanálise (adaptado de WSDT, 2005)

O erro é determinado através do valor de RMS (*Root Mean Square*), que corresponde à raiz quadrada dos valores médios dos quadrados das diferenças entre as deflexões medidas e calculadas divididas pelos valores médios. Seguidamente é apresentada a expressão de cálculo do RMS (Machado, A. et al, 2013).

$$RMS (\%) = \left(\sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{c_i} - d_{m_i}}{d_{m_i}} \right)^2} \right) \times 100 \quad (2.9)$$

Onde,

n – Número total de geofones em cada ponto de ensaio;

d_{c_i} – Deflexão calculada no geofone i (10^{-2} mm);

d_{m_i} – Deflexão medida no geofone i (10^{-2} mm).

No entanto, existem vários autores que consideram diferentes valores de erro admissíveis. Segundo *Washington State Department of Transportation* (WSDT, 2005), o grau de aproximação aceitável situa-se entre 1 a 2%. De acordo com Correia, J. (2014), um RMS entre 4 e 5% corresponde a uma aproximação razoável na estimativa dos módulos de deformabilidade das camadas que constituem o pavimento. Ainda assim, existem outros autores que consideram um ajuste razoável, quando o RMS é inferior a 10% (Machado, A. et al, 2013) ou até mesmo inferior a 15% (Francisco, A., 2012).

O cálculo dos módulos de deformabilidade das camadas constituintes do pavimento é realizado nos locais representativos de cada trecho estruturalmente homogêneo. Deste modo, para realizar a retroanálise é necessário conhecer os seguintes parâmetros:

- Deflexões medidas em cada geofone, bem como a posição de cada geofone;
- Espessuras das camadas do pavimento, obtidas pelos ensaios de prospeção para as misturas betuminosas;
- Coeficientes de *Poisson* a adotar para cada camada.

A IP recomenda a realização de ensaios de prospeção, em número não inferior a cinco por cada lote. Um lote é caracterizado pela menor extensão que resulte da aplicação dos seguintes critérios (EP, 2014):

- 500 m de extensão de faixa;
- 3500 m² de faixa;
- Extensão construída num dia.

Contudo, existem algumas implicações durante o processo de retroanálise que podem conduzir a estimativas de módulos de deformabilidade diferentes do contexto real. Tais implicações correspondem (WSDT, 2005; Correia, J.,2014):

- Tendo por base as deflexões medidas nos ensaios de carga, existem diferentes conjuntos de módulos de deformabilidade que satisfazem a mesma solução, mesmo que sejam fisicamente desadequados aos materiais em estudo, apesar do ajuste ser matematicamente possível e com valores de erros reduzidos. Alguns dos programas de cálculo automático permitem balizar os valores dos módulos de deformabilidade iniciais, de modo a convergir mais rapidamente para a solução final, de forma correta;

- Quando existem camadas finas ou camadas adjacentes com características semelhantes, o processo de retroanálise torna-se lento, devido ao facto de não se conseguir determinar o contributo no comportamento do pavimento: no caso de camadas finas, dado que a sua rigidez, função da espessura e do módulo de deformabilidade, não é significativa comparada com as restantes camadas, poderá não haver alteração do valor da deflexão calculada, para diferentes módulos de deformabilidade; no que diz respeito às camadas com características semelhantes, por ser difícil de as individualizar. Em quaisquer das situações é recomendável a junção de todas as camadas betuminosas numa única só camada;
- Nos modelos de cálculo, os materiais são considerados como homogéneos, com comportamento elástico linear. Na camada da fundação, os materiais não apresentam um comportamento elástico linear, nem são homogéneos na direção vertical, devido ao aumento do estado de tensão em profundidade. Ao não considerar estas características, poder-se-á obter módulos de deformabilidade elevados para a fundação e consequentemente módulos irrealistas para as restantes camadas, por processo de compensação, no caso de utilização de programas de cálculo automático. Um método para considerar um comportamento não linear da fundação consiste na sua subdivisão em diferentes camadas com módulos de deformabilidade crescentes em profundidade, ou introduzir uma camada rígida a uma determinada profundidade;
- Interdependência entre a camada granular e a fundação: o módulo de deformabilidade da camada granular varia proporcionalmente com o módulo de deformabilidade da fundação, ou seja, quanto maior for o módulo de deformabilidade da fundação, maior será o módulo da camada granular. Este facto é importante pois ajuda a seleccionar a solução correta, dentro do intervalo de soluções possíveis matematicamente e com valores de RMS reduzidos.

O comportamento mecânico das camadas betuminosas é influenciado pela temperatura a que estas se encontram, que por sua vez altera a distribuição de cargas provenientes do tráfego às camadas inferiores. Deste modo, a temperatura é um dos parâmetros que afetam a capacidade estrutural de um pavimento flexível e, portanto, afeta o valor das deflexões obtidas. Assim, para a mesma estrutura de pavimento, quanto menor for a sua temperatura, menor será o valor da deflexão (Chen, D. H. et al, 2000).

Após conhecidos os valores dos módulos de deformabilidade obtidos pela retroanálise, em função da temperatura registada no decorrer do ensaio de carga com FWD, é necessário efetuar a correção dos módulos de deformabilidade para a temperatura de serviço.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu uma expressão de cálculo que considera como referência o valor do módulo de deformabilidade a 20°C, sendo esta apresentada seguidamente (Alves, 2007).

$$\frac{E_T}{E_{20}} = -0,0282T + 1,5562 \quad (2.10)$$

Onde,

T – Temperatura do pavimento (°C);

E_T – Módulo de deformabilidade para uma temperatura T (MPa);

E_{20} – Módulo de deformabilidade de referência para 20°C (MPa).

Através da expressão (2.8) pode ser feita a correção dos módulos de deformabilidade obtidos por retroanálise, para a temperatura de serviço. Nesse caso, o cálculo é feito em duas fases: na primeira é calculado o módulo de deformabilidade para a temperatura de referência, função da temperatura em profundidade do pavimento durante a realização dos ensaios do FWD e do módulo de deformabilidade obtido por retroanálise; na segunda fase, conhecendo a temperatura de serviço e o do módulo de deformabilidade para a temperatura de referência, obtém-se o módulo de deformabilidade para a temperatura de serviço.

Por fim, após correção dos módulos de deformabilidade, toda a estrutura do pavimento é conhecida, nomeadamente a espessura de cada camada e o respetivo módulo de deformabilidade.

Aplicando os critérios de dimensionamento, o critério de fadiga e o critério de deformação permanente, obtém-se a vida residual do pavimento, para o critério mais condicionante.

2.2. Modelos Baseados em Sistemas de Gestão de Pavimentos

Os modelos baseados em Sistemas de Gestão de Pavimentos não aplicam critérios de dimensionamento na previsão de degradações, mas resultam da relação entre as degradações observadas nos pavimentos e determinados parâmetros (variáveis independentes). Estes modelos são classificados por determinísticos e quantificam a previsão de degradações através de um único valor.

Existem também outros modelos de previsão de degradações, cujo processo de formulação assenta nos princípios subjacentes ao fenómeno de degradação dos pavimentos, de carácter probabilístico. Nestes modelos, a previsão de degradações é quantificada por uma probabilidade de ocorrência num determinado momento e da sua evolução (Branco, F. et al., 2011).

Quanto às variáveis independentes, os modelos determinísticos dividem-se em dois tipos (COST 324, 1997 e PARIS, 1998):

- Incrementais/Relativos – Nestes modelos, as degradações são monitorizadas a partir de um determinado momento, através da medição de parâmetros de estado (parâmetros identificados no item c), subcapítulo 2.2, página 23). A previsão da evolução da degradação considera apenas uma variável independente, o tempo decorrido desde a última inspeção ao pavimento (anos de serviço) ou o tráfego;
- Absolutos – Nestes modelos, o histórico de degradações é importante para o seu desenvolvimento. Por esse motivo, a previsão da evolução da degradação considera mais do que uma variável independente, tais como, as características geométricas e mecânicas das camadas do pavimento, as condições climáticas e o tráfego.

Quanto às variáveis dependentes dos modelos determinísticos, isto é, o formato dos resultados, estes designam-se por modelos globais ou modelos paramétricos. Os modelos globais avaliam o desempenho futuro do pavimento através de um índice global, função das degradações que integram o seu cálculo, afetadas por coeficientes de ponderação. Os modelos paramétricos avaliam o desempenho futuro do pavimento para cada degradação (Ferreira, A. et al, 2007).

Os modelos paramétricos são aqueles que permitem adotar estratégias de conservação de carácter corrente, uma vez que possibilitam um conhecimento da evolução de cada degradação. Os modelos globais, como expressam o desempenho do pavimento através de índice global, não permitem adotar o mesmo tipo de estratégia, dado que esse valor por representar diferentes combinações de degradações.

O desenvolvimento de modelos de previsão exige um determinado nível de informação sobre o desempenho dos pavimentos da rede rodoviária, que por vezes as administrações rodoviárias não dispõem no seu SGP.

As secções de teste regular (*Real-time Loading Testing*, RLT) constituem a principal fonte de dados para o desenvolvimento de modelos. As RLT são estradas selecionadas de uma rede rodoviária, cujos dados do desempenho são obtidos ao longo de uma série temporal. Devido ao tamanho da amostra, os dados monitorizados apresentam um nível de detalhe elevado, mas limitado no tempo, devido à deterioração do pavimento ocorrer sob a influência de tráfego regular (COST 324, 1997).

As degradações observadas em RLT, geralmente, apresentam um nível de gravidade mediano, uma vez que por razões de segurança e de conforto para os utilizadores, as ações de conservação ocorrem quando é atingido um determinado nível de degradação (PARIS, 1998).

Para o desenvolvimento de modelos de previsão capazes de abranger todo o processo de evolução de uma degradação, é necessário o contributo das secções de teste acelerado (*Accelerated Loading Testing*, ALT). Nestas secções, os dados de desempenho são obtidos num curto período de tempo,

devido ao carregamento ocorrer de forma acelerada. Como são especialmente construídas para o efeito, os resultados obtidos apresentam limitações (PARIS, 1998).

A conjugação de dados de desempenho provenientes das RLT e das ALT permitem o desenvolvimento de modelos de previsão de degradações, desde um nível de gravidade baixo até um nível de gravidade alto.

A monitorização da rede rodoviária permite um acompanhamento do desempenho dos pavimentos. Devido à dimensão da amostra, os dados obtidos apresentam um nível de detalhe inferior às RLT, mas ainda assim suficientes para a gestão dos pavimentos. Apesar destes não serem suficientemente detalhados para o desenvolvimento de modelos, podem validar os modelos existentes (COST 324, 1997).

2.2.1. Ciclo de Gestão de Pavimentos

Os Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) foram introduzidos durante os anos 60, com o objetivo de facilitar a conservação das infraestruturas rodoviárias. A primeira geração de PMS estava preocupada principalmente com os aspetos técnicos da condição do pavimento. Mais tarde, os modelos de previsão foram incluídos e também os aspetos económicos ganharam importância (COST 325, 1997).

Um SGP define-se como um sistema de informação de apoio à conservação de pavimentos, que recorre a um conjunto de ferramentas (Figura 2.6) para auxiliar a empresa concessionária a determinar as estratégias mais económicas para manter os pavimentos em condições de utilização, durante o seu período de vida útil. O funcionamento dessas ferramentas depende de dados que caracterizam os pavimentos da rede rodoviária (Branco, F. et al., 2011).

Após a construção, os pavimentos rodoviários são alvo de ações provenientes da circulação dos veículos pesados e das condições climáticas. A continuidade dessas ações provoca o aparecimento e progressão de degradações, que contribuem para a diminuição das condições de circulação (nível de serviço do pavimento).

A preservação do nível de serviço dos pavimentos é realizada através de ações de conservação ou de reabilitação, de modo a restabelecer as características funcionais e estruturais do pavimento, traduzindo-se num processo cíclico (Ferreira, A. et al, 2011). A Figura 2.6 apresenta uma estrutura esquemática do ciclo de conservação de uma rede rodoviária.

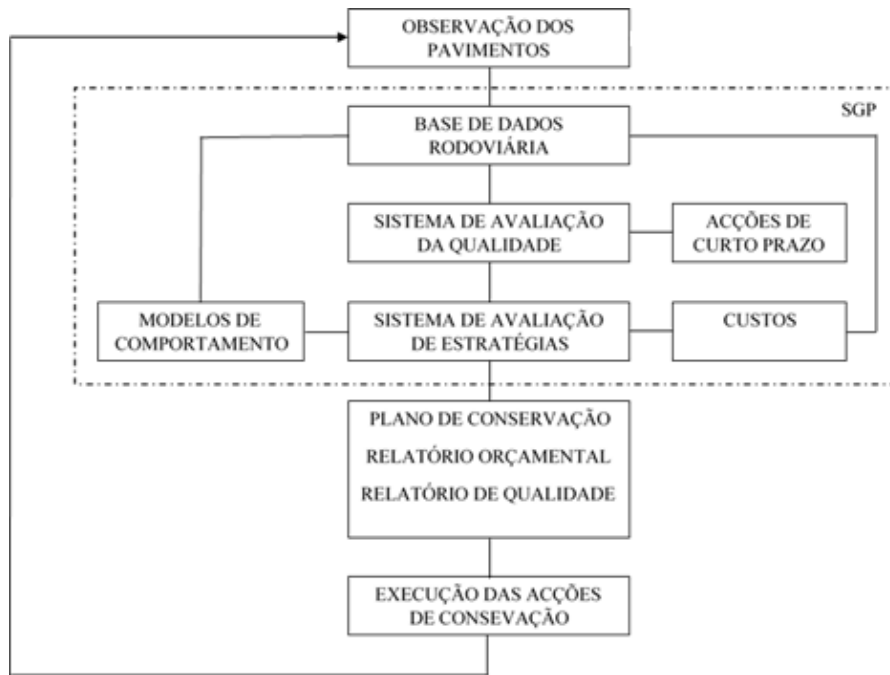


Figura 2.6 - Ciclo de Gestão de uma Rede Rodoviária (adaptado de Ferreira, A. et al, 2011)

1) Observação dos Pavimentos

A observação dos pavimentos corresponde à primeira etapa do ciclo de gestão de uma rede rodoviária e constitui um elemento importante, uma vez que a decisão das estratégias de conservação depende do seu resultado (Flintsch, G., et al, 2009).

Nesta fase, o principal objetivo consiste na observação e registo de parâmetros que caracterizam a qualidade da rede rodoviária, em termos funcionais e estruturais. Estes parâmetros designam-se por parâmetros de estado e serão abordados no item Sistema de Avaliação da Qualidade.

A monitorização da qualidade dos pavimentos pode ser executada por métodos manuais, onde existe apenas a intervenção humana, por métodos automatizados, cujo registo é realizado por equipamentos ou ainda por métodos semiautomatizados, conjugando os dois anteriores. Em quaisquer dos métodos que se verifique intervenção humana é importante que a observação seja realizada tendo como referencia um catálogo de degradações. Assim, a subjetividade inerente à observação é reduzida, assegurando uma homogeneidade nos dados observados.

Um estudo feito no Canadá, onde participaram 55 empresas concessionárias canadianas, refere que cerca de 33, ou seja, mais de 50%, recorrem a entidades externas para a recolher os parâmetros que caracterizam o estado do pavimento, aumentando a entropia dos dados recolhidos e, consequentemente, criação de novos desafios na coerência dos dados a longo prazo (Flintsch, G., et al, 2009).

A periodicidade da monitorização de uma rede rodoviária depende da política adotada pela empresa concessionária. No entanto, uma monitorização regular permite um melhor acompanhamento da qualidade dos pavimentos, promovendo uma validação mais ponderada dos modelos de previsão existentes.

2) Base de Dados Rodoviária

Uma BDR corresponde ao núcleo central de qualquer SGP, uma vez que armazena as informações que caracterizam a rede rodoviária, fornecendo informações a diferentes setores de atividade rodoviária, ao nível da rede e ao nível de projeto. Dada à constante alteração da constituição dos pavimentos de uma rede rodoviária e aos resultados da observação dos pavimentos, é fundamental existir uma atualização permanente dos dados armazenados na BDR.

Os pavimentos são estruturas que, em geral, não apresentam rutura súbita, mas sim degradações funcionais e estruturais que se desenvolvem desde a sua abertura ao tráfego (Bernucci, L. B. et al, 2010). A Figura 2.7 apresenta os fatores que influenciam a degradação do pavimento, bem como as suas interações.

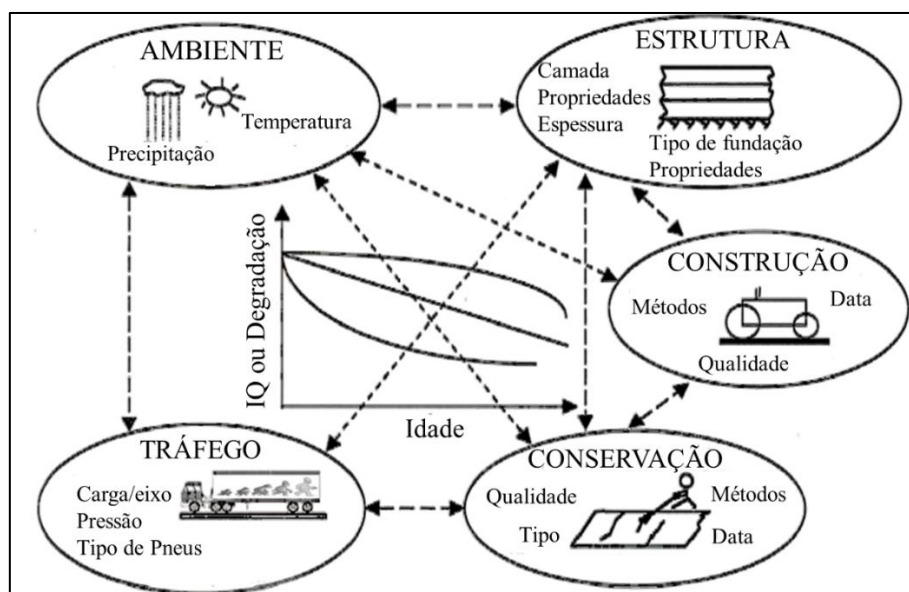


Figura 2.7 – Fatores que influenciam a degradação dos pavimentos (adaptado de Svensson, M., 2013)

Na Figura 2.7, as informações respeitantes à estrutura do pavimento, construção e conservação constituem o histórico dos pavimentos. É importante conhecer se um determinado pavimento apresenta uma dada estrutura desde a sua construção ou se já foi sujeito a ações de conservação. Este tipo de informação poderá ser a resposta da existência de degradações superficiais de gravidade alta ou até mesmo de um aumento da qualidade do pavimento de um determinado ano.

O tráfego e as condições climáticas, designadas por ambiente, correspondem aos agentes de degradação dos pavimentos rodoviários e, deste modo, principais responsáveis pela diminuição da sua qualidade.

A enorme variedade das cargas por eixo dos veículos pesados que circulam numa estrada, dependendo do tipo de veículos e da carga que transportam, promove a existência de diferentes estados de tensão e deformação, que associadas às características de uma determinada estrutura do pavimento, resultam no aparecimento das degradações. No entanto, esse aparecimento pode ser mais precoce ou tardio, em virtude do número de passagens de veículos pesados e da carga que transportam por eixo (Branco, F. et al., 2011).

As condições climáticas contribuem para a degradação dos pavimentos, mas em menor escala que a ação do tráfego. A resistência e a deformabilidade das misturas betuminosas dependem da temperatura a que estas se encontram, enquanto as camadas não ligadas são suscetíveis a um teor de água mais elevado.

A Figura 2.8 corresponde a um pavimento de uma estrada na Índia, durante uma vaga de calor, onde se pretende ilustrar a influência da temperatura na rigidez de um pavimento flexível.



Figura 2.8 - Pavimento de uma estrada da Índia, durante uma vaga de calor (Exame Informática, 2015)

3) Sistema de Avaliação da Qualidade

A escolha dos parâmetros que melhor definem e caracterizam a qualidade da rede rodoviária permitem avaliar o nível de serviço dos pavimentos, interagindo diretamente com a etapa Observação dos Pavimentos.

Os parâmetros de estado mais utilizados para definir e caracterizar a condição do pavimento são (Hudson, W. R., et al, 2002; Flintsch, G., et al, 2009):

- Deflexões, relacionadas com a capacidade estrutural;

- Degradações superficiais, associadas à capacidade estrutural;
- Irregularidade, associada ao conforto do utente;
- Coeficiente de atrito, relacionado com a segurança do utilizador.

No entanto, as deflexões não são utilizadas ao nível da rede como indicador da qualidade estrutural do pavimento, uma vez que os seus valores não apresentam uma evolução significativa durante a maioria do tempo em serviço (Branco, F. et al., 2011). A Figura 2.9 apresenta a evolução dos valores da deflexão com o tempo.

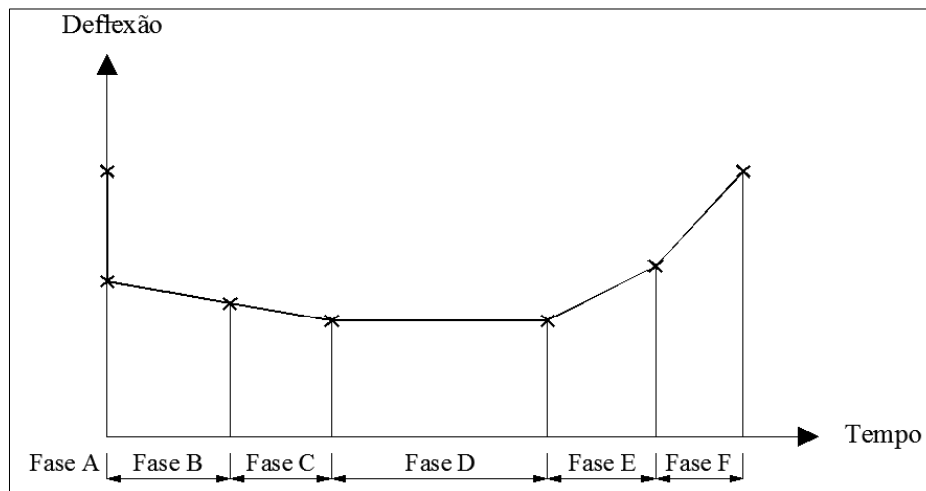


Figura 2.9 – Evolução dos valores da deflexão com o tempo (Francisco, A., 2012)

De acordo com a Figura 2.9, observam-se seis fases na evolução dos valores da deflexão durante o período de vida do pavimento (Bernucci, L. B. et al, 2010; Branco, F. et al., 2011):

- Fase A: Diminuição da deflexão devido à reabilitação do pavimento ou à aplicação de uma nova camada;
- Fase B: A diminuição dos valores pode resultar do aumento da capacidade de suporte do pavimento e da impermeabilização do pavimento. Este último fator permite uma melhoria do estado hídrico das camadas granulares, permitindo a contribuição dessas camadas na resistência global do pavimento;
- Fase C: Diminuição dos valores da deflexão devido à melhoria do estado hídrico das camadas granulares e ao aumento da capacidade de suporte do pavimento, proveniente da pós-compactação;
- Fase D: Estabilização do valor da deflexão correspondendo a uma fase elástica do pavimento, sendo a que perdura mais tempo;
- Fase E: Aumento do valor das deflexões devido ao início do fendilhamento. O aparecimento das primeiras fendas compromete a impermeabilização do pavimento,

possibilitando um aumento do estado hídrico das camadas granulares, deixando estas de contribuir na resistência global do pavimento;

- Fase F: Aumento do valor das deflexões devido ao aumento do nível de gravidade do fendilhamento.

A avaliação da qualidade dos pavimentos pode ser realizada de acordo com três metodologias (Branco, F. et al., 2011; Oliveira, J. R. M., et al, 2011):

- Avaliação global: o estado do pavimento é caracterizado através de um índice global, que agrega todos os parâmetros para o seu cálculo;
 - Vantagens: Facilidade na classificação do estado do pavimento, sendo a representação cartográfica da rede visualmente mais intuitiva;
 - Desvantagens: Pavimentos com índices iguais poderão corresponder a diferentes estados de qualidade, uma vez que os parâmetros apresentam ponderações diferentes;
- Avaliação paramétrica: o estado do pavimento é caracterizado em função de cada parâmetro, sendo definidas classes desses parâmetros em função da consequência que cada um apresenta na qualidade do pavimento;
 - Vantagens: o estado do pavimento é avaliado de forma mais precisa, uma vez que não existem ponderações para cada parâmetro e, além disso, facilita o tipo de conservação a adotar;
 - Desvantagens: análise muito pormenorizada devido ao facto de considerar individualmente os parâmetros de estado;
- Avaliação mista: o estado do pavimento é caracterizado através da combinação das outras duas metodologias, ou seja, com base nas classes definidas para cada parâmetro é determinado, posteriormente, um índice de qualidade para cada pavimento.

4) Sistema de Avaliação de Estratégias

O Sistema de Avaliação de Estratégias (SAE) corresponde à última etapa do ciclo de gestão de uma rede rodoviária. A escolha das estratégias de conservação mais adequadas para toda a rede rodoviária deve basear-se nos 3 C's: "*o tratamento Certo, na estrada Certa, no tempo Certo*" (Pereira, A. et al., 2007).

Os modelos de previsão de degradações permitem prever o desempenho do pavimento a longo prazo, através do seu estado atual (estrutural e funcional), dos fatores de degradação (tráfego e condições climáticas) e dos efeitos resultantes das ações de conservação. Assim é possível planejar as estratégias de conservação necessárias ao longo do período de planeamento, de modo a

maximizar a qualidade da rede e a minimizar os custos de totais, quer à empresa concessionária, quer aos condutores (Oliveira, J. R. M., et al, 2011).

Os modelos de custo estão relacionados com o custo de construção e de conservação dos pavimentos, a cargo da empresa concessionária, mas também os custos de operação dos veículos, custo do tempo de percurso e o custo dos acidentes, reportados aos condutores (Branco, F. et al., 2011). Associar estes modelos aos resultados provenientes da previsão de degradação, permite avaliar as consequências inerentes ao adiamento de uma ação de conservação.

Dependendo das estratégias de conservação adotadas, recorrem-se a três metodologias diferentes (Ferreira, A. et al, 2007; Oliveira, J. R. M., et al, 2011; Branco, F. et al., 2011):

a) Programação anual por níveis mínimos de qualidade:

Este tipo programa de conservação é realizado anualmente e consiste na determinação do IQ em toda a rede rodoviária. Os pavimentos que apresentarem um IQ abaixo do nível mínimo de qualidade (NMQ) necessitam de uma intervenção imediata (Figura 2.10).

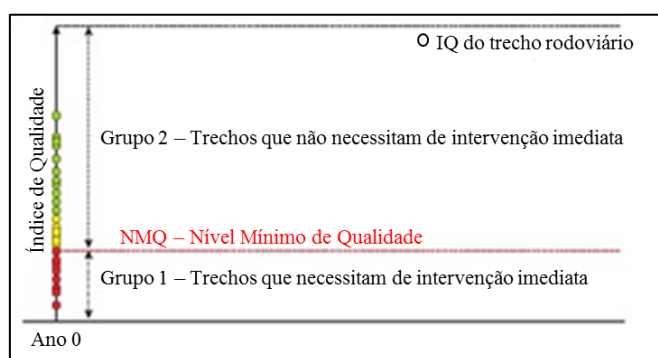


Figura 2.10 – Programação anual por níveis mínimos de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007)

No entanto, no caso de existir restrições orçamentais, são estabelecidas prioridades na seleção dos pavimentos que serão alvo das ações de conservação. Essas prioridades são tomadas a partir de critérios técnicos (degradações existentes), critérios económicos (benefício/custo) ou critérios mistos.

b) Programação plurianual por níveis mínimos de qualidade:

Este tipo de programação é elaborado para o período de planeamento da rede rodoviária (definido pela empresa concessionária) e consiste na determinação do momento em que os trechos rodoviários atingem o NMQ. Deste modo, é importante a contribuição dos modelos de comportamento, uma vez que permitem prever a evolução do estado do pavimento a longo prazo (Figura 2.11).

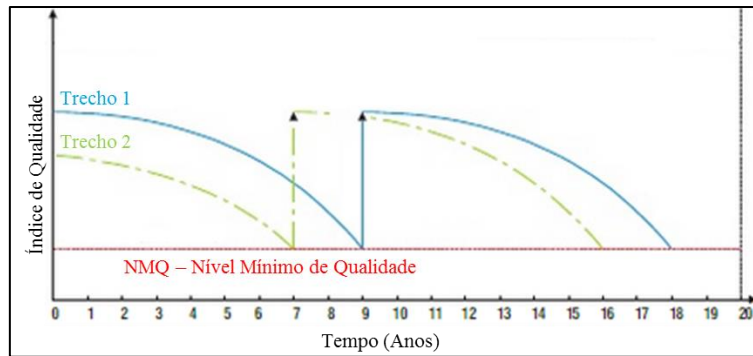


Figura 2.11 – Programação plurianual por níveis mínimos de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007)

A partir deste ponto, o procedimento seguinte rege-se pelo programa de conservação referido na alínea a), ou seja, após conhecidos os trechos cujo IQ iguala o NMQ, são definidas as prioridades de intervenção e, posteriormente, as respetivas ações de conservação.

c) Programação plurianual por nível de intervenção variável:

Este tipo de programa de conservação, apesar de ser elaborado para o período de planeamento estipulado pela empresa concessionária, o objetivo não se resume apenas à previsão do IQ dos pavimentos (Figura 2.12). A este nível, o plano de conservação pode contemplar a minimização dos custos associados ao ciclo de vida do pavimento ou a maximização da qualidade da rede.

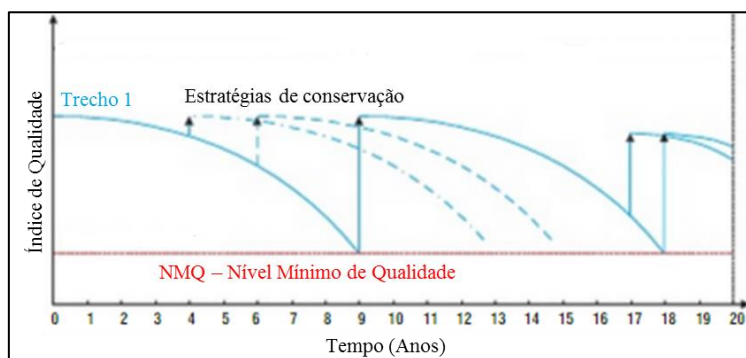


Figura 2.12 – Programação plurianual por nível de intervenção de qualidade (Ferreira, A. et al, 2007)

Das três metodologias referidas, aquela que é mais eficiente financeiramente corresponde à programação plurianual por nível de intervenção variável, visto que as intervenções ocorrem regularmente durante o período de planeamento, e não apenas quando o pavimento atinge o NMQ.

Este tipo de programação considera que uma intervenção, num determinado trecho, não tem de ocorrer necessariamente quando o IQ atinge o NMQ. Podem ser realizadas várias ações de conservação de carácter corrente, que permitem corrigir eventuais degradações do pavimento, minimizando os custos associados ao ciclo de vida do pavimento (*Life-Cycle Cost Analysis*).

Após definido o plano das ações de conservação para a rede rodoviária, ao longo do período de planeamento, é elaborado o relatório orçamental e de qualidade dos pavimentos. Concluindo as ações de conservação, o ciclo termina, iniciando-se outro, dada a necessidade de monitorização a qualidade dos pavimentos intervencionados.

2.2.2. Sistema de Gestão de Pavimento da IP

Em 2003, a EP (Estradas de Portugal), atualmente designada por IP, iniciou o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) para a rede rodoviária nacional, tendo entrado em funcionamento em 2007. No final do ano de 2014, a IP tinha a cargo 14 000 km de extensão de estradas (Santinho Horta, C., et al, 2015).

O SGP da IP que vigora atualmente apresenta a estrutura esquemática ilustrada na Figura 2.13.

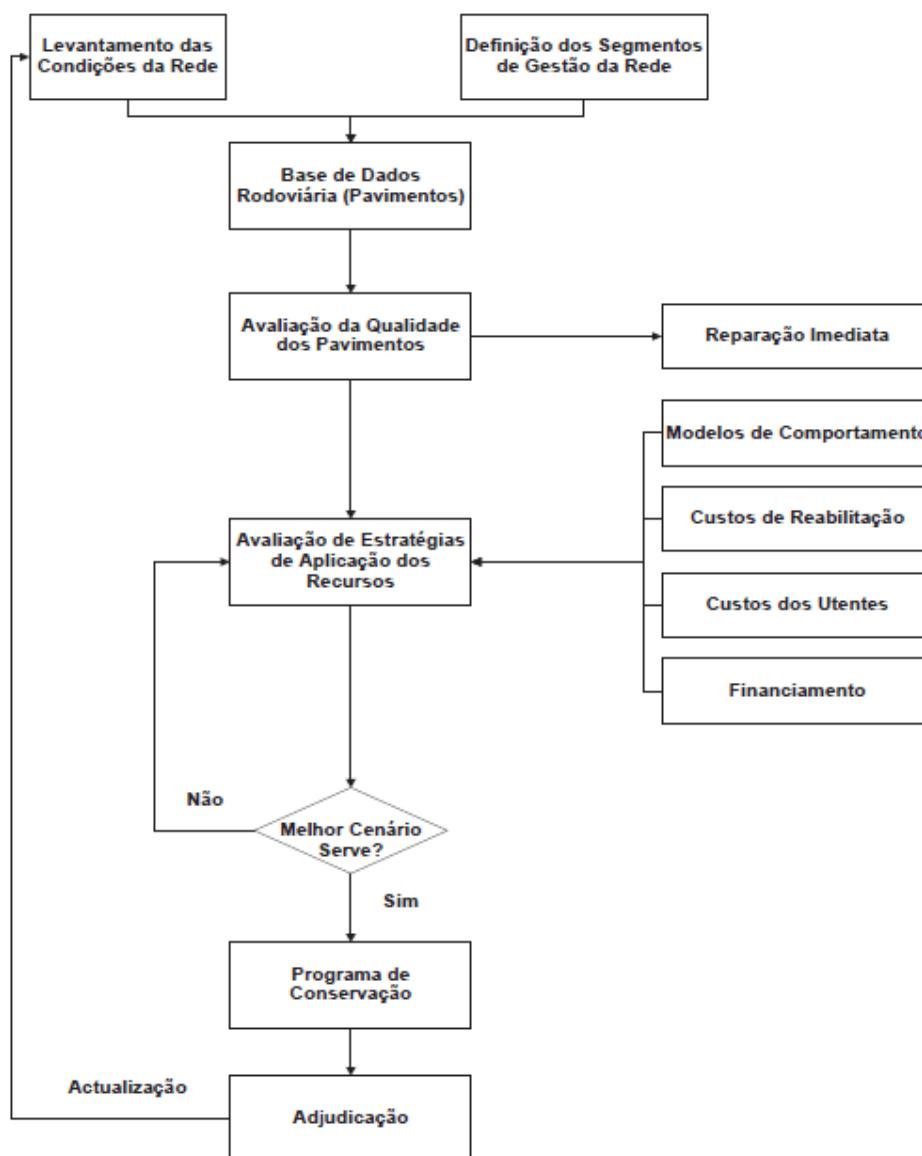


Figura 2.13 – Estrutura esquemática do SGP da IP (adaptado de EP, 2009)

1) Levantamento das Condições da Rede

O levantamento das condições da rede rodoviária é assegurado por equipas internas da empresa. Até 2010, a observação era realizada através de um equipamento informático instalado numa viatura, denominado por *Viziroad* (Figura 2.14). Este equipamento é constituído por dois teclados, cujas teclas representam cada tipo de degradação e o seu nível de gravidade, de acordo com o Catálogo de Degradações da EP. Devido ao método do registo das degradações ser manual, a observação dos pavimentos era realizada de dois em dois anos (Santinho Horta, C., et al., 2013).



Figura 2.14 - Equipamento Viziroad (Santinho Horta, C., et al., 2013)

Em 2010, a IP adquiriu um novo equipamento acoplado a uma viatura, o perfilómetro a laser (Figura 2.15), para monitorizar as condições da rede, sendo que este só começou a ser utilizado em toda a extensão da rede rodoviária nacional em 2012 (Santinho Horta, C., et al., 2013).

Este equipamento recorre a catorze sensores para proceder à recolha automática dos dados da irregularidade longitudinal (IRI), irregularidade transversal (rodeiras), macrotextura superficial do pavimento e a geometria da via. Além disso, o veículo é dotado de um teclado que permite ao operador registar a existência de fendilhamento tipo pele de crocodilo (Santinho Horta, C., et al., 2013).



Figura 2.15 - Perfilómetro a laser da IP (Santinho Horta, C., et al., 2015)

Com a aquisição do perfilómetro a laser, a subjetividade da observação foi reduzida, uma vez que o registo é maioritariamente automático. Além disso, o rendimento da estrada inspecionada aumentou, sendo atualmente realizado anualmente, permitindo um acompanhamento mais rigoroso da evolução da qualidade da rede rodoviária.

Tabela 2.2 – Base de dados rodoviária da IP (adaptado de EP, 2009 e Santinho Horta, C. et al., 2013)

| Tipo de Dados | Designação da Informação |
|---------------------------|--|
| Histórico dos Pavimentos | - Identificação da estrutura do pavimento e respetiva fundação, incluindo, sempre que possível, os dados do projeto e de construção das intervenções e a idade de cada intervenção (estrutura nova e reabilitação) |
| | - Caracterização da geometria do perfil transversal (largura das vias e da berma) |
| | - Dados relativos às eventuais auscultações efetuadas, incluindo a caracterização final dos pavimentos nas fases de receção provisória e da receção definitiva |
| | - Se possível dados sobre sinistralidade rodoviária |
| Caracterização do Tráfego | - Tráfego médio diário anual e evolução previsível |
| | - Tráfego médio diário anual de veículos pesados e evolução previsível |
| Estado Superficial | - Fendilhamento tipo pele de crocodilo |
| | - Rodeiras |
| | - Irregularidade longitudinal |
| | - Aderência (coeficiente de atrito/textura superficial) |

Até 1990, a monitorização do tráfego, denominada por recenseamento, realizava-se com uma periodicidade de cinco anos. A partir de 1992, o programa de recenseamento foi alterado e o controlo do tráfego começou a realizar-se anualmente. Esta alteração permitiu que um posto de contagem não tivesse um intervalo superior a três anos sem efetuar contagens (Ribeiro, N, et al, 2004).

A partir do ano de 2005, a IP deixou de realizar o recenseamento de tráfego, uma vez que corresponde ao último ano em que foi elaborado o último Anuário. O termo Anuário corresponde ao resultado do recenseamento de tráfego, obtido anualmente nos postos de contagem distribuídos pelos dezoito distritos de Portugal Continental.

3) Avaliação da Qualidade dos Pavimentos

Os parâmetros de estado adotados na avaliação da qualidade dos pavimentos da rede rodoviária nacional são as degradações superficiais, a irregularidade longitudinal e o coeficiente de atrito, obtidos em função dos resultados provenientes do levantamento das condições da rede. No

entanto, o coeficiente de atrito, dada a sua forte ligação com a segurança de circulação, não é analisado em conjunto com os restantes parâmetros, podendo individualmente definir ações de conservação (EP, 2009).

Para os restantes parâmetros, a metodologia adotada na avaliação da qualidade dos pavimentos baseia-se no cálculo de um índice global, designado por Índice de Qualidade (IQ). Este índice caracteriza o nível de serviço do pavimento e baseia-se no valor de PSI (*Present Serviceability Index*), desenvolvido com base nos ensaios realizados pela AASHO (EP, 2009).

A expressão de cálculo do IQ foi sofrendo modificações desde 2007, devido a mudanças no método de obtenção dos parâmetros que integram o seu cálculo (Santinho Horta, C., et al., 2013). Atualmente, devido à integração do perfilómetro a laser, o cálculo do IQ no ano t é dado pela seguinte expressão (Santinho Horta, C., et al., 2015):

$$IQ_t = 5 \times e^{-0,0002030 \times IRI_t} - 0,002139 \times R_t^2 - 0,03 \times C_{3t}^{0,5} \quad (2.11)$$

Onde,

IQ_t – Índice de Qualidade no ano t;

IRI_t – Índice de Irregularidade Longitudinal no ano t (mm/km);

R_t – Profundidade média das rodeiras no ano t (mm);

C_{3t} – Coeficiente de área com fendilhamento tipo pele de crocodilo no ano t ($m^2/100 m^2$).

O IQ é um valor que varia entre 0 (pavimento em mau estado, sem quaisquer condições para a condução) e 5 (pavimento em bom estado, não apresentando degradações superficiais e irregularidade longitudinal) (EP, 2009). As classes de qualidade utilizadas pela IP são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Classe de qualidade adotada pela IP (Santinho Horta, C., et al., 2015)

| Índice de Qualidade | Classe |
|---------------------|----------|
| $IQ < 1,5$ | Mau |
| $1,5 \leq IQ < 2,5$ | Medíocre |
| $2,5 \leq IQ < 3,5$ | Razoável |
| $IQ \geq 3,5$ | Bom |

4) Avaliação de Estratégias de Aplicação de Recursos

Com base nos resultados obtidos anualmente no levantamento das condições da rede, a IP identifica as necessidades de intervenção para a rede rodoviária nacional. De acordo com o

orçamento disponível, estabelece prioridades na escolha das secções a intervir através de dois critérios conjuntos (Santinho Horta, C., et al., 2013):

- Critérios técnicos: urgência de intervenção, baseada na análise do momento “ideal” para a execução da intervenção, face à previsão desse momento;
- Critérios económicos: adequação do investimento face à procura, isto é, em função do tráfego que circula a respetiva secção.

As secções cujo IQ seja inferior ao NMQ apresentam carácter de urgência de intervenção. Nas secções cujo valor de IQ é superior ao NMQ, as intervenções resultam da evolução da qualidade dos pavimentos (Santinho Horta, C., et al., 2013).

Perante os resultados da priorização das intervenções, são alocadas ações de conservação para cada ano do período de planeamento até atingir o limite do investimento para o ano em análise, repetindo-se o processo para o ano seguinte (Santinho Horta, C., et al., 2015).

Tendo em consideração o carácter de urgência ser definido pelo valor do IQ, verifica-se uma estratégia de conservação reativa, uma vez que as secções são intervir quando atingem o NMQ, resultando numa estratégia de conservação de programação plurianual por níveis mínimos de qualidade (ver Figura 2.11, página 27).

2.3. Conclusões

Um SGP deverá possuir a capacidade de prever a qualidade futura dos pavimentos, permitindo simular diferentes estratégias de conservação, com o intuito de determinar aquela que necessita de menores recursos financeiros para manter o nível de serviço dos pavimentos em condições aceitáveis.

Adotar modelos globais na avaliação de estratégias de conservação não permite conhecer o nível de gravidade das degradações, uma vez que o seu resultado é expresso por um índice global, cujo valor pode representar diferentes combinações de níveis de gravidade.

A implementação de modelos de previsão de degradação possibilita avaliar a evolução do nível de gravidade das degradações. No entanto, a integração destes modelos ao nível da rede, requer um processo de validação, que se baseia no ajuste entre a previsão teórica da evolução de degradação e a evolução real registada durante a observação dos pavimentos.

De modo a que a previsão teórica traduza as condições existentes na rede rodoviária, é fundamental a existência de informações que caracterizam a estrutura dos pavimentos conjugada com os

resultados da monitorização do tráfego de veículos pesados: *“Quanto melhor for a qualidade dos dados, melhores serão os resultados dos modelos”* (Hudson, W. R., et al, 2002).

Sendo a BDR o núcleo central de qualquer SGP, uma vez que armazena as informações que caracterizam a rede rodoviária, é fundamental existir uma atualização permanente dos dados, dada a constante alteração da constituição dos pavimentos, do volume de tráfego e dos resultados da observação dos pavimentos. Só deste modo, todo o processo do SGP poderá funcionar integralmente e com eficácia.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Enquadramento

Com o objetivo de selecionar o nível de informação a armazenar numa BDR de um SGP, de modo a apoiar e a melhorar as atividades de gestão da rede rodoviária através da introdução de modelos de previsão de degradações, efetuou-se uma análise de um projeto de beneficiação do pavimento, em parceria com a IP.

Os requisitos para a seleção do projeto incidiram em três critérios, sendo eles:

- A ação de conservação da estrada com idade inferior a 10 anos;
- O projeto completo composto por Caracterização da Situação Existente (CSE), Projeto de Execução (PE) e Caracterização Final do Pavimento (CFP);
- Realização de ensaios de carga na elaboração do projeto.

O desempenho teórico do pavimento foi avaliado através de modelos de previsão. Inicialmente, o desempenho foi estimado recorrendo às informações armazenadas na BDR da IP. Posteriormente, considerou-se os pressupostos das soluções de pavimentação preconizadas no PE. Por fim, estimou-se as características mecânicas do pavimento construído, avaliando posteriormente a previsão do seu desempenho.

Quanto ao desempenho real do pavimento, os dados fornecidos pela IP correspondem a uma serie temporal de quatro observações, desde 2012 até 2015.

Foi estabelecido um protocolo de confidencialidade com a IP no fornecimento de dados respeitantes à estrada, pelo que esta não será identificada ao longo do caso de estudo.

A estrada localiza-se no distrito de Bragança e tem uma extensão de 51,7 km. No entanto, o caso de estudo será realizado em duas secções dessa estrada, C086 entre os pontos quilométricos (pk's) (0+000 a 11+800) e C050 entre os pk's (11+800 a 30+300), uma vez que cumprem os requisitos anteriormente referidos.

O perfil transversal da estrada, de ambas secções, é constituído por uma faixa de rodagem, com uma via em cada um dos sentidos de circulação. O projeto de execução da secção C050 e C086 foi elaborado em 2007 e 2009, respetivamente. Para ambas as secções foi considerado um horizonte de projeto de dez anos. As ações de conservação terminaram em 2010.

3.2. Metodologia

Para avaliar o desempenho do pavimento a longo prazo utilizou-se modelos de previsão determinísticos, sendo eles:

- Modelos do HDM-4 (*Highway Design and Maintenance Standards Model*) correspondem a modelos determinísticos do tipo absoluto, desenvolvido a nível mundial, pelo Banco Mundial;
- Modelos do Projeto de PARIS (*Performance Analysis of Road Infrastructure*) correspondem a modelos determinísticos do tipo incremental, desenvolvido a nível europeu, no qual contou com a participação de Portugal, através do Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- Modelos Mecanicistas de Previsão da Evolução do Fendilhamento, cujo tipo de formulação corresponde a modelos de determinísticos absolutos, desenvolvido a nível nacional, por Silva, R., (2012).

A escolha destes modelos baseou-se em trabalhos realizados anteriormente no desenvolvimento de modelos de previsão do fendilhamento e das rodeiras, aplicáveis à rede rodoviária nacional (Silva, R., 2012 e Sá, S., 2014). Deste modo, todas as expressões de cálculo, subjacentes a cada modelo, remetem-se para estas dissertações.

É de referir que os modelos utilizados correspondem à sua versão original, em virtude do objetivo da presente dissertação não se tratar da validação de modelos de previsão, mas sim avaliar o efeito do nível de informação no desempenho dos pavimentos.

Os modelos de previsão de fendilhamento adotados neste trabalho utilizam parâmetros diferentes para quantificar a capacidade estrutural do pavimento. Silva, R. (2012) desenvolveu relações entre esses mesmos parâmetros através da atribuição de módulos de deformabilidade em função do zonamento de Portugal Continental, para as temperaturas médias anuais. Dada a presença dos resultados da CFP, considerou-se interessante avaliar o ajuste dessas relações.

3.2.1. Modelos de Previsão do Fendilhamento

O fendilhamento é a degradação mais frequente nos pavimentos flexíveis e constitui a principal causa das restantes degradações. Apesar do seu aparecimento ser consequência de diversas origens, o fendilhamento mais comum resulta da fadiga das camadas betuminosas nos locais de passagens dos rodados. Na sua fase inicial, caracteriza-se por uma fenda isolada, progredindo para a ramificação de fendas formando uma malha, designada por fendilhamento tipo pele de crocodilo.

Nos três modelos de previsão, a iniciação do fendilhamento acontece quando 0,5% da superfície do pavimento está fendilhada. Os modelos utilizam diferentes variáveis independentes que influenciam a fase de iniciação e de progressão do fendilhamento (Silva, R., 2012):

- No HDM-4, as variáveis independentes correspondem à capacidade estrutural do pavimento, quantificada pelo Número Estrutural Modificado (SNC), e o tráfego caracterizado por um eixo-padrão de 80 kN;
- No projeto PARIS, a variável independente corresponde ao tráfego, caracterizado por um eixo-padrão de 100 kN. Por se tratarem de modelos incrementais, necessitam da medição de parâmetros de estado, que na fase de iniciação corresponde ao Índice de Curvatura da Superfície (SCI) e na fase de progressão à medição da variação anual da área fendilhada;
- No modelo de Silva, R. (2012), as variáveis independentes correspondem à capacidade estrutural, determinada pela extensão de tração na base das camadas betuminosas (ϵ_t), e o tráfego caracterizado por um eixo-padrão de 130 kN.

A quantificação do SNC, cuja metodologia é apresentada no anexo A, é efetuada através de coeficientes estruturais para as camadas que o constituem e de coeficientes de drenagem para as camadas granulares, uma vez que o teor de água afeta as características mecânicas dos materiais granulares.

Tanto na atribuição de coeficientes estruturais, como no cálculo ϵ_t é essencial conhecer as características mecânicas de cada camada constituinte do pavimento, bem como as suas espessuras. Para a determinação do SCI é necessário a existência de ensaios de carga (Tabela 2.1, página 13).

De acordo com os dados presentes na BDR, no PE e na CFP, verificou-se o nível de informação para a previsão do fendilhamento apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Nível de informação para a previsão do fendilhamento

| Fonte | Tráfego | Caracterização dos materiais | | | |
|-------|---------|------------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| | | Tipologia | Espessura | Módulo de Deformabilidade | Deflexões |
| BDR | X | X | X | - | - |
| PE | X | X | X | X | - |
| CFP | - | X | X | X | X |

Tendo em consideração o nível de informação apresentado na Tabela 3.1, adotou-se os seguintes procedimentos para a determinação dos três parâmetros:

- A determinação da ϵ_t foi realizado através do programa de cálculo automático ELSYM5, tendo em consideração os módulos de deformabilidade e as espessuras das camadas. A carga aplicada foi de 32,5 kN, o raio de impressão de 0,125 m e afastamento entre rodados de 0,315 m. Os coeficientes de *Poisson* adotados foram de 0,40 e 0,35, para os materiais betuminosos e granulares, respetivamente;
- Na ausência de ensaios de carga, as deflexões foram obtidas através do programa de cálculo automático ELSYM5, tendo em consideração os módulos de deformabilidade e as espessuras das camadas. Considerou-se uma profundidade da camada rígida de 1,50 m, com módulo de deformabilidade dez vezes superior ao do solo de fundação (Branco, F. et al., 2011). Quanto às condições do carregamento, considerou-se a configuração apresentada no CETO da IP: carga aplicada de 65 kN e o raio de impressão de 0,15 m (EP, 2014). Adotou-se os coeficientes *Poisson* referidos anteriormente;
- Na ausência de dados relativos aos módulos de deformabilidade das camadas, adotou-se a metodologia de Silva, R. (2012), que consiste na atribuição de valores para as camadas betuminosas e granulares, sendo que para as camadas betuminosas, os valores dependem das regiões que delimitam Portugal Continental, em termos de temperaturas médias anuais (Figura 3.1).
- Na ausência de informações sobre o sistema de drenagem, adotou-se a metodologia de Silva, R. (2012), que se baseia na definição de coeficientes de drenagem, através do zonamento de Portugal Continental, segundo as precipitações acumuladas anuais (Figura 3.1).

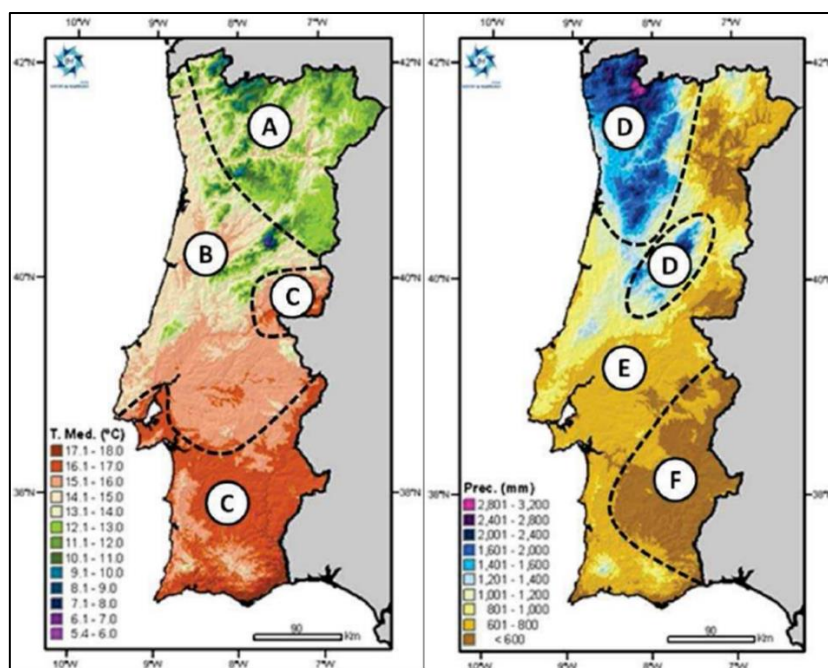


Figura 3.1 - Delimitação de Portugal Continental em função das temperaturas médias anuais (à esquerda) e das precipitações acumuladas anuais (à direita) (Silva, R., 2012)

Dada a localização geográfica da estrada em estudo ser no Distrito de Bragança, esta insere-se na região A e na região E, em termos de módulos de deformabilidade e de coeficientes estruturais, respetivamente. A Tabela 3.2 apresenta os módulos de deformabilidade e os coeficientes de drenagem para ambas as regiões.

Tabela 3.2 – Módulos de deformabilidade para a região A e coeficientes de drenagem para a região E (Silva, R., 2012)

| Camada | Módulo de Deformabilidade (MPa) | Coefficiente de Drenagem |
|---|---------------------------------|--------------------------|
| | Região A | Região E |
| Mistura Betuminosa a Quente | 5500 | 1,0 |
| Semipenetração Betuminosa | 300 | 1,0 |
| Agregado Britado de Granulometria Extensa e Macadame Hidráulico | 120 | 1,0 |

Para a determinação do SNC, os coeficientes estruturais das camadas betuminosas foram calculados através dos valores recomendados pela AASHTO (Tabela A.1, página 110), tendo em consideração a seguinte expressão (Silva, R., 2012):

$$\frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{1/3} \quad (3.3)$$

Onde,

a_1 – Coeficiente estrutural da camada 1;

a_2 - Coeficiente estrutural da camada 2;

E_1 – Módulo de deformabilidade da camada 1 (MPa);

E_2 – Módulo de deformabilidade da camada 2 (MPa).

A expressão (3.3) permite calcular o coeficiente estrutural da camada 1, conhecendo os módulos de deformabilidades das duas camadas e o coeficiente estrutural da camada 2.

No âmbito do dimensionamento de pavimentos flexíveis, a previsão de degradações é realizada através da aplicação de critérios de dimensionamento que visam limitar as degradações estruturais ao longo do período de horizonte do projeto, avaliando a qualidade do dimensionamento através do dano.

Como referido em 2, o dano resulta do quociente entre o número de eixos-padrão estimados e os valores admissíveis obtidos, para o critério de dimensionamento condicionante. No entanto, esses critérios não quantificam a evolução do nível de gravidade, quer para o fendilhamento, quer para as rodeiras.

Dado que o modelo desenvolvido por Silva, R. (2012) utiliza a ϵt como variável independente e sendo esta um parâmetro intrínseco ao dimensionamento, considerou-se interessante associar a evolução do fendilhamento ao valor do dano. Para o cálculo de ϵt , adotou-se a expressão de cálculo (2.1).

3.2.2. Modelos de Previsão de Rodeiras

As rodeiras correspondem a outro tipo de degradação estrutural frequente nos pavimentos flexíveis. Embora sejam reduzidas numa fase inicial e impercetíveis, começam a aumentar e a tornarem-se percetíveis, associadas ou à fraca capacidade de carga do pavimento ou consequência do fendilhamento presente à superfície do pavimento, através da entrada de água e aumento do teor de água dos materiais granulares.

O modelo HDM-4, na previsão da profundidade média das rodeiras necessita das seguintes informações (Sá, S., 2014):

- 1) Caracterização da capacidade estrutural do pavimento, dado pelo SNC, que por sua vez é influenciado pela eficiência da drenagem, através dos coeficientes de drenagem e pela existência de fendilhamento;

- 2) Caracterização das misturas betuminosas, através do tipo de betume, da percentagem de vazios da mistura, e da qualidade da concepção das misturas betuminosas;
- 3) Caracterização das camadas granulares através da compactação relativa, nomeadamente em situações de aplicação de pavimento novo;
- 4) Caracterização dos agentes de degradação, dado pelo tráfego e pelas condições climáticas, temperatura e precipitação;

De acordo com os dados presentes na BDR, no PE e na CFP, verificou-se o nível de informação para a previsão da profundidade média das rodeiras apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Nível de informação para a previsão da profundidade média das rodeiras

| Fonte | Tráfego | Caracterização dos Materiais | | | | | | |
|-------|---------|------------------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|------|-----|
| | | Tipologia | Espessura | Módu. de Deforma. | Deflexões | Tipo de Betume | COMP | VIM |
| BDR | X | X | X | - | - | - | - | - |
| PE | X | X | X | X | - | X | - | X |
| CFP | - | X | X | X | X | - | - | X |

COMP – Compactação relativa da fundação

VIM – Índice de vazios na mistura betuminosa

Tendo em consideração o nível de informação presente na CFP, no PE e na BDR da IP, adotou-se os seguintes pressupostos:

- Na ausência de valores do módulo de deformabilidade, o cálculo do SNC seguiu a metodologia referida em 3.2.2.
- Quando não referida a qualidade do sistema de drenagem, do tipo de betume, da percentagem de vazios da mistura betuminosa e da compactação relativa, considerou-se diferentes cenários.

Nos modelos do projeto PARIS, modelos incrementais, a determinação da progressão da profundidade média das rodeiras pressupõe a existência de uma medição inicial e da sua variação anual. Os dados fornecidos pela IP correspondem a uma serie temporal de quatro observações, desde o ano 2012 até ao ano de 2015.

3.2.3. Tráfego

O tráfego é constituído por diferentes tipos de veículos. Contudo, apenas os veículos pesados são contabilizados devido às cargas elevadas que transportam por eixo, sendo responsáveis pelo aparecimento das degradações estruturais.

São considerados como veículos pesados, os que apresentam um peso bruto igual ou superior a 3 toneladas-força (tf), que inclui veículos pesados de passageiros e de mercadorias, pertencentes às classes F, G, H, I, J e K (JAE, 1995).

De acordo com Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV), a verificação da capacidade estrutural dos pavimentos é feita com base no número acumulado de veículos pesados (NAV_P) que se prevê vir a circular durante o período de dimensionamento. Para o cálculo do NAV_P, considera-se (JAE, 1995):

- Tráfego médio diário anual de veículos pesados (TMDA)_p;
- Período de dimensionamento, que no caso de pavimentos flexíveis corresponde a 20 anos;
- Taxa de crescimento anual de veículos pesados, durante o período de dimensionamento, função do (TMDA)_p;
- Distribuição do tráfego pelas vias existentes, num dado sentido.

Considerando a heterogeneidade no tipo de veículos de pesados, o NAV_P é convertido no número equivalente de eixos-padrão, através da atribuição de fatores de agressividade, em função do (TMDA)_p. Um eixo-padrão define-se como eixo simples, de rodado duplo. Para pavimentos flexíveis, são adotados eixos-padrão de 80 kN.

Na Tabela 3.4, apresenta-se a conversão do TMDA_p para os três tipos de eixos-padrão considerados nos três modelos de previsão.

Tabela 3.4 – Taxa de crescimento e fatores de agressividade do tráfego

| TMDA _p | Taxa de Crescimento (JAE, 1995) | Fator de agressividade | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Eixo-Padrão de 80 kN (JAE, 1995) | Eixo-Padrão de 100 kN | Eixo-Padrão de 130 kN |
| 50 – 150 | 3% | 2 | 0,82 | 0,29 |
| 150 – 300 | 3% | 3 | 1,23 | 0,43 |
| 300 – 500 | 4% | 4 | 1,64 | 0,57 |
| 500 - 800 | 4% | 4,5 | 1,84 | 0,65 |
| 800 - 1200 | 5% | 5 | 2,05 | 0,72 |
| 1200 - 2000 | 5% | 5,5 | 2,25 | 0,79 |

Os fatores de agressividade do tráfego para os eixos-padrão de 100 kN e de 130 kN foram obtidos através dos resultados dos ensaios da AASHO (Branco, F. et al., 2011), de acordo com a seguinte expressão.

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^x = f \quad (3.1)$$

Onde,

N_1 – Número de passagens de um eixo simples de carga P_1 que provoca um determinado dano;

N_2 – Número de passagens de um eixo simples de carga P_2 que provoca um determinado dano;

x – Expoente que caracteriza o tipo de pavimento rodoviário, sendo igual a 4 para pavimentos flexíveis;

f – Coeficiente de equivalência que expressa o número de passagens de um eixo de carga P_1 que provoca o mesmo dano que a passagem do eixo de carga P_2 .

Segundo o MACOPAV, o número acumulado de eixos padrão para o período de dimensionamento, é calculado através da expressão indicada seguidamente (JAE, 1995).

$$NAEP = 365 \times TMDAp \times \alpha \times \frac{(1 + t)^P - 1}{t} \quad (3.2)$$

Onde,

NAEP – Número Acumulado de Eixo-Padrão;

TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados, por sentido e na via mais solicitada;

α – Fator de agressividade, de acordo com o tipo de eixo-padrão considerado (Tabela 3.4);

t – Taxa de crescimento (Tabela 3.4);

P – Período de dimensionamento.

3.3. Levantamento das Condições da Rede

Desde o ano de 2012 que o levantamento das condições da rede rodoviária é assegurada totalmente pelo perfilómetro a laser, tal como referido no item 1) do subcapítulo 2.2.2, página 29.

Os dados fornecidos pela IP correspondem a uma serie temporal de quatro observações, desde o ano 2012 até ao ano de 2015, apenas no sentido decrescente, desconhecendo as degradações superficiais existentes no sentido crescente, para o mesmo período. No entanto, visto que a estrada não apresenta separador central, cada secção engloba as duas vias de circulação.

A Figura 3.2 apresenta os resultados do levantamento das condições da rede para as secções em análise, por quilómetro de estrada, em termos do valor do IQ.

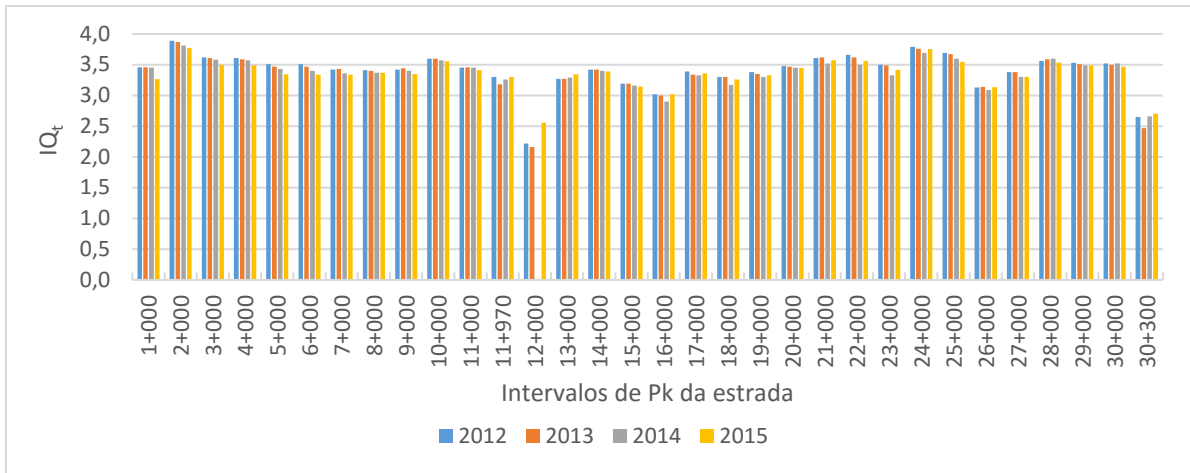


Figura 3.2 – Índice de Qualidade

Segundo a Figura 3.2, constata-se que a estrada intervencionada, de uma forma geral, apresenta uma classe de qualidade razoável e a transição entre a secção C086 e C050 uma qualidade medíocre (ver Tabela 2.3, página 33).

Tendo em consideração a serie temporal do desempenho do pavimento, verifica-se uma variação anual reduzida do IQ. Ainda assim, verifica-se a existência de pontos quilométricos cujo IQ de 2015 é superior ao IQ de 2014, pelo que deve ser objeto de confirmação, atendendo a que, no limite, o nível de aptidão da estrada, num determinado ano, é igual ao ano anterior.

A Figura 3.3 apresenta o resultado da monitorização da irregularidade longitudinal para as secções em estudo.

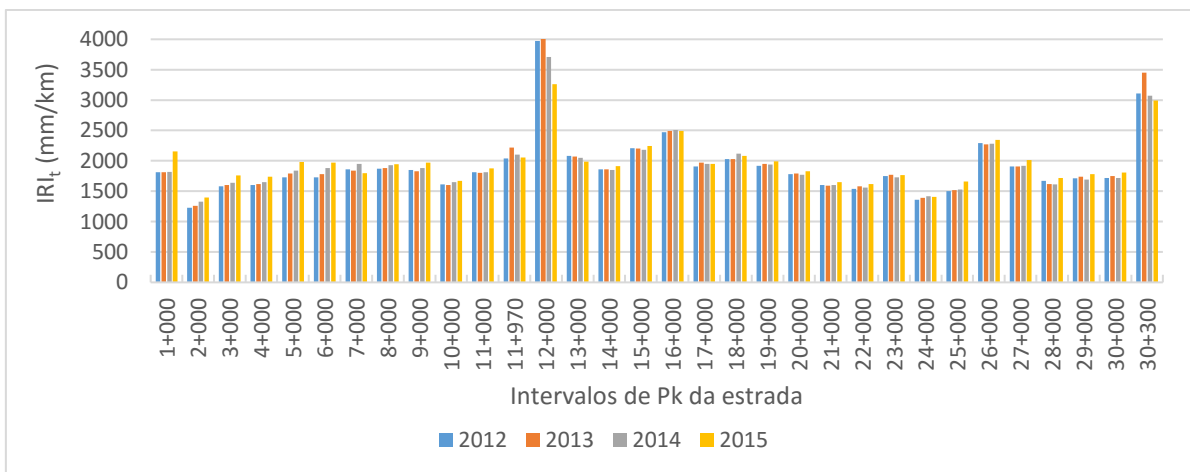


Figura 3.3 – Irregularidade Longitudinal

De acordo com a Figura 3.3, observa-se uma variação anual reduzida do IRI, verificando-se, de uma forma geral, uma uniformidade no valor nas duas secções, destacando-se apenas diferenças significativas na transição entre secções e no final da secção C050. Nas transições entre secções verifica-se uma variação decrescente do valor do IRI, evidenciando ações de reparação, cuja informação não é mencionada na BDR.

A Figura 3.4 apresenta o resultado da monitorização do fendilhamento tipo pele de crocodilo presente no pavimento das secções C050 e C086.

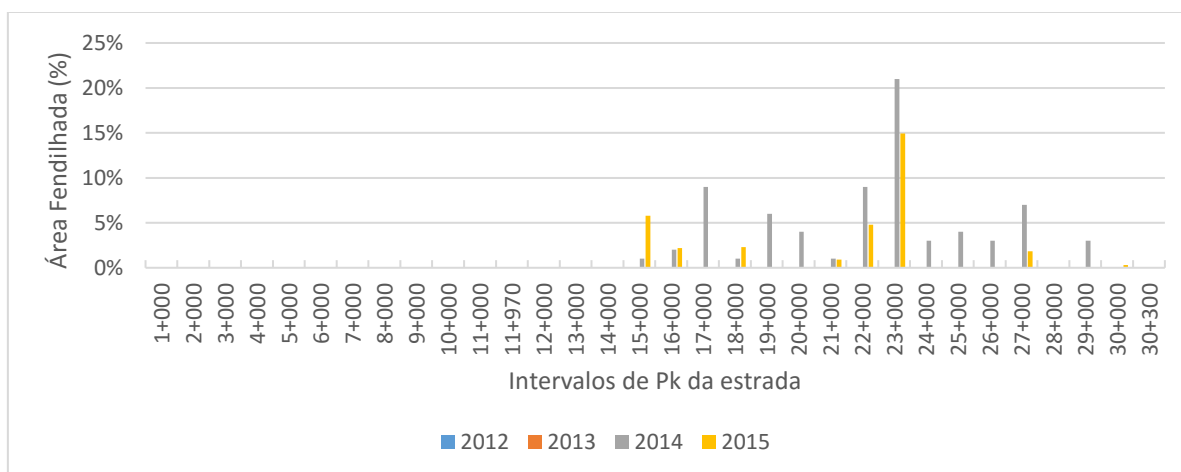


Figura 3.4 – Percentagem de área com fendilhamento tipo pele de crocodilo

Segundo a Figura 3.4, constata-se que o fendilhamento tipo pele de crocodilo iniciou em 2014, apenas na secção C050, compreendida entre os pk's (11+800 a 30+300), evidenciando diferentes volumes de tráfego ou diferentes capacidades estruturais entre secções. Dado que este tipo de fendilhamento resulta da evolução do fendilhamento longitudinal e transversal, desconhece-se o ano de iniciação do fendilhamento.

Observa-se tanto um aumento como uma diminuição da percentagem de área fendilhada no ano de 2015, em comparação ao ano de 2014, que possivelmente não corresponde à realidade, sendo relevante confirmar tais resultados. Ainda assim, esta variação dificulta a delimitação de tendências na percentagem de área fendilhada, comprometendo a utilização do modelo de progressão da previsão do fendilhamento do Projeto PARIS.

A Figura 3.5 apresenta o resultado da monitorização da profundidade média das rodeiras presentes ao longo das secções em estudo.



Figura 3.5 – Irregularidade Transversal

De acordo com a Figura 3.5, observa-se uma reduzida variação anual dos valores de R_t , atingindo, em determinados pk's, diferenças inferiores a 1 mm. Estes valores enquadram-se numa classe de gravidade nível 1, uma vez que são inferiores a 10 mm (EP, 2008).

Em cada secção, verifica-se a presença de sub-trechos cujos valores de rodeiras são claramente inferiores aos restantes da secção, evidenciando diferentes capacidades estruturais nesses trechos. Ainda assim, para o mesmo intervalo de pk da estrada, observa-se tanto um aumento como uma diminuição do valor das rodeiras ao longo da serie temporal, o que dificulta a delimitação de tendências na profundidade das rodeiras, comprometendo a utilização do modelo de previsão de rodeiras do Projeto PARIS.

Ainda assim, e de uma forma generalizada, constata-se uma diminuição dos valores de rodeiras na monitorização de 2015 relativamente à de 2014, evidenciando ações de conservação após a construção.

Dada a ausência de informações relativas a trabalhos de conservação, outra razão implícita para a diminuição do nível de gravidade das rodeiras resulta do seu processo de medição, através do perfilómetro a laser.

O processo de medição da profundidade das rodeiras é realizada através de sensores, espaçados ao longo de uma barra transversal ao eixo da estrada, registando as diferentes profundidades entre os sensores e a superfície do pavimento, durante a circulação do veículo.

O algoritmo utilizado pela perfilómetro, para o cálculo da profundidade da rodeira, corresponde ao modelo do fio, que consiste em “esticar” um fio sobre os pontos altos, calculando posteriormente a distância entre o fio e a superfície do pavimento. Os valores mais elevados

correspondem ao cavado da rodeira (Sá, S., 2014). A Figura 3.6 apresenta a metodologia de cálculo do modelo do fio.

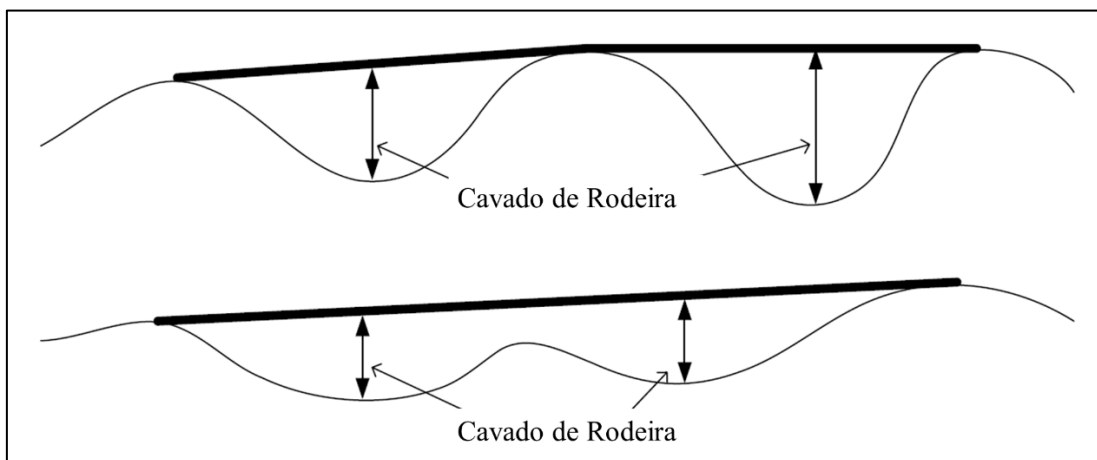


Figura 3.6 – Modelo do fio utilizado pela IP, no cálculo da profundidade da rodeira (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006)

A precisão na medição da profundidade das rodeiras, com recurso ao perfilómetro, depende da capacidade para localizar os pontos altos e baixos do perfil, sendo esta capacidade função do número de sensores e do posicionamento lateral do perfilómetro.

A leitura é realizada de forma discreta, atendendo à posição dos próprios sensores. Assim, quando maior for o número de sensores colocados na barra, menor o seu espaçamento e, conseqüentemente, maior a capacidade para localizar os pontos altos e baixos (Mallela, R. e Wang, H., 2006), tal como se demonstra na Figura 3.7.

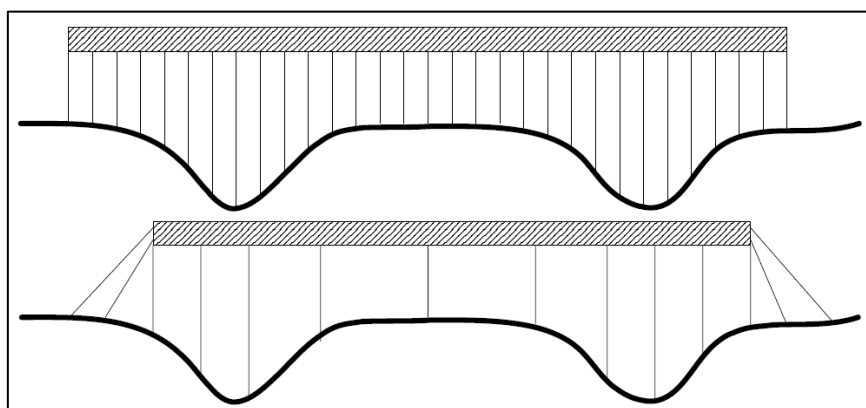


Figura 3.7 – Aumento do número de sensores na localização dos pontos altos e baixos do perfil (Mallela, R. e Wang, H., 2006)

Durante o levantamento das condições da rede, dificilmente o condutor do veículo assume as mesmas posições em monitorizações sucessivas, promovendo cenários idênticos aos ilustrados na Figura 3.8.

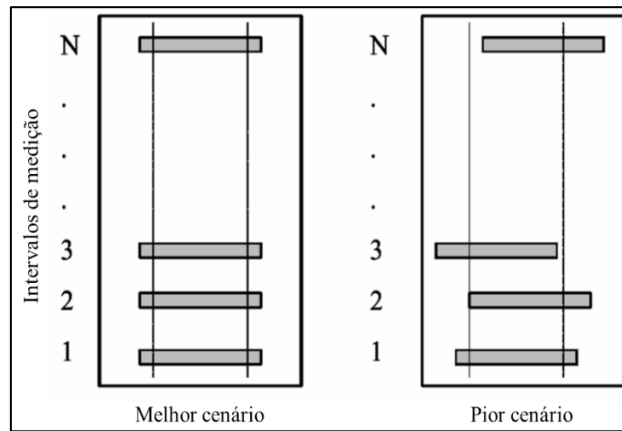


Figura 3.8 – Variação do posicionamento lateral do perfilômetro (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006)

A variação do posicionamento lateral do perfilômetro tem implicações nas medições da profundidade das rodeiras. A Figura 3.9 apresenta o efeito da variação do posicionamento lateral nos resultados da profundidade das rodeiras, para o mesmo número de sensores.

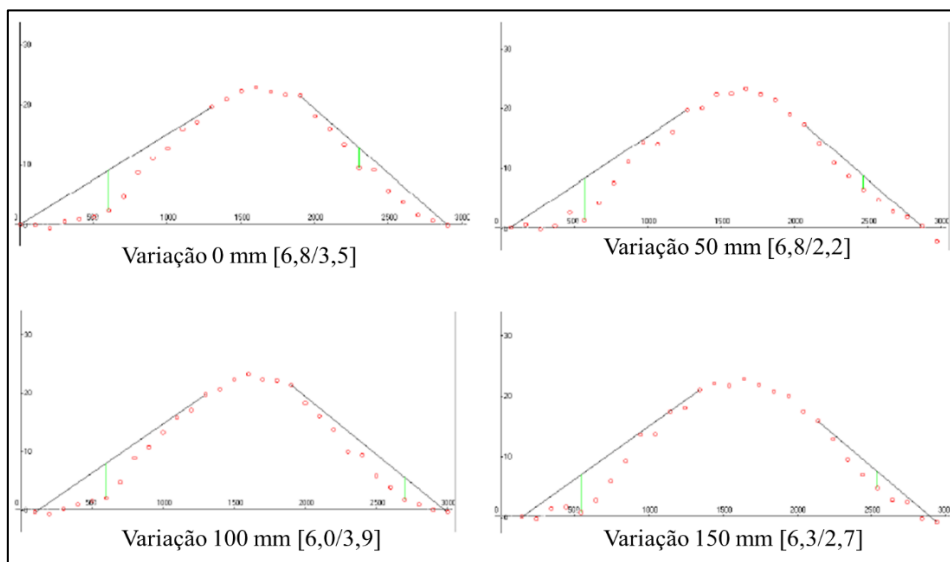


Figura 3.9 - Efeito da variação do posicionamento lateral na medição da profundidade das rodeiras (adaptado de Mallela, R. e Wang, H., 2006)

De acordo com a Figura 3.9, verifica-se uma variação dos valores da profundidade das rodeiras esquerdas e direitas para diferentes posicionamentos laterais do veículo, influenciando o valor médio da rodeira. Uma solução para diminuir os efeitos das variações do posicionamento lateral do perfilómetro pode corresponder ao aumento do número de sensores, visto que o espaçamento entre sensores diminuir, aumentando a capacidade para localizar os pontos altos e baixos do perfil.

Ao analisar um conjunto de dados de uma serie temporal, os efeitos protagonizados pelo número de sensores e pela variação do posicionamento lateral pode resultar numa variação dos valores das rodeiras diferentes do contexto real. Este facto pode corresponder à situação evidenciada no conjunto de dados de desempenho disponibilizados pela IP (Figura 3.5, página 48), sobre os quais é difícil isolar tendências no valor das profundidades das rodeiras. Torna-se, portanto, relevante conhecer se existe algum tipo de critério de aceitação dos resultados das rodeiras

Em trabalhos realizados anteriormente, no desenvolvimento de modelos de previsão do fendilhamento e das rodeiras, aplicáveis à rede rodoviária nacional (Silva, R., 2012; Sá, S., 2014), constatou-se que os dados fornecidos correspondiam aos valores médios obtidos em cada secção.

Recorrendo aos resultados do levantamento das condições da rede, avaliou-se a homogeneidade do valor médio, nomeadamente para as rodeiras, recorrendo aos valores medidos no ano de 2014, para a secção C086. O resultado é apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Homogeneidade do valor médio da rodeira para a secção C086

| Rodeiras medidas | Valor médio | Desvio-Padrão | C_v (%) |
|-------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| 0+000 a 11+800 | 2,7 | 1,0 | 37 |

De acordo com a Tabela 3.5, verifica-se um desvio-padrão significativo do valor das rodeiras, de tal forma que o valor médio apresenta uma homogeneidade muito fraca, próximo do patamar de não ser considerado homogéneo para a secção.

Deste modo, considerou-se interessante avaliar a homogeneidade do valor médio das rodeiras por quilómetro, sendo o resultado é apresentado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Homogeneidade do valor médio da rodeira por cada quilómetro da secção C086

| Rodeiras | Valor médio | Desvio-Padrão | C_v (%) |
|-----------------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| 0+000 a 1+000 | 1,3 | 0,4 | 31 |
| 1+000 a 2+000 | 1,1 | 0,2 | 18 |
| 2+000 a 3+000 | 2,0 | 0,9 | 44 |
| 3+000 a 4+000 | 2,9 | 0,5 | 18 |
| 4+000 a 5+000 | 2,9 | 0,5 | 19 |
| 5+000 a 6+000 | 3,2 | 0,4 | 12 |
| 6+000 a 7+000 | 3,2 | 0,5 | 17 |
| 7+000 a 8+000 | 3,3 | 0,5 | 15 |
| 8+000 a 9+000 | 3,7 | 0,3 | 8 |
| 9+000 a 10+000 | 3,3 | 0,6 | 18 |
| 10+000 a 11+000 | 3,6 | 0,4 | 12 |
| 11+000 a 11+800 | 2,4 | 1,0 | 41 |

Observando a Tabela 3.6, verifica-se, de uma forma geral, que a divisão efetuada conduziu a uma boa homogeneidade do valor médio das rodeiras ($C_v < 20\%$). No entanto, em determinados quilómetros, ainda se verifica uma fraca homogeneidade ($C_v > 30\%$) e uma não homogeneidade ($C_v > 40\%$) do valor médio da rodeira.

Assim, afirmar que uma secção apresenta um determinado valor médio conduz a variações muito significativas, pelo que se considera importante referir a existência de sub-trechos com diferentes valores médios.

3.4. Análise dos dados da BDR da IP

As informações armazenadas na BDR da IP sobre as secções intervencionadas, C086 e C050, são apresentadas na Tabela 3.7 e Tabela 3.8.

Tabela 3.7 – Histórico do pavimento de acordo com a BDR da IP

| Ano de Intervenção | Grupo | Evento | C086 | C050 |
|--------------------|-----------------------------|---------|------|------|
| 2010 | Mistura Betuminosa a Quente | BB (m) | 0,05 | 0,05 |
| 2010 | Mistura Betuminosa a Quente | MB (m) | 0,10 | 0,10 |
| 1971 | Tratamento Superficial | RS (m) | 0,01 | 0,01 |
| 1950 | Mistura Betuminosa a Frio | SPB (m) | 0,08 | 0,08 |
| 1950 | Material Granular | MH (m) | 0,15 | 0,15 |
| - | Fundação | CBR (%) | 7 | 7 |

BB – Betão Betuminoso

MB – Macadame Betuminoso

RS – Revestimento Superficial;

SPB – Semipenetração Betuminosa

MH – Macadame Hidráulico

Tabela 3.8 – Dados de tráfego armazenados na BDR da IP

| Ano de 2012 | C086 | C050 |
|-------------------|------|------|
| TMDA _p | 118 | 167 |

De acordo com a Tabela 3.7, verifica-se que a ação de conservação realizada em 2010, em ambas as secções, contemplou um reforço do pavimento existente através da aplicação de novas camadas betuminosas.

3.4.1. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento

A capacidade estrutural do pavimento, quantificada pelo SNC, requer o conhecimento dos coeficientes estruturais e dos coeficientes de drenagem. Atendendo aos módulos de deformabilidade apresentados na Tabela 3.2, os coeficientes estruturais foram calculados através da expressão (3.3), sendo os resultados apresentados na Tabela 3.9.

Dada a ausência de informação sobre o sistema de drenagem do pavimento, adotou-se os coeficientes de drenagem, para as camadas granulares e solo de fundação, apresentados na Tabela 3.2.

A Tabela 3.9 resume os valores dos coeficientes estruturais e de drenagem utilizados no cálculo do SNC.

Tabela 3.9 – Coeficientes estruturais e de drenagem utilizados no cálculo do SNC (Silva, R., 2012)

| Materiais | Coeficiente Estrutural | Coeficiente de Drenagem |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Região A | Região E |
| Misturas Betuminosas a Quente | 0,53 | 1,0 |
| Semipenetração Betuminosa | 0,20 | 1,0 |
| Macadame Hidráulico | 0,14 | 1,0 |
| Revestimento Superficial | 0,10* | 1,0 |

* Valor proposto no modelo de previsão HDM-4 (N.D. Lea International Ltd, 1995)

A Tabela 3.10 apresenta os valores estimados de SNC, de acordo com o histórico do pavimento.

Tabela 3.10 – SNC estimado de acordo com o histórico do pavimento

| Secção | SN | CBR (%) | SNC |
|--------|-----|---------|-----|
| C086 | 4,6 | 7 | 5,6 |
| C050 | 4,6 | 7 | 5,6 |

O modelo HDM-4 caracteriza o tráfego em NAEP, para uma carga de 80 kN, em milhões de passagens por ano (MESALs, *Million Equivalent Single Axle Load*). Através da expressão (3.2), chega-se aos valores de NAEP indicados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Valores de NAEP (80 kN) para os dados de tráfego armazenado na BDR

| Secção | TMDA _P | N _{80Y} * (MESALs) |
|--------|-------------------|-----------------------------|
| C086 | 118 | 0,049 |
| C050 | 167 | 0,070 |

*N_{80Y} – Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 80 kN

Tendo em consideração a igualdade do valor de SNC em ambas as secções, a Figura 3.10 apresenta a previsão do fendilhamento para os volumes de tráfego armazenados na BDR, segundo o modelo HDM-4, apenas para uma secção.

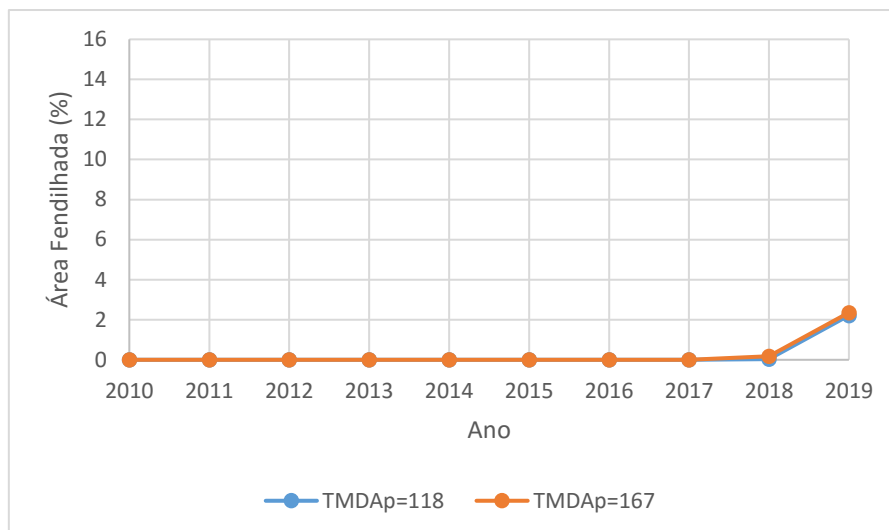


Figura 3.10 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo HDM-4, para os volumes de tráfego da BDR

De acordo com a Figura 3.10, as duas curvas estão coincidentes, pelo que não se verifica diferença na previsão do fendilhamento para os volumes de tráfego em análise, uma vez que a diferença entre os volumes é, aproximadamente, nula. Ainda assim, a evolução do fendilhamento atinge o 2% de área fendilhada.

Comparando a previsão teórica com os resultados da monitorização do fendilhamento (ver Figura 3.4), no ano de 2015 não foi verificado fendilhamento tipo pele de crocodilo, para a secção C086. Para a secção C050, o fendilhamento atingiu os 15% de área fendilhada.

3.4.2. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento

O cálculo do SCI pressupõe a existência de valores das deflexões, nomeadamente a deflexão no centro da placa de carga (D_0) e a deflexão a 30 cm do centro da placa (D_{30}). No entanto, a BDR da IP não dispõe destes dados.

Assim, recorreu-se ao programa de cálculo automático ELSYM5, para obter as deflexões referidas anteriormente, considerando os módulos de deformabilidade apresentados na Tabela 3.2.

A determinação do módulo de deformabilidade do solo de fundação foi efetuada através da conversão do valor de CBR do solo de fundação, recorrendo à expressão de *Powell*, apresentada seguidamente (Branco, F. et al., 2011):

$$E_f = 17,6 \times CBR^{0,64} \quad (3.4)$$

Onde,

E_f – Módulo de deformabilidade do solo de fundação (MPa);

CBR – Índice de capacidade de carga da fundação, em percentagem.

No projeto PARIS foram desenvolvidos dois modelos de previsão do início do fendilhamento, o primeiro para as secções cujo tempo do início do fendilhamento é conhecido e outro para as restantes secções, incluindo as que se encontravam fendilhadas e as não fendilhadas, quando inspecionadas pela primeira vez (Silva, R., 2012).

Tendo em consideração a ausência de informação do ano de iniciação do fendilhamento, utilizou-se o modelo para as restantes secções.

No projeto PARIS, o tráfego é caracterizado pelo NAEP, para uma carga de 100 kN, em ESAL (*Equivalent Single Axle Load*). Através da expressão (3.2), chega-se aos valores de NAEP indicados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Valores de NAEP (100 kN) para os dados de tráfego armazenados na BDR

| Secção | TMDA _p | N _{10Y} * (ESAL) |
|--------|-------------------|---------------------------|
| C086 | 118 | 2,022E+04 |
| C050 | 167 | 2,862E+04 |

*N_{10Y} - Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 100 kN

A Tabela 3.13 apresenta a previsão início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS, para os valores de tráfego armazenados na BDR.

Tabela 3.13 – Previsão do início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS, para os valores de tráfego da BDR

| Secção | TMDA _p | D ₀ (x10 ⁻⁶) | D ₃₀ (x10 ⁻⁶) | SCI (x10 ⁻⁶) | N ₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento |
|--------|-------------------|--|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| C086 | 118 | 581 | 463 | 118 | 3,422x10 ⁵ | > 2019 |
| C050 | 167 | | | | 2,759x10 ⁶ | > 2019 |

N₁₀ – Número de cargas acumuladas de um eixo-padrão de 100 kN no início do fendilhamento

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3.13, o início do fendilhamento, para ambas as secções, acontece após o horizonte de projeto. Tendo em consideração os pressupostos admitidos para o cálculo do SCI, nomeadamente a profundidade da camada rígida e o seu módulo de deformabilidade, conclui-se que este modelo é pouco aplicável na previsão do fendilhamento, na ausência de deflexões.

3.4.3. Modelos Mecanicistas de Previsão da Evolução do Fendilhamento

A quantificação da capacidade estrutural do pavimento é efetuada através da extensão de tração na base das camadas betuminosas (ϵ_t). Para o seu cálculo, recorreu-se ao programa de cálculo automático ELSYM5, considerando os módulos de deformabilidade apresentados na Tabela 3.2.

A determinação do módulo de deformabilidade do solo de fundação seguiu a metodologia referida no subcapítulo 3.4.2, através da expressão (3.4). O valor da ϵ_t é apresentada na Tabela 3.14.

Neste modelo, o tráfego é caracterizado pelo NAEP de 130 kN, em MESALs. Através da expressão (3.2), chega-se aos valores de NAEP indicados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Valor de ϵ_t e de NAEP (130 kN) para os dados armazenados na BDR

| Secção | ϵ_t ($\times 10^{-6}$) | TMDA _P | N _{130Y} * (MESALs) |
|--------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|
| C086 | 247 | 118 | 0,007 |
| C050 | 247 | 167 | 0,010 |

*N_{130Y} - Número de passagens por ano de um eixo-padrão de 130 kN

Tendo em consideração a igualdade do valor de ϵ_t em ambas as secções, a Figura 3.11 apresenta a previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para os volumes de tráfego armazenados na BDR.

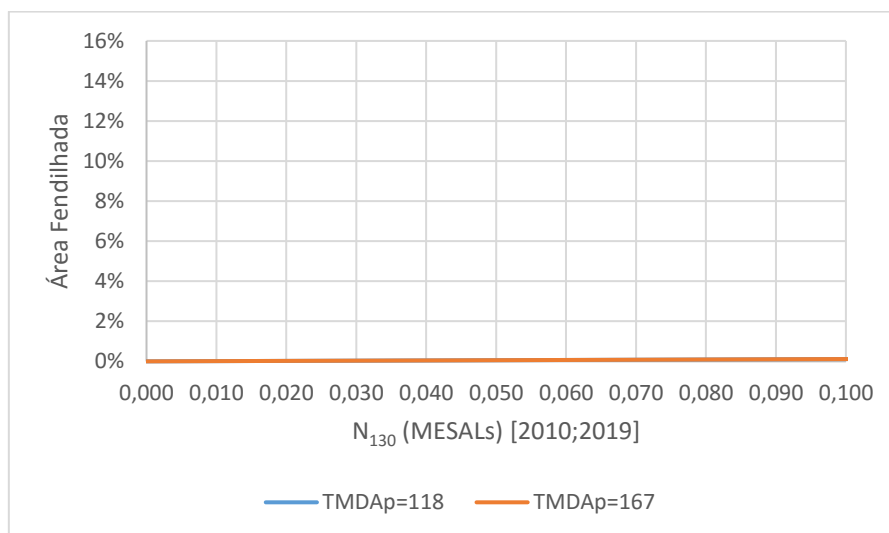


Figura 3.11 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para os volumes de tráfego da BDR

De acordo com a Figura 3.11, não se verifica diferença na previsão do fendilhamento para os volumes de tráfego em análise, visto que as duas curvas estão sobrepostas. Além disso, constata-se que não existe iniciação do fendilhamento para o período de vida útil do pavimento, traduzindo-

se numa previsão teórica não conforme com os resultados da monitorização do fendilhamento (ver Figura 3.4, página 47), especialmente para a secção C50.

3.4.4. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras

O valor de SNC adotado na previsão dos cavados de rodeiras corresponde ao estimado e utilizado na previsão do fendilhamento pelo modelo HDM-4 (ver Tabela 3.10, página 54).

Para as condições climáticas, adotou-se a metodologia da *Shell* que visa estabelecer um valor ponderado da temperatura anual do ar, representativo da região onde se insere a estrada. Para o cálculo desse valor, consultou-se os dados climatológicos do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) para o Distrito de Bragança obtendo-se um valor de temperatura de serviço de 15°C. Recorrendo ao *Ábaco da Shell*, obteve-se uma temperatura a 20 mm de profundidade (designada por PT) de 24°C.

Quanto ao valor da precipitação média mensal (*Mean Monthly Precipitation*, MMP), recorreu-se aos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH). O valor obtido foi de 0,046 m/mês, atendendo à localização da estrada. O procedimento adotado na determinação do MMP encontra-se no Anexo B.

Analisou-se a influência da variação dos parâmetros utilizados na previsão das rodeiras, apenas para a secção C086, em virtude do SNC ser igual.

1) Variação da Qualidade do Sistema de Drenagem do Pavimento

A eficiência do sistema de drenagem do pavimento influencia os coeficientes de drenagem e consequentemente o valor de SNC. Para avaliar a influência do sistema de drenagem na previsão das rodeiras, considerou-se dois cenários descritos na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 – Descrição dos cenários considerados

| Sistema de Drenagem | | | |
|----------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| Situação | Eficiência | Tempo de exposição de teores de humidade próximos ao de saturação (%) | Coefficiente de drenagem (d) |
| 1 | Muito eficiente | < 1% | 1,38 |
| 2 | Ineficiente | > 25% | 0,40 |

A Tabela C.1, apresentada na página 115 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos causados pela variação do sistema de drenagem, sendo o resultado apresentado na Figura 3.12.

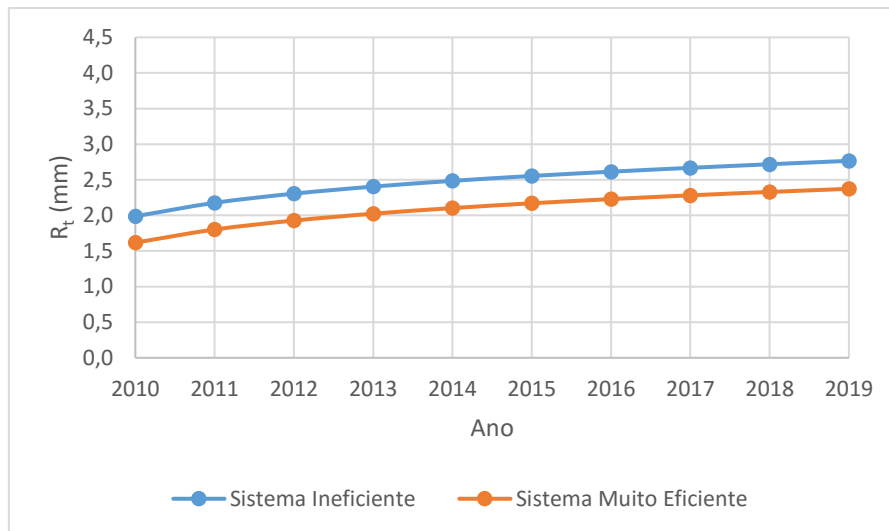


Figura 3.12 – Influência da variação da qualidade de drenagem na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.12, verifica-se que para a mesma estrutura do pavimento, um sistema muito eficiente apresenta valores de cavados de rodeira inferiores, comparativamente a uma estrutura idêntica com um sistema de drenagem ineficiente, obtendo-se diferenças de 0,4 mm.

2) Variação do Tipo de Betume

Os betumes utilizados nas misturas betuminosas, em Portugal, correspondem a dois tipos, o B35/50 ou B50/70, tendo em consideração as condições climáticas verificadas no país. As diferenças entre eles correspondem à rigidez que oferecem à penetração de uma agulha a 25°C, influenciando diretamente a temperatura de amolecimento (temperatura que define a transição entre o estado sólido e o estado líquido).

A BDR da IP não contempla este tipo de informação. Para avaliar os efeitos resultantes da ausência deste parâmetro na previsão de rodeiras, considerou-se os dois tipos de betumes utilizados em Portugal, sendo o resultado apresentado na Figura 3.13. Os parâmetros utilizados no seu cálculo encontram-se na Tabela C.2, página 115, do anexo C.

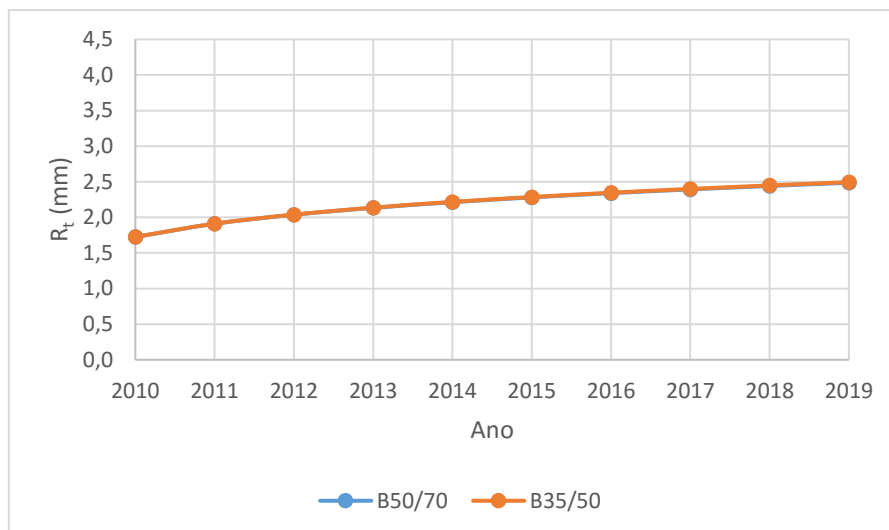


Figura 3.13 – Influência do tipo de betume na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4

Através da Figura 3.13, observa-se uma sobreposição das curvas respetivas a cada betume, constatando-se que o tipo de betume, utilizado em Portugal, não tem efeitos na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4. No entanto, o tipo de betume influencia a temperatura de amolecimento das camadas betuminosas e, conseqüentemente, afeta as rodeiras. Assim, considera-se importante que este parâmetro seja objeto de estudo, no âmbito do HDM-4.

3) Variação do Volume de Tráfego

Considerou-se os volumes de tráfego armazenados na BDR para as duas secções. Atendendo à igualdade do SNC para as duas secções, analisou-se apenas para uma secção. A Figura 3.14 apresenta os resultados da variação do volume de tráfego na previsão de rodeiras, baseados nos parâmetros indicados na Tabela C.3, página 116, do anexo C.

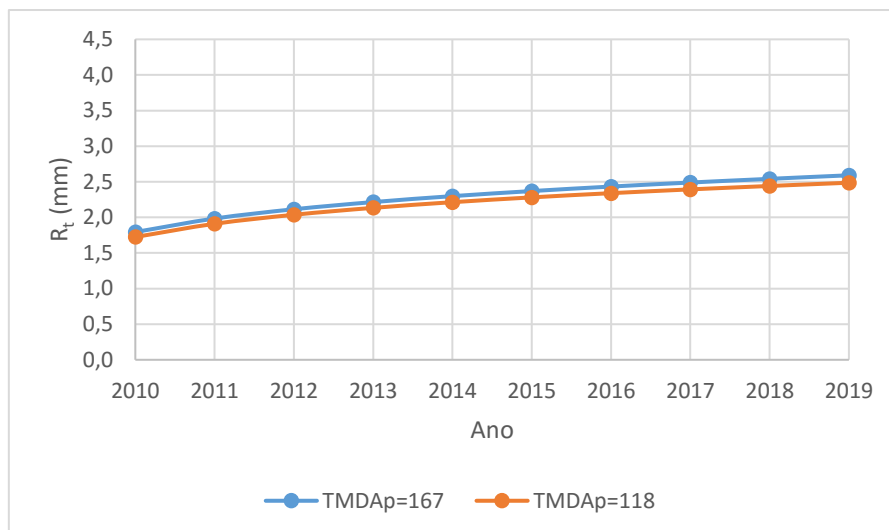


Figura 3.14 – Influência da variação do tráfego na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.14, não se verifica uma variação significativa na progressão dos cavados de rodeira para os dois volumes de tráfego armazenados na BDR.

4) Variação do Índice de Vazios

De acordo com o CETO da IP (EP, 2014b), o índice de vazios dos materiais para as camadas betuminosas com características de regularização e de desgaste são apresentados na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Índice de Vazios para as camadas betuminosas (EP, 2014b)

| Tipo de Camada | Índice de Vazios (VIM) | |
|-------------------------|------------------------|---------------------|
| | VIM _{mín.} | VIM _{máx.} |
| Camada de Desgaste | 3% | 5% |
| Camada de Regularização | 3% | 6% |

VIM_{mín.} – Valor mínimo de VIM

VIM_{máx.} – Valor máximo de VIM

Para avaliar o efeito deste parâmetro na previsão de rodeiras, consideraram-se dois cenários referentes às camadas betuminosas apresentarem o valor mínimo e máximo do índice de vazios, sendo estes apresentados Figura 3.15. Os parâmetros utilizados nos dois cenários encontram-se na Tabela C.4, página 116, do anexo C.

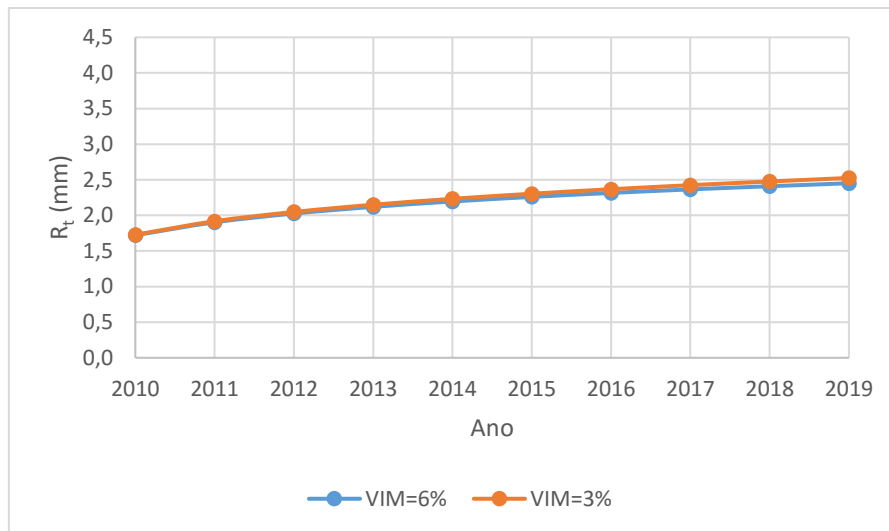


Figura 3.15 – Influência do VIM das camadas betuminosas na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.15, verifica-se uma sobreposição das curvas de progressão dos cavados de rodeiras para as camadas betuminosas com VIM de 6% e 3%. Conclui-se, portanto, que quaisquer valores de VIM, enquadrados no intervalo admissível para este tipo de camadas, não conduzem a variações significativas na progressão dos cavados de rodeiras.

3.5. Análise dos dados do PE

De acordo com a informação retirada dos projetos de execução de beneficiação do pavimento das secções C086 e C050, a ação de conservação contemplou:

- Reforço do pavimento existente;
- Estrutura de pavimento novo devido a retificações do traçado da diretriz da estrada, alargamento da faixa de rodagem existente e pavimentação das bermas não revestidas.

As soluções de pavimentação previstas são indicadas na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Estrutura do pavimento e suas características mecânicas

| Localização | Estrutura do Pavimento | | | | | |
|--|------------------------|------|------|--------|--------|--------|
| | Mat. | BB | MB | SPB | ABGE | Fund. |
| I - [0+000; 10+599] (Reforço do pavimento existente) | h (cm) | 5 | 13 | 10 | 10 | - |
| | E (MPa) | 5500 | 6000 | 350 | 350 | 60 |
| | v | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Mat. | BB | MB | SPB | ABGE | Fund. |
| II - [10+599; 11+800] (Reforço do pavimento existente) | h (cm) | 5 | 15 | 10 | 10 | - |
| | E (MPa) | 5500 | 6000 | 300 | 300 | 50 |
| | v | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Mat. | BB | MB | ABGE | P. Ex. | Fund. |
| IV - [12+100; 28+419] (Reforço do pavimento existente) | h (cm) | 5 | 10 | 15 | 26 | - |
| | E (MPa) | 5500 | 6000 | 250 | 340 | 65 |
| | v | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Mat. | BB | MB | ABGE | ABGE | Fund. |
| III - Retificações: [11+800; 12+100], [28+419; 28+495] e [29+911; 30+206] III - Alargamentos: [12+100; 19+300] e [29+515; 29+911] | h (cm) | 5 | 10 | 20 | 20 | - |
| | E (MPa) | 5500 | 6000 | 360 | 170 | 80 |
| | v | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Mat. | BB | - | P. Ex. | ABGE | Fund., |
| [29+515; 29+911] (Reforço do pavimento existente) | h (cm) | 5 | - | 19 | 30 | - |
| | E (MPa) | 5500 | - | 3500 | 250 | 110 |
| | v | 0,40 | - | 0,35 | 0,35 | 0,35 |

BB – Betão Betuminoso

ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa

P. Ex. – Pavimento Existente

A Figura 3.16 apresenta de forma esquemática a localização dos trabalhos de pavimentação previstos no PE.

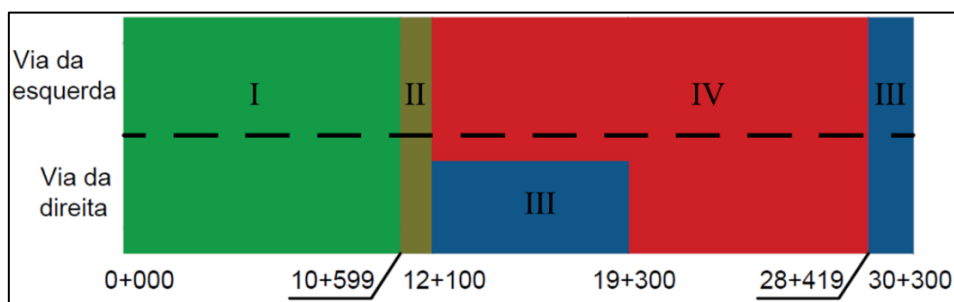


Figura 3.16 – Localização dos trabalhos de pavimentação previstos no PE

Comparando as informações previstas no PE com os dados armazenados na BDR (ver Tabela 3.7, página 53) verifica-se que a ação de conservação não contemplou apenas o reforço do pavimento, mas também pavimento novo, em alargamento da faixa de rodagem. Além disso, as espessuras contempladas na BDR e o valor do CBR, não apresentam coerência com os valores do PE.

Na elaboração do PE para a secção C050, foi realizado um estudo de tráfego em 2003, cujo resultado indicou um valor de TMDAp similar ao do posto 159 da EP, em 2003. No PE da secção C086, não foi realizado qualquer estudo de tráfego, tendo sido admitido volumes iguais ao da secção da C050.

A Tabela 3.18 apresenta os volumes de tráfego estimados para o horizonte de projeto (2009/2010).

Tabela 3.18 – Volumes de tráfego para o Horizonte de Projeto (2009/2019)

| Ano | Cenário Otimista | Cenário Pessimista |
|------|------------------|--------------------|
| 2009 | 820 | 859 |
| 2014 | 957 | 872 |
| 2019 | 1148 | 753 |

Em virtude do cenário pessimista estimar valores, no ano de abertura ao tráfego, superiores aos valores do cenário otimista, o volume de tráfego adotado nos modelos previsão corresponde apenas aos valores otimistas.

3.5.1. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento

De acordo com o Banco Mundial, o material macadame betuminoso, aplicado na camada de regularização, corresponde a uma terminologia alternativa do betão betuminoso, mistura aplicada na camada de desgaste. Assim, o cálculo dos coeficientes estruturais para o material macadame betuminoso decorreu de forma idêntica à utilizada para o material betão betuminoso (N.D. Lea International Ltd, 1995).

Para o cálculo do SNC foram utilizados os valores das soluções de pavimentação apresentadas na Tabela 3.17. Os coeficientes estruturais dos materiais betuminosos foram calculados através da expressão (3.3).

Para a camada granular, constituída por ABGE, considerou-se que apresentava um CBR de 100%, correspondendo a um coeficiente estrutural de 0,14 (ver Tabela A.1, página 110). Quanto à qualidade da drenagem do pavimento, adotou-se um coeficiente de 1,3 (ver Tabela A.2, página 111) para as camadas granulares, em virtude do sistema de drenagem ter sido melhorado, através da pavimentação das bermas e da introdução de valetas de drenagem longitudinal.

A conversão dos valores dos módulos de deformabilidade, em CBR, foi realizada através da expressão (3.4).

A Tabela 3.19 apresenta os valores de SNC para as soluções de pavimentação previstas.

Tabela 3.19 - Valores de SNC para as soluções previstas no PE

| Secção | Localização | SN | CBR (%) | SNC |
|--------|------------------------|-----|---------|-----|
| C086 | I – Reforço Pavimento | 5,3 | 7% | 6,2 |
| | II – Reforço Pavimento | 5,7 | 5% | 6,4 |
| C050 | III – Pavimento Novo | 6,1 | 11% | 7,4 |
| | IV – Reforço Pavimento | 6,2 | 8% | 7,2 |

No que diz respeito às diferenças entre as duas soluções de pavimentação previstas, para cada secção, verificam-se valores de SNC semelhantes (Tabela 3.19).

Para caracterizar o tráfego de acordo com o modelo HDM-4, recorreu-se à expressão (3.2), para determinar o valor de NAEP de 80 kN, sendo este apresentado na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Valores de NAEP de 80 kN de acordo com PE

| Secção | MESALS _{80kN} (2009/2019) | N _{80Y} (MESALS) |
|-------------|------------------------------------|---------------------------|
| C086 e C050 | 7,244 | 0,724 |

A Figura 3.17 apresenta a previsão do fendilhamento nas duas soluções de pavimentação previstas na secção C086, para o horizonte de projeto.

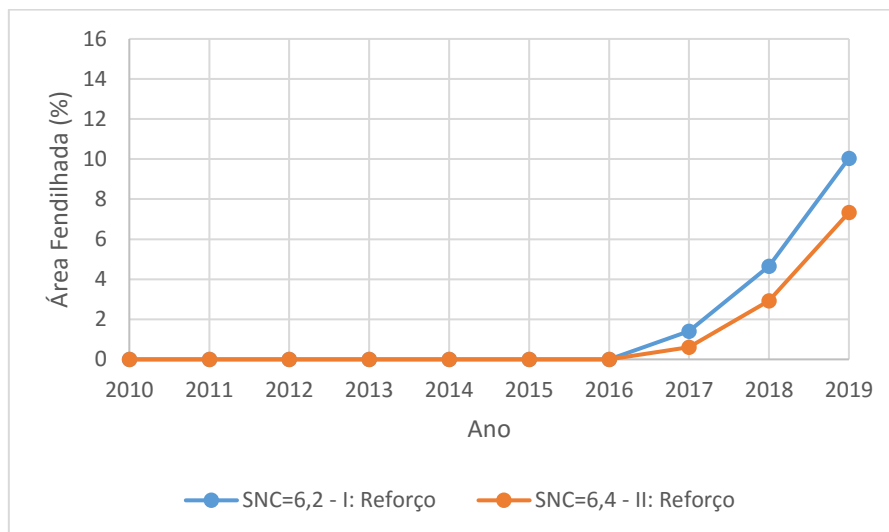


Figura 3.17 – Previsão do fendilhamento para as duas soluções previstas para secção C086, segundo o modelo HDM-4

Observando a Figura 3.17, verifica-se que nas duas soluções previstas, o início do fendilhamento ocorre em 2017, atingindo 10% e 8% de área fendilhada no final do horizonte de projeto, para a solução I e solução II, respetivamente.

A Figura 3.18 apresenta a previsão do fendilhamento para as duas soluções de pavimentação previstas na secção C086, para o horizonte de projeto.

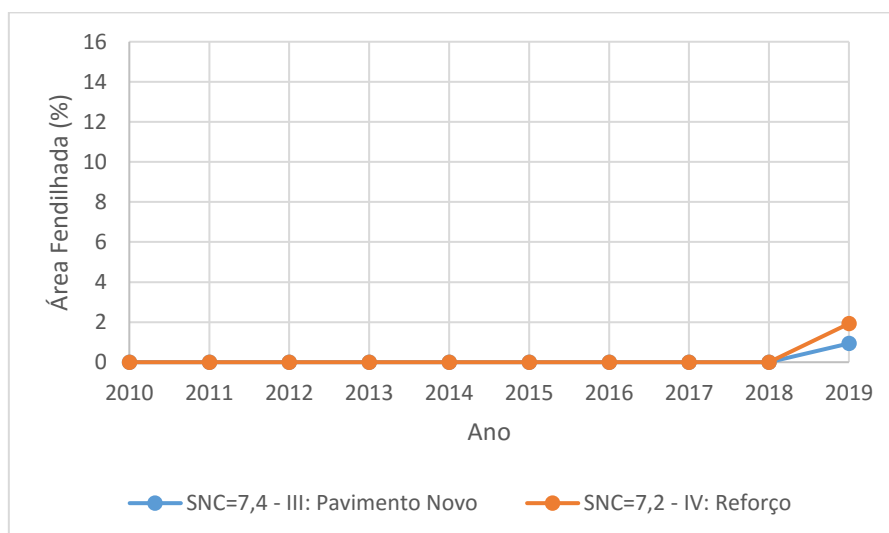


Figura 3.18 - Previsão do fendilhamento para as duas soluções previstas para secção C050, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.18, verifica-se que o início do fendilhamento, tanto para a solução de reforço do pavimento, como para a solução de pavimento novo, ocorre no final do horizonte de projeto.

3.5.2. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento

A utilização deste modelo pressupõe a realização de ensaios de carga sobre a estrutura estimada, de modo a calcular o SCI, que ao nível do PE não são contemplados. Deste modo recorreu-se ao programa de cálculo automático ELSYM5, para obter as deflexões que permitem calcular o SCI, tendo em conta as soluções de pavimentação apresentadas na Tabela 3.17.

Para caracterizar o tráfego de acordo com o modelo do Projeto de PARIS, recorreu-se à expressão (3.2), para determinar o valor de NAEP de 100 kN, sendo este apresentado na Tabela 3.21.

Tabela 3.21 – Valores de NAEP de 100 kN de acordo com PE

| Secção | ESAL _{100kN} (2009/2019) | N _{10Y} (ESAL) |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------|
| C086 e C050 | 2,967x10 ⁶ | 2,967x10 ⁵ |

A Tabela 3.22 apresenta a previsão início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS.

Tabela 3.22 – Previsão do início do fendilhamento, segundo o modelo do projeto PARIS

| Secção | Localização | D ₀ (x10 ⁻⁶) | D ₃₀ (x10 ⁻⁶) | SCI (x10 ⁻⁶) | N ₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento |
|--------|------------------------|--|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| C086 | I – Reforço Pavimento | 437 | 377 | 60 | 5,714E+06 | > 2019 |
| | II – Reforço Pavimento | 439 | 393 | 46 | 6,482E+06 | > 2019 |
| C050 | III – Pavimento Novo | 414 | 321 | 93 | 3,813E+06 | > 2019 |
| | IV – Reforço Pavimento | 430 | 338 | 92 | 3,864E+06 | > 2019 |

De acordo com a Tabela 3.22, verifica-se o início do fendilhamento após o horizonte de projeto, para ambas as secções. Tendo em consideração os pressupostos admitidos para o cálculo do SCI, nomeadamente a profundidade da camada rígida e o seu módulo de deformabilidade, conclui-se que este modelo não é aplicável na previsão do fendilhamento em fase de projeto.

3.5.3. Modelos Mecanicistas de Previsão da Evolução do Fendilhamento

Com base nas soluções de pavimentação previstas (Tabela 3.17), recorreu-se ao programa de cálculo automático ELSYM5, para obter ϵ_t , sendo estes apresentados na Tabela 3.23.

Tabela 3.23 – Valores de ϵ_t e respetivo dano para as soluções de pavimentação do PE

| Secção | Localização | ϵ_t ($\times 10^{-6}$) | Dano [2009/2019] |
|--------|------------------------|-----------------------------------|------------------|
| C086 | I – Reforço Pavimento | 140 | 27% |
| | II – Reforço Pavimento | 134 | 21% |
| C050 | III – Pavimento Novo | 154 | 43% |
| | IV – Reforço Pavimento | 148 | 35% |

Para caracterizar o tráfego de acordo com o modelo Mecanicista, recorreu-se à expressão (3.2), para determinar o valor de NAEP de 130 kN, sendo este apresentado na Tabela 3.24.

Tabela 3.24 – Valores de NAEP de 130 kN de acordo com PE

| Secção | MESAL _{130kN} (2009/2019) | N _{130Y} (MESALs) |
|-------------|------------------------------------|----------------------------|
| C086 e C050 | 1,039 | 0,104 |

A Figura 3.19 apresenta a evolução do fendilhamento, para o horizonte de projeto, mas as soluções de pavimentação estimadas.

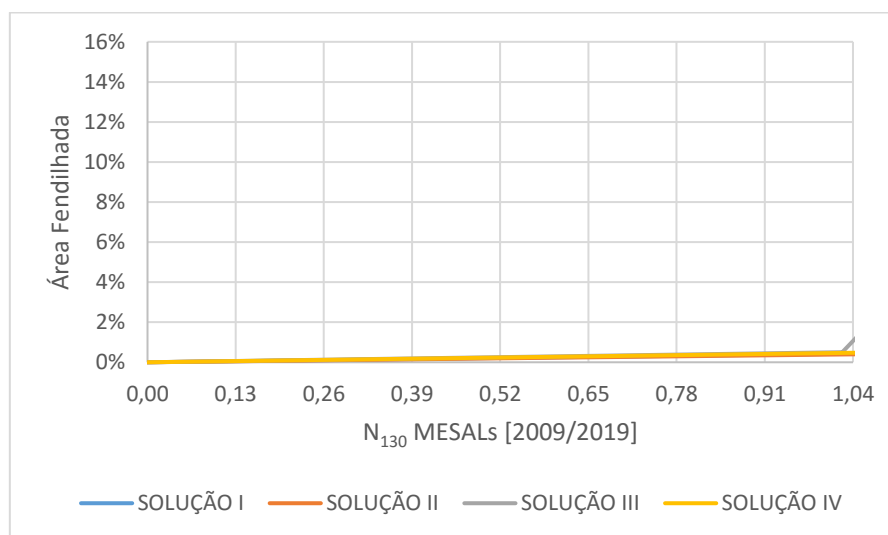


Figura 3.19 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para as soluções de pavimentação estimadas em PE

De acordo com a Figura 3.19, verifica-se o início do fendilhamento no final do horizonte de projeto, apenas para solução III que consiste num pavimento novo. Quanto aos valores do dano,

constata-se um sobredimensionamento de todas as soluções de pavimentação previstas, uma vez que o seu valor é claramente inferior a 80%.

3.5.4. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras

No âmbito do PE foi consideradas as seguintes características das misturas betuminosas:

- Tipo de Betume: B35/50;
- Percentagem volumétrica de betume: 12% para o betão betuminoso e 10% para o macadame betuminoso;
- Percentagem de vazios: 4% para o betão betuminoso e 6 % para o macadame betuminoso.

Comparando o nível de informação presente no PE e na BDR, verifica-se diferenças apenas no SNC e no tráfego, uma vez que os dados climáticos são constantes, a informação sobre o tipo de betume não tem efeitos na progressão das rodeiras e o número de vazios considerado para as misturas betuminosas na BDR, corresponde ao valor médio previsto no CETO da IP (Tabela 3.16, página 61).

Deste modo, considerou-se avaliar os efeitos causados pela diferença de soluções de pavimentação, para cada secção, na previsão de rodeiras.

Os valores de SNC e de tráfego adotados correspondem aos utilizados na previsão do fendilhamento pelo modelo HDM-4, apresentado na Tabela 3.19 e na Tabela 3.20, respetivamente.

A Tabela C.5, apresentada na página 117 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos causados pela variação estrutural das soluções de pavimentação previstas no PE.

A Figura 3.20 apresenta a previsão de rodeiras nas duas soluções de pavimentação previstas para secção C086, durante o horizonte de projeto.

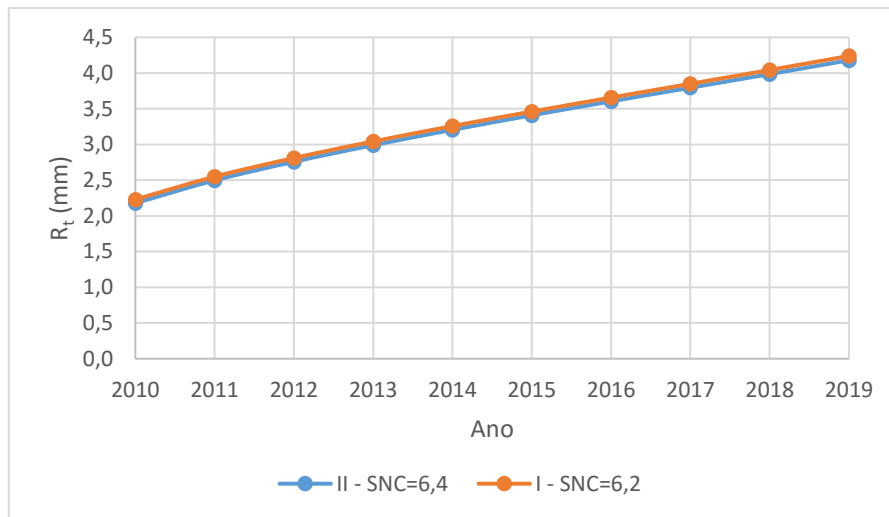


Figura 3.20 – Previsão de rodeiras para as duas soluções previstas para secção C086, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.20, observa-se valores de rodeiras iguais durante o horizonte de projeto. No entanto, de acordo com a monitorização das rodeiras (Figura 3.5), verificam-se três tendências diferentes de rodeiras para a secção C086.

A Figura 3.21 apresenta a previsão de rodeiras nas duas soluções de pavimentação previstas para secção C050, durante o horizonte de projeto.

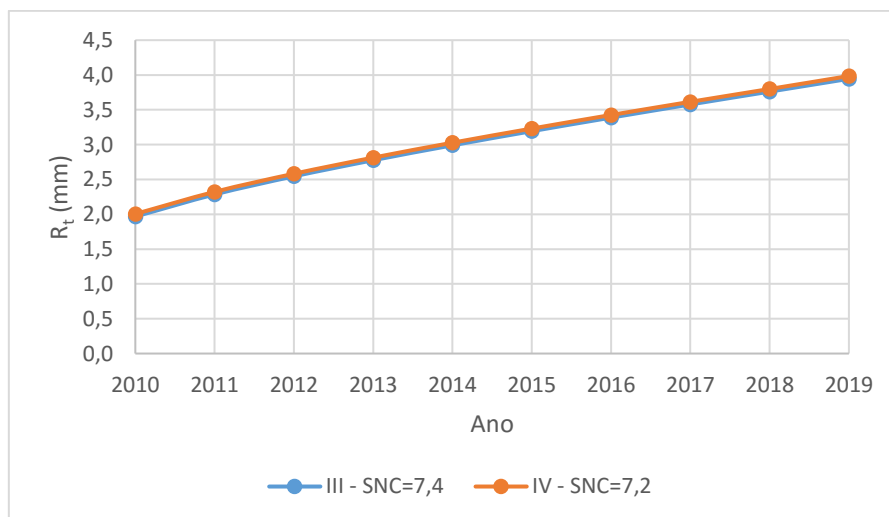


Figura 3.21 – Previsão de rodeiras para as duas soluções previstas para secção C050, segundo o modelo HDM-4

Segundo a Figura 3.21, os valores das rodeiras são iguais durante o horizonte de projeto. No entanto, de acordo com a monitorização das rodeiras (Figura 3.5, página 48), verificam-se aproximadamente cinco tendências diferentes de rodeiras para a secção C050.

3.6. Análise aos dados da Caracterização Final do Pavimento

3.6.1. Determinação das Características do Pavimento

Visto que o dimensionamento previa misturas betuminosas com espessura igual ou superior a 0,10 m, foram realizados ensaios de carga com FWD, no âmbito da CFP. No entanto, a avaliação da capacidade estrutural foi realizada apenas na via da direita, generalizando as características mecânicas resultantes para a via da esquerda.

Tendo em conta que a estrada não apresenta separador central e terem sido previstos trabalhos que alternam entre reforço do pavimento existente e pavimento novo (ver Figura 3.16, página 64), optou-se por avaliar a capacidade estrutural do pavimento nos dois sentidos.

Os ensaios de carga com FWD foram realizados com espaçamento de 100 m, em quincênio. No entanto, os resultados disponibilizados agrupavam os valores de cada um dos sentidos, sendo apresentados com espaçamento de 50 m.

Considerou-se que o primeiro ensaio (Pk 0+000) correspondia ao sentido crescente e que o segundo (Pk 0+050) correspondia ao sentido decrescente. Após a ordenação da localização de cada ensaio, verificou-se uma coerência nos resultados ordenados, através da hora do ensaio.

Os resultados dos ensaios de carga com FWD, para cada sentido, encontram-se no Anexo D, cujas deflexões obtidas em todos os geofones já estão normalizadas para uma carga padrão de 65 kN.

Para a identificação dos trechos com comportamento estrutural homogêneo, foi adotada a metodologia da AASHTO. Os parâmetros utilizados para caracterizar a bacia de deflexão, e consequentemente, avaliar a capacidade estrutural do pavimento foram o D_0 , SCI e D_{90} , visto corresponderem a indicadores que avaliam o comportamento global do pavimento, das camadas betuminosas e da fundação, respetivamente.

Deste modo, foram sobrepostos os três gráficos obtidos pelo método das diferenças acumuladas, para cada parâmetro, garantido que os trechos identificados correspondiam em uniformidade com os parâmetros mencionados anteriormente.

A identificação dos trechos, no sentido crescente e sentido decrescente, é apresentada na Figura 3.22 e Figura 3.23, respetivamente.

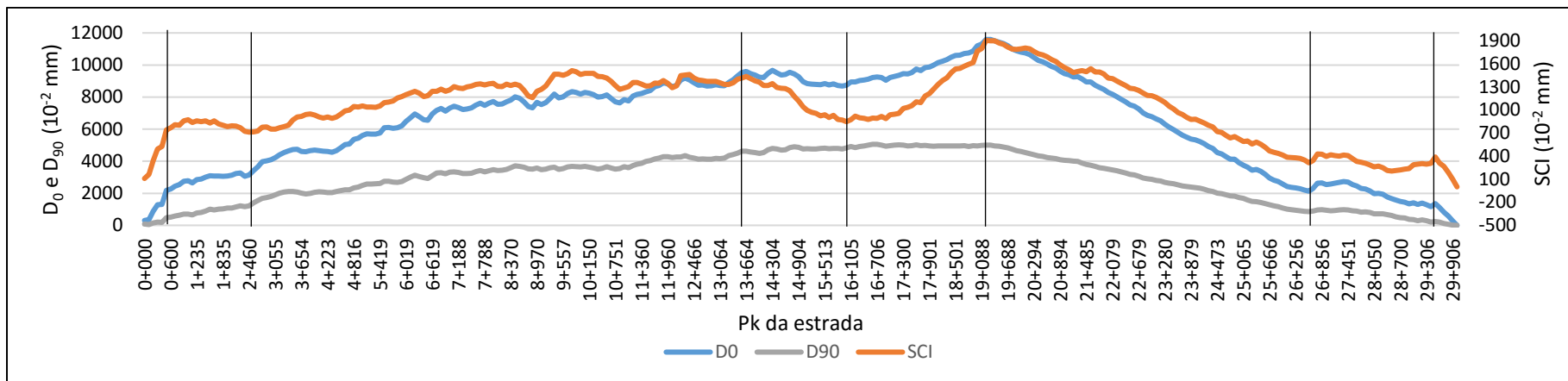


Figura 3.22 – Identificação dos trechos com comportamento estrutural homogéneo, sentido crescente

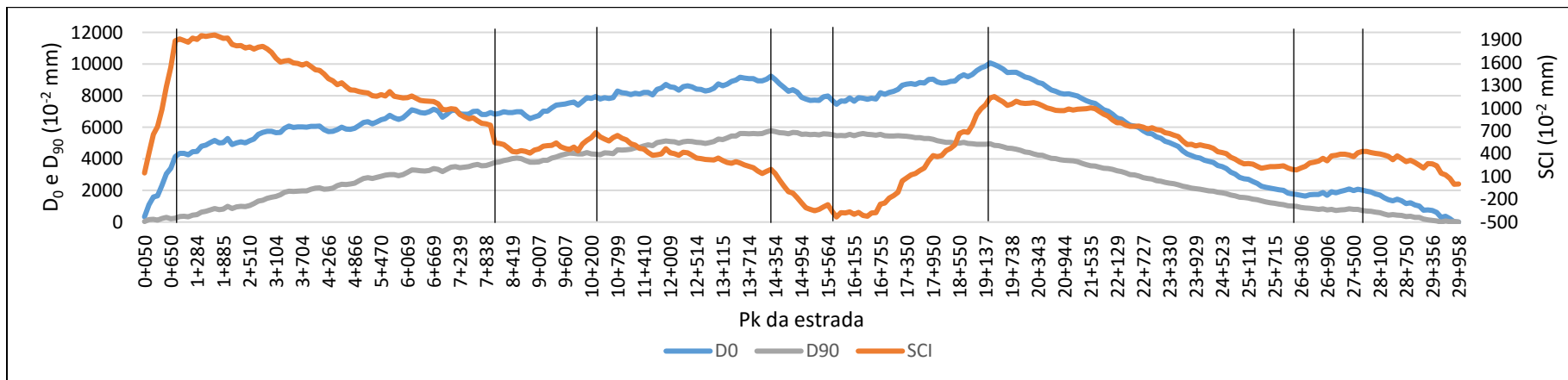


Figura 3.23 – Identificação dos trechos com comportamento estrutural homogéneo, sentido decrescente

Observando a Figura 3.22 e Figura 3.23, constata-se a presença de oito trechos com comportamento estrutural homogêneo, no sentido crescente e de nove no sentido decrescente, de acordo com a uniformidade dos declives proveniente da sobreposição das três curvas. A divisão foi efetuada através da mudança de declive da curva das diferenças acumuladas dos três gráficos.

A deflexão característica foi determinada pela média dos valores da deflexão máxima (D_0) em cada trecho identificado, o que corresponde a um percentil de 50% na distribuição de *Gauss*, traduzindo-se numa probabilidade de exceder a deflexão característica em 50%.

Adotou-se este percentil, em virtude de ter sido aplicada uma camada de regularização e, conseqüentemente existir variações na espessura da camada ao longo da extensão do trecho em causa.

Os resultados dos ensaios de prospeção encontram-se no Anexo E. No entanto, verificaram-se duas situações:

1. Para o macadame betuminoso só existem valores nos seguintes intervalos: [0+800; 9+950], [17+000; 18+825], [25+120; 25+400] e [28+620; 29+860];
2. Para o betão betuminoso só existem valores nos seguintes intervalos: [11+800; 19+730], [21+650; 24+650]; e [26+530; 27+425].

Perante as situações referidas anteriormente, a retroanálise foi realizada apenas nos trechos onde existia informação dos resultados dos ensaios de prospeção. A Tabela 3.25 identifica os trechos considerados na retroanálise.

Tabela 3.25 – Identificação dos trechos considerados na retroanálise

| Sentido | Trecho | Ponto Representativo | Valor Médio μ | Desvio-Padrão σ | Coefficiente de Variação C_V (%) |
|-------------|--------|----------------------|-------------------|------------------------|------------------------------------|
| Crescente | 5 | 16+305 | 587 | 97 | 17% |
| | | 17+500 | | | |
| | 6 | 21+886 | 376 | 77 | 21% |
| | | 23+879 | | | |
| | | 24+373 | | | |
| | | 25+465 | | | |
| | 7 | 27+471 | 471 | 115 | 25% |
| 27+851 | | | | | |
| Decrescente | 4 | 16+555 | 564 | 145 | 26% |
| | | 17+051 | | | |
| | | 17+350 | | | |
| | 5 | 19+338 | 384 | 77 | 20% |
| | | 20+244 | | | |
| | | 23+830 | | | |
| | | 24+824 | | | |

Através do valor do coeficiente de variação, verifica-se que os trechos apresentam uma homogeneidade moderada, em alguns até considerada como boa homogeneidade. O cálculo dos módulos de deformabilidade resultou de um processo iterativo, cujo critério de paragem adotado foi o da minimização do erro, proveniente do parâmetro RMS.

Os programas utilizados foram o *CHEVDE* e o *CPAV*, desenvolvidos por Luís Quaresma, cujos princípios de cálculo assentam na teoria de *Burmister*. O *CHEVDE* trata-se de um programa de cálculo automático e a sua utilização consistiu na introdução de um intervalo de módulos de deformabilidade e de um conjunto de profundidades da fundação até à camada rígida, de modo acelerar o processo de convergência para a solução final, com o menor erro possível. Como este programa trabalha com um sistema de quatro camadas, considerou-se apenas uma camada betuminosa, sendo a sua espessura dada pela soma da camada de regularização e da camada de desgaste.

No *CPAV*, o processo de retroanálise é iterativo, mas é possível avaliar estruturalmente pavimentos com número de camadas superior a quatro. Assim, introduziu-se os módulos e deformabilidade obtidos no *CHEVDE* e dividiu-se a camada betuminosa, determinando o contributo da camada de desgaste e de regularização.

Na Tabela 3.26 é apresentado o RMS resultante do processo de retroanálise.

Tabela 3.26 – RMS resultante do processo de retroanálise

| Sentido | Zona | Ponto Representativo | RMS (%) |
|-------------|--------|----------------------|---------|
| Crescente | 5 | 16+305 | 1,6 |
| | | 17+500 | 0,9 |
| | 6 | 21+886 | 1,4 |
| | | 23+879 | 1,0 |
| | | 25+465 | 1,1 |
| 7 | 27+851 | 2,2 | |
| Decrescente | 6 | 17+051 | 2,0 |
| | | 17+350 | 0,5 |
| | 7 | 24+824 | 1,1 |

De acordo com a Tabela 3.26, o valor de RMS é maioritariamente inferior a 2%, pelo que se conclui que os módulos de deformabilidade obtidos apresentam boa aproximação aos valores reais.

No entanto, o número de pontos representativos reduziu substancialmente devido ao erro elevado que se obteve no processo de retroanálise. Uma das possíveis razões deve-se à localização desses pontos coincidir em taludes de escavação, relacionada com deflexões aproximadamente nulas nos últimos geofones.

Após determinação dos módulos de deformabilidade do solo de fundação, calculou-se o valor de CBR através da expressão (3.4), sendo estes apresentados na Tabela 3.27.

Tabela 3.27 – Cálculo inverso do CBR do solo de fundação

| Sentido | Zona | Ponto Representativo | Declive (D ₉₀) | E (MPa) | CBR _c (%) | CBR _a (%) |
|-------------|--------|----------------------|----------------------------|---------|----------------------|----------------------|
| Crescente | 5 | 16+305 | + | 44 | 4 | 5 |
| | | 17+500 | + | 57 | 6 | |
| | 6 | 21+886 | - | 88 | 12 | 13 |
| | | 23+879 | - | 82 | 11 | |
| | | 25+465 | - | 105 | 16 | |
| 7 | 27+851 | - | 73 | 9 | 9 | |
| Decrescente | 6 | 17+051 | - | 76 | 10 | 8 |
| | | 17+350 | - | 59 | 7 | |
| | 7 | 24+824 | - | 109 | 17 | 17 |

CBR_c – CBR calculado

CBR_a – CBR adotado

De acordo com a Tabela 3.27, o CBR adotado é coerente com o declive da curva das diferenças acumuladas para a D_{90} , uma vez que declives positivos correspondem a valores de deflexão superiores ao valor médio, evidenciando uma fraca contribuição da fundação no comportamento do pavimento. No que diz respeito aos declives negativos, o valor da deflexão é inferior à média e, conseqüentemente, contributo da fundação no comportamento do pavimento.

O comportamento mecânico das camadas betuminosas é influenciado pela temperatura. Atendendo às condições climáticas presentes no Distrito de Bragança foi estimado, de acordo com a metodologia da *SHELL*, uma temperatura média mensal anual (T_{mma}) de 15°C, resultando em temperaturas de serviço de 24°C e 23°C, para a camada de desgaste e de regularização, respetivamente.

Uma vez que os ensaios de carga foram realizados a temperaturas diferentes das medidas em projeto, procedeu-se à respetiva correção dos módulos de deformabilidade para a temperatura de projeto, através da expressão (2.10).

A Tabela 3.28 apresenta a caracterização mecânica do pavimento estimada em cada trecho estruturalmente homogéneo, após correção para a temperatura de serviço.

Tabela 3.28 - Caracterização mecânica do pavimento para a temperatura de serviço

| Sentido | Pk _I | Pk _F | Estrutura do Pavimento (cm) | Módulo de Deformabilidade (MPa) | | |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|
| | | | | Desgaste (BB) | Regularização (MB) | Base (ABGE) |
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 5,6 BB + 8,8 MB + 40 ABGE | 4978 | 5229 | 116 |
| | 19+188 | 26+557 | 5,7 BB + 9,4 MB + 41 ABGE | 5763 | 6054 | 216 |
| | 26+557 | 29+506 | 5,2 BB + 9,3 MB + 40 ABGE | 4755 | 5000 | 235 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 5,1 BB + 10,5 MB + 41 ABGE | 3311 | 3532 | 125 |
| | 19+238 | 26+206 | 5,6 BB + 10,1 MB + 41 ABGE | 4533 | 4862 | 222 |

De uma forma geral, a auscultação estrutural efetuada conduziu a módulos de deformabilidade inferiores aos projetados no PE para a secção C050 (ver Tabela 3.17, página 63). No entanto, os módulos de deformabilidade obtidos correspondem a um percentil de 50% das deflexões medidas em cada trecho estruturalmente homogéneo.

Constata-se que o número de estruturas com capacidade estrutural homogénea aumentou significativamente, em comparação às soluções de pavimentação previstas em fase do PE. No

entanto, não foi possível determinar as características mecânicas de todos os trechos identificados, devido à ausência de informação das espessuras das camadas betuminosas.

Atendendo à evidência de diferentes volumes de tráfego como causa da existência de fendilhamento tipo de pele de crocodilo apenas na secção C050, consultou-se os anuários existentes do Distrito de Bragança e constatou-se a existência de um posto de contagem, em cada secção. A Tabela 3.29 apresenta os volumes de tráfego indicados nos Anuários.

Tabela 3.29 – Volumes de tráfego indicados nos Anuários

| Posto | Secção | Ano | TMDAp |
|--------------|---------------|------------|--------------|
| 141-A | C086 | 2003 | 99 |
| | | 2005 | 276 |
| 159 | C050 | 2003 | 780 |
| | | 2005 | 418 |

De acordo com a Tabela 3.29, verifica-se um acréscimo de 178% do volume de tráfego para a secção C086 e um decréscimo de 46% do volume de tráfego para a secção C050, para o ano de 2005. Tendo em consideração que o ano de 2005 correspondeu ao ano em que foi elaborado o último Anuário, desconhece-se a evolução do volume de tráfego para as secções em estudo.

O Instituto Nacional de Estatística (INE), desde o ano de 2005, divulga os resultados estatísticos sobre a mobilidade nacional. No que se refere ao transporte rodoviário, disponibiliza os resultados estatísticos de veículos pesados de mercadorias e de passageiros, desde 2005 e 2012, respetivamente. As estatísticas disponibilizadas resultam das informações provenientes do Instituto de Infraestruturas Rodoviárias (INIR) e do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT).

A evolução do volume de tráfego de veículos pesados, proveniente dos resultados disponibilizados pelo INE, é apresentada na Figura 3.24.

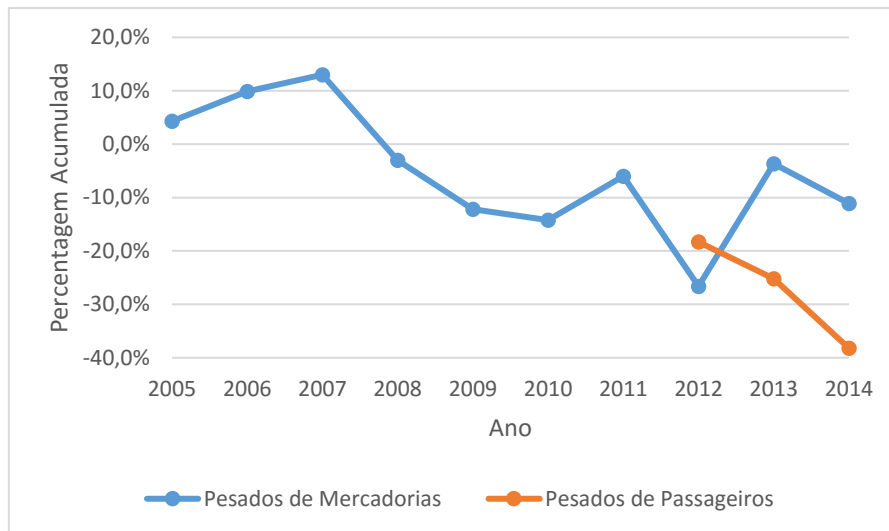


Figura 3.24 - Evolução do volume de tráfego de veículos pesados (INE, 2015)

Em função da variação do volume de tráfego do país e considerando-a representativa do Distrito de Bragança, efetuou-se uma comparação com a previsão do tráfego adotada no PE, ilustrando-a na Figura 3.25.

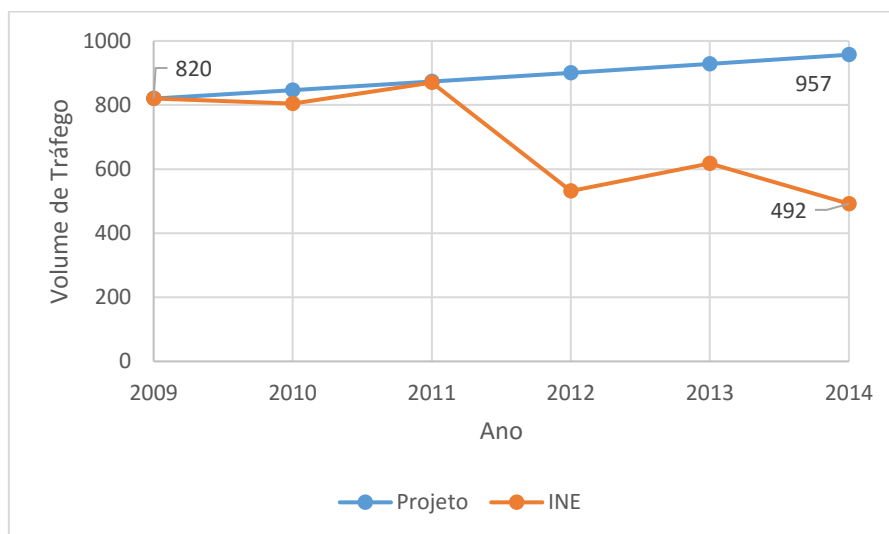


Figura 3.25 – Comparação entre a evolução do tráfego segundo o Projeto e o INE

De acordo com a Figura 3.25, verificam-se dois cenários de evolução do tráfego desde o ano de 2009 até ao ano de 2014: um cenário otimista, crescimento anual de 3% no volume de transporte; e um cenário pessimista, decréscimo anual de 10% do volume de transporte. No entanto, devido à ausência de controlo de tráfego, não é possível confirmar quais das situações anteriores representa o contexto real.

Para avaliar o efeito do tráfego na previsão do desempenho do pavimento, para um horizonte de dez anos (2010/2019), adotou-se para o cenário otimista, os volumes de tráfego previstos em PE e para o cenário pessimista, os volumes de tráfego estimados em função dos resultados estatísticos do INE até ao ano de 2014, mantendo-se constantes até 2019. Os volumes de tráfego considerados nos modelos de previsão são apresentados na Tabela 3.30.

Tabela 3.30 – Volumes de tráfego considerados nos modelos de previsão

| Ano | Cenário Otimista | Cenário Pessimista |
|------|------------------|--------------------|
| 2010 | 820 | 820 |
| 2014 | 957 | 492 |
| 2019 | 1148 | 492 |

3.6.2. Modelo HDM-4 na Previsão do Fendilhamento

No cálculo do SNC foram utilizados os valores das espessuras das camadas e os módulos de deformabilidade obtidos por retroanálise, para cada trecho (ver Tabela 3.28, página 76).

Os coeficientes estruturais das camadas betuminosas foram calculados através da expressão (3.3). Em situação de reforço do pavimento, considerou-se que as camadas de base eram constituídas por ABGE e apresentavam um CBR de 100% (ver Tabela A.1, página 110). Assim, o valor do coeficiente estrutural adotado foi de 0,14.

Na Tabela 3.31 são indicados os valores de SNC obtidos em cada trecho.

Tabela 3.31 – Valores de SNC nos trechos estruturalmente homogêneos

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SN | CBR (%) | SNC |
|-------------|-----------------|-----------------|-----|---------|-----|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 5,8 | 5 | 6,5 |
| | 19+188 | 26+557 | 6,2 | 13 | 7,6 |
| | 26+557 | 29+506 | 5,8 | 9 | 7,0 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 5,8 | 8 | 6,8 |
| | 19+238 | 26+206 | 6,1 | 17 | 7,7 |

Para caracterizar o tráfego de acordo com o modelo HDM-4, recorreu-se à expressão (3.2) para determinar os valores de NAEP de 80 kN, sendo estes apresentados na Tabela 3.32.

Tabela 3.32 – Valores de NAEP (80 kN) para os dois cenários de tráfego

| Tráfego | MESALS _{80kN} (2010/2019) | N _{80Y} (MESALS) |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Cenário Otimista | 7,244 | 0,724 |
| Cenário Pessimista | 4,262 | 0,426 |

A Figura 3.26 apresenta a evolução do fendilhamento nos trechos homogêneos identificados no sentido crescente, segundo o modelo HDM-4, para o cenário otimista.

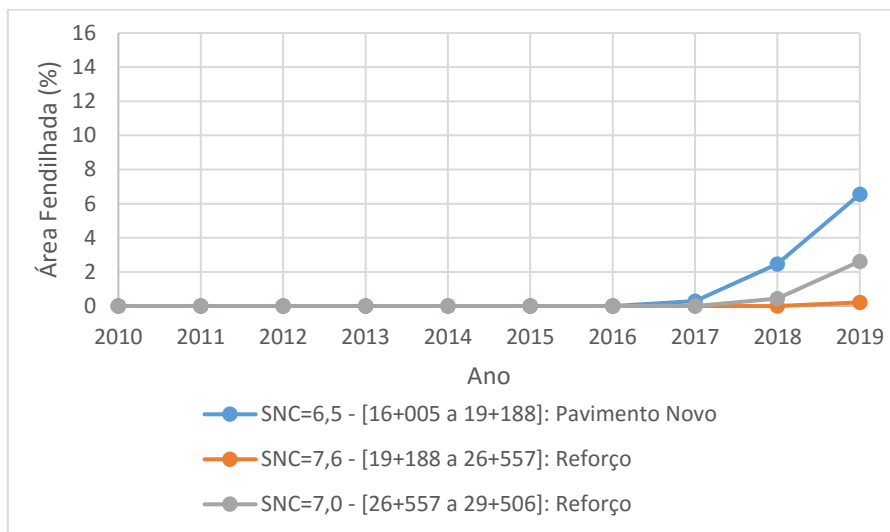


Figura 3.26 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, nos trechos identificados no sentido crescente

Observando a Figura 3.26 verifica-se que os trechos apresentam tendências diferentes na previsão do fendilhamento, consequência das capacidades estruturais serem diferentes. No trecho com menor capacidade estrutural prevê-se o ano de iniciação do fendilhamento mais recente, enquanto o trecho com maior capacidade estrutural, o ano de iniciação do fendilhamento é mais tardio.

Os trechos compreendidos entre os pk's (16+005 a 19+188) e (26+557 a 29+506), prevê-se o ano de iniciação do fendilhamento em 2017 e 2018, respectivamente. Comparando com a solução prevista no PE (ver Figura 3.18, página 66), para a mesma localização, constata-se que o fendilhamento iniciar-se-ia em 2019, demonstrando uma melhoria do nível de informação.

A Figura 3.27 apresenta a previsão do fendilhamento nos trechos identificados no sentido decrescente, segundo o modelo HDM-4.

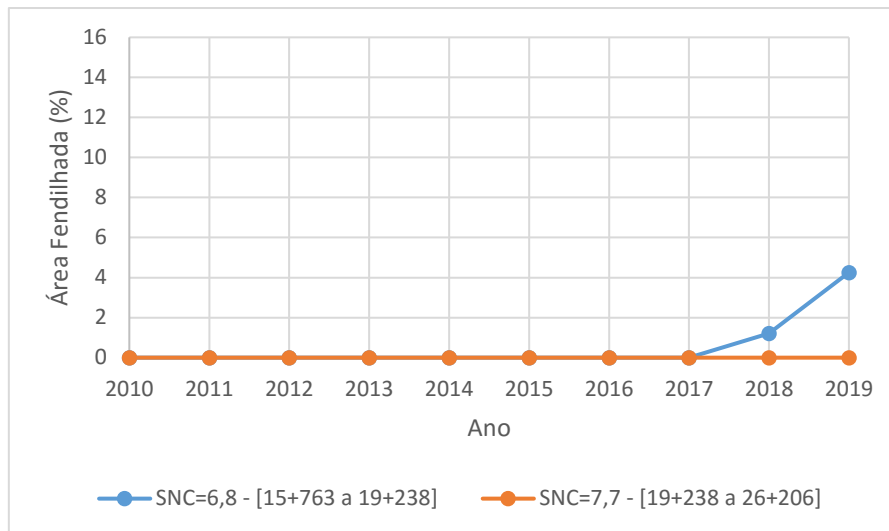


Figura 3.27 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, nos trechos identificados no sentido decrescente

Segundo a Figura 3.27, verifica-se uma situação análoga à da Figura 3.26, revelando-se numa melhoria do nível de informação.

De modo a avaliar o efeito do tráfego na previsão do fendilhamento, considerou-se o trecho compreendido entre os pk's (16+005 a 19+188), no sentido crescente (SNC=6,5), sendo o resultado apresentado na Figura 3.28.

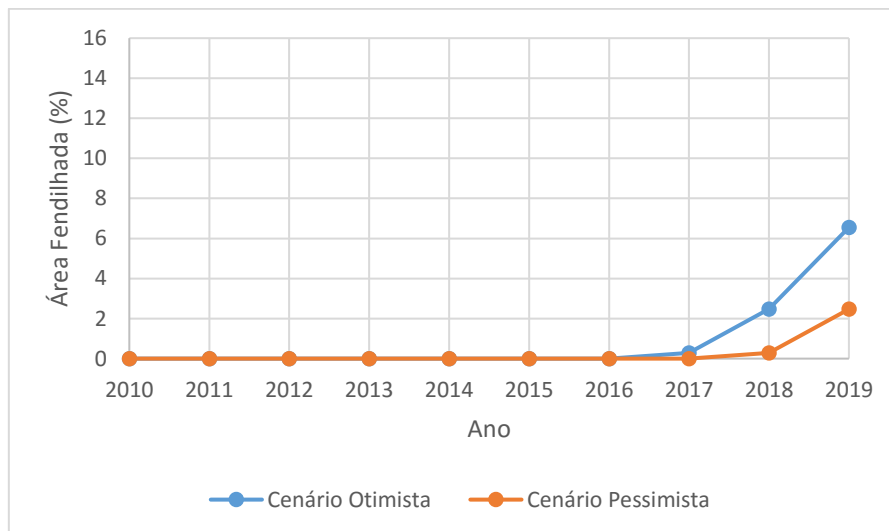


Figura 3.28 – Previsão do fendilhamento, segundo o HDM-4, para os cenários de tráfego considerados

Através da Figura 3.28, constata-se que o tráfego é, tal como o SNC, um parâmetro influente na previsão do fendilhamento. Para os volumes de tráfego analisados, as diferenças encontradas na previsão do início do fendilhamento correspondem a um ano.

3.6.3. Modelo do Projeto de PARIS na Previsão do Fendilhamento

Para esta análise considerou-se todos os trechos identificados, uma vez que a ausência de valores de espessuras não interfere no modelo de previsão. De acordo com os trechos identificados, determinou-se o SCI característico (SCI_k) para um percentil de 85%.

Para caracterizar o tráfego de acordo com o modelo do Projeto PARIS, recorreu-se à expressão (3.2) para determinar os valores de NAEP de 100 kN, sendo estes apresentados Tabela 3.33.

Tabela 3.33 - Valores de NAEP (100 kN) para os dois cenários de tráfego

| Tráfego | ESALS_{10kN} (2010/2019) | N_{10Y} (ESALS) |
|--------------------|---|--------------------------------|
| Cenário Otimista | 2,967x10 ⁶ | 1,746x10 ⁵ |
| Cenário Pessimista | 1,746x10 ⁶ | 1,746x10 ⁵ |

A Tabela 3.34 apresenta a previsão do início do fendilhamento no sentido crescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados.

Tabela 3.34 – Previsão do início do fendilhamento no sentido crescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados

| Pk_I | Pk_F | SCI_k (μm) | C_v | Cenário Otimista | | Cenário Pessimista | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | | | N₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento | N₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento |
| 0+000 | 0+600 | 324 | 31% | 1,237x10 ⁵ | 2010 | 1,191x10 ⁵ | 2010 |
| 0+600 | 2+460 | 163 | 21% | 1,396x10 ⁶ | 2015 | 1,294x10 ⁶ | 2016 |
| 2+460 | 13+764 | 175 | 23% | 1,169x10 ⁶ | 2014 | 1,089x10 ⁶ | 2015 |
| 13+764 | 16+005 | 139 | 25% | 1,991x10 ⁶ | 2017 | 1,822x10 ⁶ | >2019 |
| 16+005 | 19+188 | 206 | 22% | 7,350x10 ⁵ | 2012 | 6,923x10 ⁶ | 2013 |
| 19+188 | 26+557 | 141 | 21% | 1,935x10 ⁶ | 2017 | 1,772x10 ⁶ | >2019 |
| 26+557 | 29+506 | 169 | 22% | 1,286x10 ⁶ | 2014 | 1,195x10 ⁶ | 2016 |
| 29+506 | 30+000 | 155* | 79% | 1,582x10 ⁶ | - | - | - |

* Troço considerado como não homogêneo

Segundo a Tabela 3.34, verifica-se que os valores de SCI são notoriamente superiores aos estimados em PE (ver Tabela 3.22, página 67) e, conseqüentemente, prevê-se o início do fendilhamento no decorrer do horizonte estabelecido (2010/2019), para o cenário otimista. Dada a ausência de informação referente ao ano de iniciação do fendilhamento, impossibilita a comparação da previsão teórica com o contexto real.

Quando analisados os resultados da previsão do fendilhamento para os dois volumes de tráfego, constatam-se diferenças na previsão do ano de iniciação, realçando a importância deste parâmetro no desenvolvimento de modelos de previsão.

A Tabela 3.35 apresenta a previsão do início do fendilhamento no sentido decrescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados.

Tabela 3.35 – Previsão do início do fendilhamento no sentido decrescente, segundo o modelo do Projeto PARIS, para os dois cenários de tráfego considerados

| Pk _I | Pk _F | SCI _k (µm) | C _v | Cenário Otimista | | Cenário Pessimista | |
|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | | | N ₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento | N ₁₀ (100 kN) | Início do fendilhamento |
| 0+050 | 0+850 | 460 | 29% | 1,537x10 ⁵ | 2010 | 1,496x10 ⁴ | 2010 |
| 0+850 | 8+519 | 163 | 31% | 1,414x10 ⁶ | 2015 | 1,310x10 ⁶ | 2017 |
| 8+519 | 10+400 | 192 | 26% | 9,163x10 ⁵ | 2013 | 8,590x10 ⁵ | 2014 |
| 10+400 | 14+354 | 159 | 23% | 1,488x10 ⁶ | 2015 | 1,377 10 ⁶ | 2017 |
| 14+354 | 15+763 | 144* | 42% | - | - | - | - |
| 15+763 | 19+238 | 236 | 28% | 4,720x10 ⁵ | 2011 | 4,479x10 ⁵ | 2011 |
| 19+238 | 26+206 | 154 | 18% | 1,610x10 ⁶ | 2016 | 1,485x10 ⁶ | 2018 |
| 26+206 | 27+900 | 180 | 16% | 1,086x10 ⁶ | 2014 | 1,014x10 ⁶ | 2015 |
| 27+900 | 29+958 | 158 | 29% | 1,519x10 ⁶ | 2015 | 1,404x10 ⁶ | 2017 |

* Troço considerado como não homogéneo

De forma análoga ao sentido crescente, os valores de SCI são superiores aos estimados em PE (ver Tabela 3.22, página 67) e, deste modo, os trechos apresentam anos de iniciação ao fendilhamento no decorrer do horizonte em estudo.

Analisando os resultados da previsão do fendilhamento para os dois volumes de tráfego, verificam-se diferenças na previsão do ano de iniciação, demonstrando a importância da realização de controlo de tráfego.

Salienta-se, portanto, a importância da realização da monitorização do ano de iniciação do fendilhamento e do controlo de tráfego, no desenvolvimento de modelos de previsão do fendilhamento.

3.6.4. Modelo Mecanicista de Previsão da Evolução do Fendilhamento

Com base nas características mecânicas e nas espessuras das camadas estimadas nos trechos estruturalmente homogêneos (Tabela 3.28, página 76), recorreu-se ao programa de cálculo automático ELSYM5, para obter ϵ_t .

De modo a caracterizar o tráfego de acordo com o modelo Mecanicista, recorreu-se à expressão (3.2) para determinar os valores de NAEP de 130 kN, sendo estes apresentados na Tabela 3.36.

Tabela 3.36 – Valores de NAEP (130 kN) para os dois cenários de tráfego

| Tráfego | MESALs_{130kN} (2010/2019) | N_{130Y} (MESALs) |
|--------------------|---|----------------------------------|
| Cenário Otimista | 1,039 | 0,104 |
| Cenário Pessimista | 0,611 | 0,061 |

A Tabela 3.37 apresenta a ϵ_t e o respetivo dano para os trechos estruturalmente homogêneos, em função do volume de tráfego.

Tabela 3.37 – Valores de ϵ_t e respetivo dano para os trechos

| Sentido | Pk_I | Pk_F | ϵ_t (x10⁻⁶) | Vida residual (2010/2019) | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|---|----------------------------------|---------------------------|
| | | | | Cenário Otimista | Cenário Pessimista |
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 234 | 219% | 132% |
| | 19+188 | 26+557 | 194 | 112% | 66% |
| | 26+557 | 29+506 | 234 | 202% | 119% |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 261 | 187% | 110% |
| | 19+238 | 26+206 | 174 | 44% | 26% |

De acordo com a Tabela 3.37, verifica-se para o cenário otimista, valores de vida residual claramente superiores a 100%. Para o cenário pessimista, também se verifica trechos com valores de vida residual superiores a 100%.

Tendo em consideração que o tráfego estimado em PE corresponde aos valores do cenário otimista, constata-se que o pavimento apresenta uma fraca capacidade estrutural em suportar as ações do tráfego estimado para o horizonte de projeto

A Figura 3.29 apresenta a previsão do fendilhamento para os trechos do sentido crescente, segundo o modelo Mecanicista, para o cenário otimista.

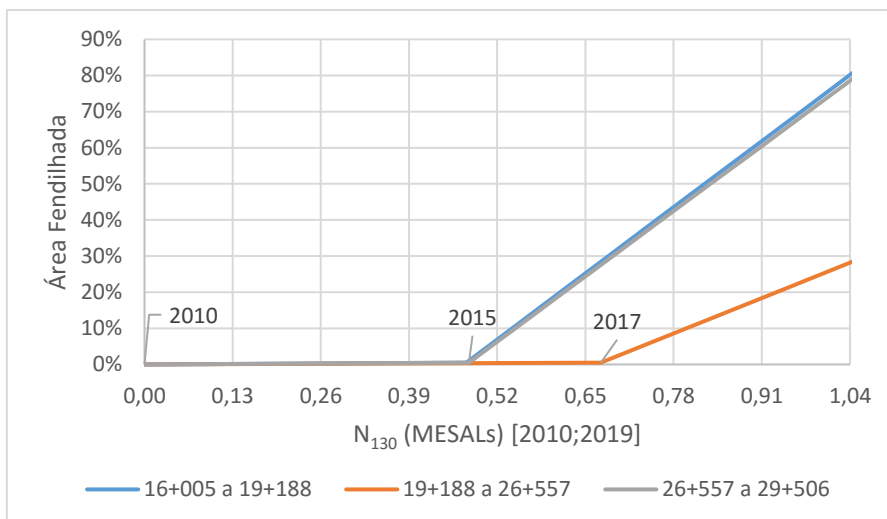


Figura 3.29 – Previsão do fendilhamento para o cenário otimista, segundo o modelo Mecanicista, nos trechos do sentido crescente,

De acordo com Figura 3.29, verifica-se diferentes evoluções de fendilhamento nos trechos do sentido crescente. Além disso, constata-se que o trecho com um valor elevado de vida residual prevê-se o início do fendilhamento mais cedo em comparação ao trecho com menor valor de vida residual.

A Figura 3.30 apresenta a previsão do fendilhamento para os trechos do sentido decrescente, segundo o modelo Mecanicista, para o cenário otimista.

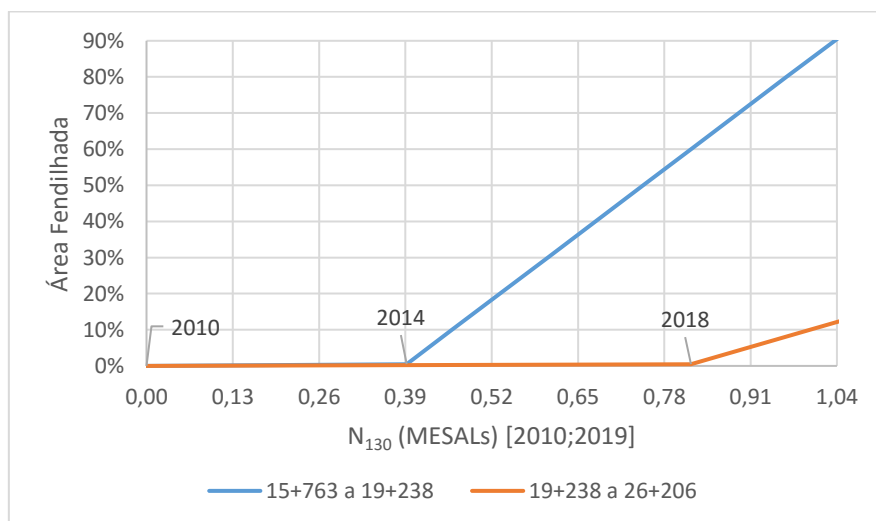


Figura 3.30 – Previsão do fendilhamento para o cenário otimista, segundo o modelo Mecanicista, nos trechos do sentido decrescente

De forma análoga ao sentido crescente, verifica-se na Figura 3.30, confirma-se diferentes evoluções de fendilhamento nos trechos do sentido decrescente, constando-se, também, que no trecho com maior valor de vida residual, o fendilhamento ocorre mais cedo.

Tendo em consideração os resultados obtidos nos dois sentidos de circulação, verifica-se uma relação direta entre os valores de vida residual e o tempo decorrido para o início do fendilhamento, ou seja, nos trechos com valores elevados de vida residual, prevê-se o início fendilhamento mais cedo, comparativamente aos trechos com menores valores de vida residual.

De modo a avaliar o efeito do tráfego na previsão do fendilhamento, considerou-se o trecho compreendido entre os pk's (16+005 a 19+188), no sentido crescente ($\epsilon_t=234 \times 10^{-6}$), sendo o resultado apresentado na Figura 3.31.

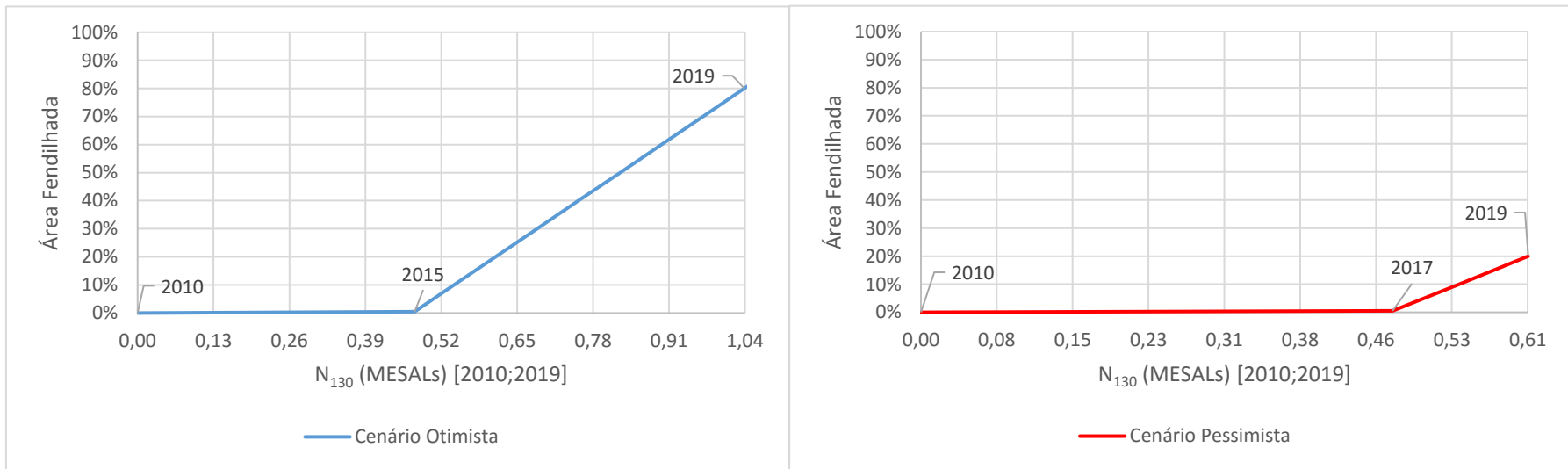


Figura 3.31 – Previsão do fendilhamento, segundo o modelo Mecanicista, para o cenário otimista (esquerda) e para o cenário pessimista (direita)

De acordo com a Figura 3.31, constata-se a influência do tráfego na previsão do fendilhamento. Para o cenário otimista, verifica-se o início do fendilhamento no ano de 2015, atingindo 80% de área fendilhada no final do horizonte de projeto. Para o cenário pessimista, o início do fendilhamento estimado acontece no ano de 2017, obtendo-se 20% de área fendilhada no final do período homólogo.

3.6.5. Modelo HDM-4 na Previsão das Rodeiras

Nos ensaios de laboratoriais realizados às amostras obtidas nos ensaios de sondagem por rotação, os resultados quanto à composição das misturas betuminosas são:

- Percentagem volumétrica de betume: 12,3% para o betão betuminoso e 10,5% para o macadame betuminoso;
- Percentagem de vazios: 5,6% para o betão betuminoso e 6 % para o macadame betuminoso.

Verifica-se que o betão betuminoso apresenta uma percentagem de vazios superior à do projeto (6% em comparação aos 4% estimados), sendo as restantes características coerentes com as projetadas. Apesar do valor ser superior ao do projeto, encontra-se compreendido entre a gama de valores de porosidade aceitáveis para este tipo de camada (EP, 2014).

Tendo em consideração a execução de uma estrutura de pavimento nova, não se verificou qualquer dado respeitante à compactação relativa das camadas granulares. O valor mínimo exigido pela IP é de 97% (EP, 2014a).

Deste modo, considerou-se avaliar os efeitos causados pela variação do valor da compactação relativa, para o intervalo admissível pela IP, na previsão de rodeiras.

Avaliou-se, também, a previsão de rodeiras para os trechos identificados no sentido crescente e decrescente, na secção C050. Os valores de SNC e de tráfego adotados correspondem aos apresentados na Tabela 3.31 e na Tabela 3.36, respetivamente.

1) Variação da Compactação Relativa

A compactação relativa do solo permite (Sá, S., 2014):

- Aumentar a coesão e o atrito interno dos solos, promovendo um aumento da resistência ao corte;
- Reduzir as variações volumétricas que possam ocorrer durante a passagem dos veículos ou provocadas pela percolação da água;
- Impermeabilizar os solos através da diminuição do índice de vazios.

A Tabela C.6, apresentada na página 117 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos causados pela variação da compactação relativa, sendo os resultados obtidos apresentados na Figura 3.32.

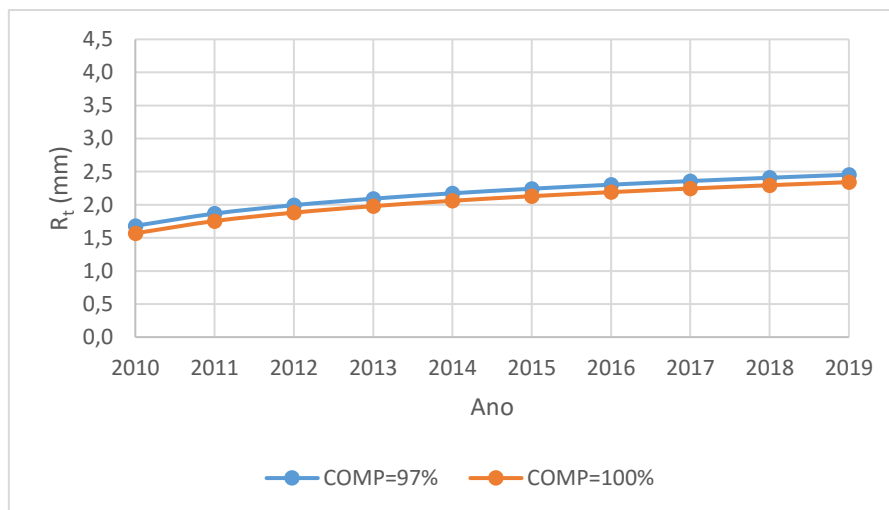


Figura 3.32 – Influência da variação da compactação relativa na previsão de rodeiras, segundo o modelo HDM-4

Observando a Figura 3.32, para uma diferença de 3% na compactação relativa, verificam-se efeitos reduzidos na previsão de rodeiras. Valores de compactação relativa inferiores a 97% não são aceites pela fiscalização da obra e por esse motivo não merece objeto de estudo.

2) Variação da Capacidade Estrutural dos Trechos

A Tabela C.7, apresentada na página 118 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos da variação estrutural dos trechos da secção C050, no sentido crescente. O resultado é apresentado na Figura 3.33.

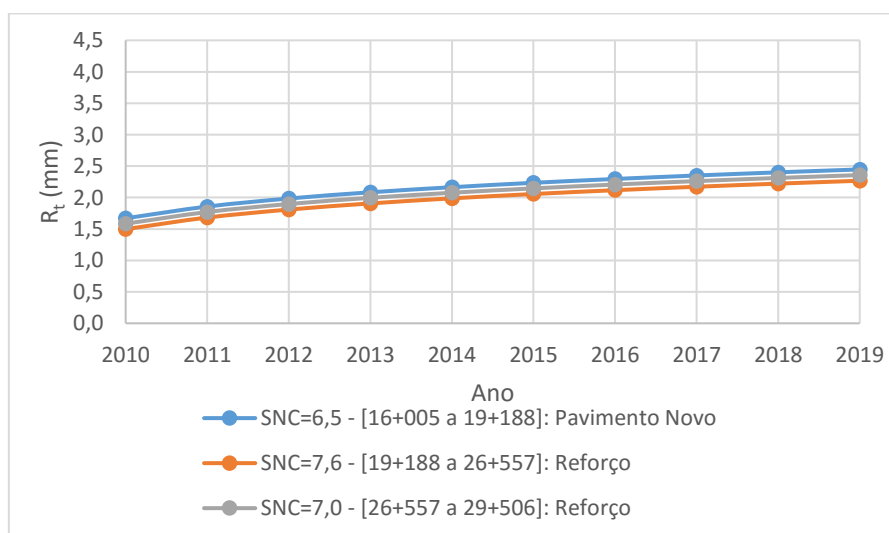


Figura 3.33 – Previsão de rodeiras nos trechos do sentido crescente, da secção C050, segundo o modelo HDM-4

De acordo com a Figura 3.33, não se verifica qualquer variação na previsão de rodeiras, entre os trechos estruturalmente homogêneos identificados no sentido crescente, da secção C050. Tendo em consideração que a monitorização da rede foi efetuada no sentido decrescente, desconhecem-se os valores reais das rodeiras, no sentido crescente.

A Tabela C.8, apresentada na página 118 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos causados pela variação estrutural dos trechos da secção C050, no sentido decrescente. O resultado é apresentado na Figura 3.34.

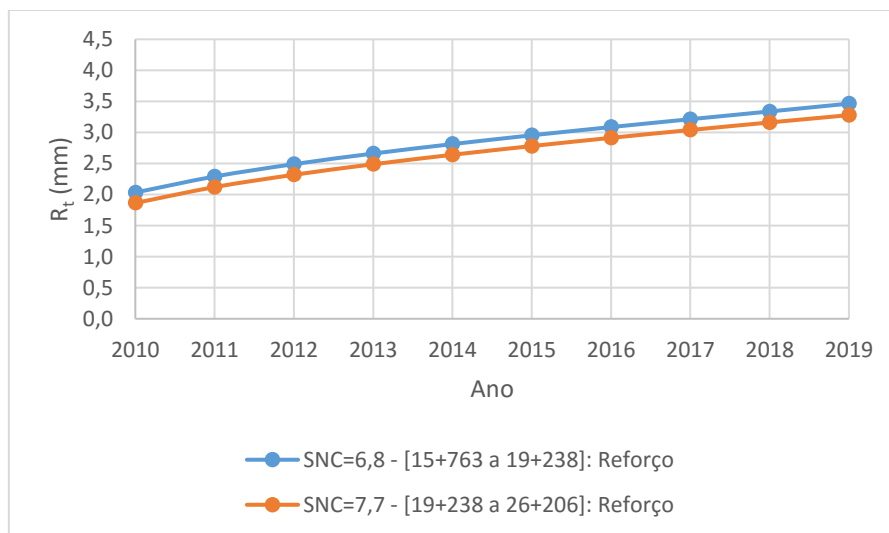


Figura 3.34 – Previsão de rodeiras nos trechos do sentido decrescente, da secção C050, segundo o modelo HDM-4

Observando a Figura 3.34, à semelhança da Figura 3.33, não se verifica qualquer variação na previsão de rodeiras, entre os trechos estruturalmente homogêneos identificados no sentido decrescente, da secção C050.

Ainda assim, analisou-se a homogeneidade dos valores das rodeiras, provenientes da monitorização da rede rodoviária, nos pk's que delimitam os trechos estruturalmente homogêneos, no sentido decrescente. A Tabela 3.38 apresenta os resultados dessa análise, para o ano de 2015.

Tabela 3.38 – Homogeneidade dos valores das rodeiras nos trechos do sentido decrescente

| Pk _I | Pk _F | Profundidade média das rodeiras (mm) | | |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|--------------------|
| | | Valor Médio | Desvio-Padrão | C _v (%) |
| 0+000 | 0+850 | 1,2 | 0,2 | 17% |
| 0+850 | 8+519 | 1,8 | 0,5 | 30% |
| 8+519 | 10+400 | 2,3 | 0,7 | 32% |
| 10+400 | 14+354 | 2,0 | 0,4 | 22% |
| 14+354 | 15+763 | 2,2 | 0,5 | 24% |
| 15+763 | 19+238 | 2,3 | 0,5 | 22% |
| 19+238 | 26+206 | 1,5 | 0,5 | 34% |
| 26+206 | 27+900 | 2,2 | 0,5 | 25% |

De acordo com a Tabela 3.38, verifica-se, de uma forma geral, que a localização dos trechos estruturalmente homogêneos conduziu a uma homogeneidade moderada dos valores das rodeiras.

3) Variação do Volume de Tráfego

A Tabela C.9, apresentada na página 119 do anexo C, indica os parâmetros utilizados no cálculo da previsão das rodeiras, para avaliar os efeitos resultantes dos volumes de tráfego considerados no cenário otimista e pessimista. O resultado é apresentado na Figura 3.35.

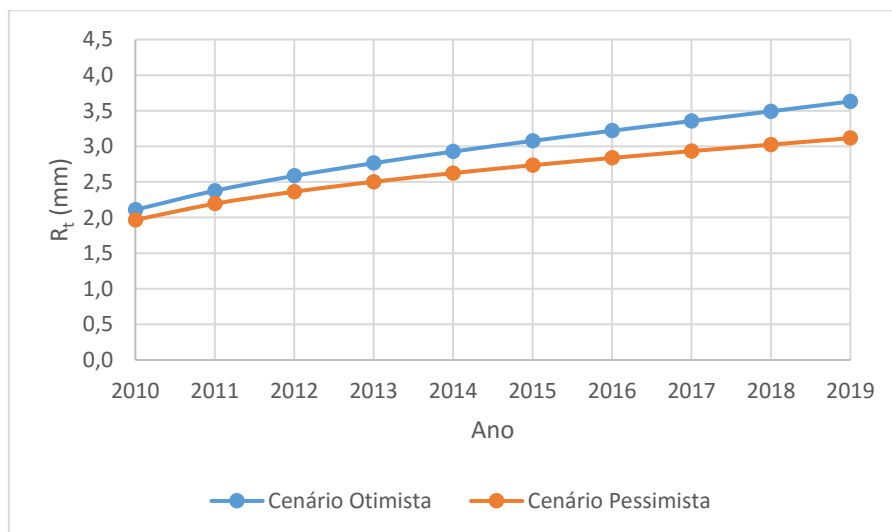


Figura 3.35 – Previsão de rodeiras, segundo o HDM-4, para os cenários de tráfego considerados

Através da Figura 3.35, verifica-se uma diferença gradual na previsão das rodeiras para os dois cenários de tráfego, atingido o valor máximo (0,6 mm) no final do ano de 2019. Destaca-se, portanto, a influência do tráfego na previsão da progressão dos cavados de rodeira.

3.6.6. Validação das Relações entre os Parâmetros Estruturais

Os modelos de previsão, utilizados neste trabalho, quantificam a capacidade estrutural do pavimento através de três parâmetros, o SNC, a ϵ_t e o SCI. Os dois primeiros dependem das características geométricas e mecânicas das camadas e o SCI é determinado através de ensaios de carga.

No entanto, verificou-se que os resultados da prospeção apresentavam ausência nos valores das espessuras ao longo da extensão da estrada, impossibilitando a caracterização de todos os trechos estruturalmente homogêneos identificados e, conseqüentemente, análise da previsão do fendilhamento e das rodeiras. Ao nível das deflexões, não se verificaram ausência de valores, sendo possível avaliar o desempenho dos trechos para o fendilhamento, através dos modelos do Projeto PARIS.

Perante as situações referidas, considerou-se interessante avaliar a adequação das relações entre os três parâmetros. É de salientar que as relações foram desenvolvidas através da atribuição de módulos de deformabilidade em função das temperaturas médias anuais de Portugal Continental e as deflexões foram obtidas através das características mecânicas estimadas.

1) Relação entre SNC e ϵ_t

A relação em estudo possibilita a utilização do modelo HDM-4 e do modelo mecanicista na previsão do fendilhamento. Os valores de SNC e ϵ_t correspondem aos calculados na fase da CFP. A Tabela 3.39 apresenta os resultados obtidos para a relação em estudo.

Tabela 3.39 – Relação entre ϵ_t e SNC

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SNC _{calculado} | ϵ_t ($\times 10^{-6}$) | SNC _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 6,5 | 234 | 5,7 |
| | 19+188 | 26+557 | 7,6 | 162 | 7,2 |
| | 26+557 | 29+506 | 7,0 | 187 | 6,6 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 6,8 | 261 | 5,3 |
| | 19+238 | 26+206 | 7,7 | 174 | 6,9 |

De acordo com a Tabela 3.39, verifica-se que os trechos que apresentam módulos de deformabilidade semelhantes aos estimados, a relação obtida é favorável, não verificando a mesma situação, quando os módulos de deformabilidade se afastam do valor considerado. Uma

solução para a melhoria desta relação seria a introdução de uma variável associada ao módulo de deformabilidade.

A Tabela 3.40 apresenta o efeito da introdução da espessura das camadas betuminosas na relação anterior.

Tabela 3.40 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre ϵ_t e SNC

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SNC _{calculado} | h1 (mm) | ϵ_t (x10 ⁻⁶) | SNC _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|---------|-----------------------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 6,5 | 144 | 234 | 5,6 |
| | 19+188 | 26+557 | 7,6 | 151 | 162 | 6,6 |
| | 26+557 | 29+506 | 7,0 | 145 | 187 | 6,1 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 6,8 | 156 | 261 | 5,4 |
| | 19+238 | 26+206 | 7,7 | 157 | 174 | 6,5 |

h1 – Espessura das camadas betuminosas

Através da Tabela 3.40, constata-se uma diminuição generalizada do SNC estimado, mesmo nos trechos onde o módulo de deformabilidade obtido é semelhante ao adotado no desenvolvimento da relação em estudo. Apesar do resultado demonstrar que a introdução da espessura não promoveu uma melhoria, esta relação deveria ser reformulada com a introdução de uma variável associada ao módulo de deformabilidade das camadas, em concordância com a espessura das camadas betuminosas.

2) Relação entre ϵ_t e SCI

A relação em estudo possibilita a utilização do modelo mecanicista e do modelo do Projeto PARIS. O valor de SCI corresponde ao valor médio obtido em cada trecho, em concordância com o percentil adotado na retroanálise. A Tabela 3.41 apresenta os resultados obtidos na relação em estudo.

Tabela 3.41 – Relação entre ε_t e SCI

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SCI _{medido} | ε_t (x10 ⁻⁶) | SCI _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 168 | 234 | 119 |
| | 19+188 | 26+557 | 116 | 162 | 66 |
| | 26+557 | 29+506 | 138 | 187 | 83 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 183 | 261 | 142 |
| | 19+238 | 26+206 | 130 | 174 | 74 |

De acordo com a Tabela 3.41, verificam-se diferenças significativas entre o valor de SCI medido e o valor estimado, inclusive nos trechos cujo módulo de deformabilidade é semelhante ao utilizado no desenvolvimento da relação em estudo, devendo a presente relação ser reformulada, considerando os valores reais das deflexões e de módulos de deformabilidade.

A Tabela 3.42 apresenta o efeito da espessura das camadas betuminosas na relação anterior.

Tabela 3.42 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre ε_t e SCI

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SCI _{medido} | h1 (mm) | ε_t (x10 ⁻⁶) | SCI _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 168 | 144 | 234 | 139 |
| | 19+188 | 26+557 | 116 | 151 | 162 | 99 |
| | 26+557 | 29+506 | 138 | 145 | 187 | 115 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 183 | 156 | 261 | 143 |
| | 19+238 | 26+206 | 130 | 157 | 174 | 102 |

h1 – Espessura das camadas betuminosas

Através da Tabela 3.42, constata-se um aumento do valor do SCI estimado, aproximando-se do valor medido em todos os trechos, permitindo concluir que a introdução da espessura das camadas betuminosas, na relação entre ε_t e SCI, constituiu um efeito positivo. Ainda assim, considera-se importante reformular a expressão de cálculo da relação, baseada em valores reais da deflexão, espessura das camadas e respectivos módulos de deformabilidade.

3) Relação entre SNC e SCI

A relação em análise possibilita a utilização do modelo HDM-4 e do modelo do Projeto PARIS, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 3.43.

Tabela 3.43 – Relação entre SNC e SCI

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SNC _{calculado} | SCI _{medido} | SNC _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 6,5 | 168 | 5,0 |
| | 19+188 | 26+557 | 7,6 | 116 | 5,9 |
| | 26+557 | 29+506 | 7,0 | 138 | 5,5 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 6,8 | 183 | 4,9 |
| | 19+238 | 26+206 | 7,7 | 130 | 5,6 |

Segundo a Tabela 3.43, verifica-se em todos os trechos uma diferença acentuada entre o SNC estimado e o SNC calculado. Uma vez mais, a expressão de cálculo da presente relação deveria de ser objeto de reformulação, atendendo às diferenças encontradas.

A Tabela 3.44 apresenta o efeito da espessura das camadas betuminosas na relação anterior.

Tabela 3.44 – Efeito da espessura das camadas betuminosas na relação entre SNC e SCI

| Sentido | Pk _I | Pk _F | SNC _{calculado} | h ₁ (mm) | SCI _{medido} | SNC _{estimado} |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Crescente | 16+005 | 19+188 | 6,5 | 144 | 168 | 5,0 |
| | 19+188 | 26+557 | 7,6 | 151 | 116 | 6,0 |
| | 26+557 | 29+506 | 7,0 | 145 | 138 | 5,6 |
| Decrescente | 15+763 | 19+238 | 6,8 | 156 | 183 | 4,8 |
| | 19+238 | 26+206 | 7,7 | 157 | 130 | 5,7 |

h₁ – Espessura das camadas betuminosas

De acordo com a Tabela 3.44, a introdução da espessura das camadas betuminosas na relação entre SNC e SCI não promoveu efeito na relação SNC e SCI, dado que os resultados obtidos são iguais aos da Tabela 3.43.

Tendo em consideração os resultados obtidos nas relações entre os parâmetros estruturais, conclui-se que:

- Na relação entre o SNC e a ϵ_t , verificou-se que nos trechos cujos módulos de deformabilidade eram semelhantes aos adotados no desenvolvimento da relação, correspondia às menores diferenças entre os parâmetros. A introdução da espessura das camadas betuminosas promoveu uma diminuição generalizada do SNC estimado, aumentando a diferença entre os parâmetros;
- Na relação entre a ϵ_t e o SCI, constatou-se diferenças significativas entre o valor de SCI medido e o SCI estimado, inclusive nos trechos cujo módulo de deformabilidade é semelhante ao utilizado no desenvolvimento da relação em estudo. Neste caso, a introdução da espessura das camadas betuminosas promoveu um efeito positivo,

atendendo ao aumento do valor do SCI estimado, diminuído as diferenças entre os parâmetros;

- Na relação entre o SNC e o SCI, observou-se uma diferença acentuada entre o SNC estimado e o SNC calculado em todos os trechos. A introdução da espessura das camadas betuminosas não produziu qualquer efeito nos resultados, uma vez que estes não se alteraram.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Discussão dos Resultados Obtidos

A introdução de modelos de previsão de degradação em sistemas de gestão de pavimentos necessita de um processo de validação, baseado no ajuste entre a previsão teórica da degradação e o desempenho real do pavimento.

No passado foram desenvolvidos modelos de previsão para o fendilhamento e para as rodeiras (Silva, R., 2012 e Sá, S., 2014, respetivamente), aplicados à rede rodoviária nacional, que se basearam nas informações armazenadas na atual base de dados rodoviária (BDR) da IP.

O desenvolvimento de modelos de previsão, no entanto, requer um nível de informação apropriado, na medida em que, quanto mais detalhada for a informação, maior custo de manutenção e operação da BDR e, por outro lado, informação menos detalhada, menor a capacidade para definir, com rigor, os resultados dos modelos.

Deste modo, pretendeu-se avaliar o efeito do aumento do volume de informação armazenada, integrando os dados do projeto de execução (PE) e os dados da caracterização final do pavimento (CFP), fornecidos pela IP. Esta metodologia foi aplicada em duas secções, no qual se avaliou o tráfego, a estrutura, a fundação e a drenagem superficial do pavimento.

Para ambas as secções foi considerado um horizonte de projeto de dez anos e os trabalhos de conservação terminaram em 2010. Quanto à monitorização do comportamento real do pavimento, os dados fornecidos pela IP correspondem a uma serie temporal de quatro observações, desde 2012 até 2015.

A previsão de degradações incluiu o fendilhamento e as rodeiras, tendo sido utilizados modelos absolutos (HDM-4 e Mecanicista) e incrementais (Projeto PARIS), em concordância com os modelos adotados nos trabalhos antecessores. Assim, considera-se que as metodologias utilizadas nos modelos revelaram-se adequadas para avaliar o nível de informação que é realizada no presente trabalho.

Nas secções em estudos, constatou-se a existência de dados de tráfego, provenientes de postos de contagem localizados em cada uma das secções. Na BDR da IP, os volumes de tráfego armazenados, nas duas secções, apresenta valores desajustados em relação aos últimos dados dos Anuários (2003 e 2005).

No PE, verificou-se que o volume de tráfego adotado estava em conformidade com os valores indicados nos Anuários de 2003, para uma secção. No entanto, para a outra secção, considerava que não existia um volume de tráfego mais baixo, tendo sido utilizado, por segurança, o valor mais alto das duas secções.

De acordo com os resultados estatísticos sobre a mobilidade nacional, disponibilizados pelo INE, reconhece-se a presença de outro nível de tráfego, mas devido à ausência de controlo de tráfego, não é possível confirmar o contexto real.

Tanto na previsão do fendilhamento, como na previsão das rodeiras, verificou-se que os volumes de tráfego, dos três níveis de informação, promovem diferenças significativas na previsão de degradações. Dada a ausência de controlo de tráfego desde 2005, este tipo de lacuna compromete o desenvolvimento de modelos de previsão. Sendo a BDR o suporte para o desenvolvimento desses modelos, é importante que apresente valores de tráfego mais ajustados à realidade, através da realização de contagens.

No que diz respeito à estrutura e à fundação, comparando a informação que existe na BDR da IP e no PE, verificou-se que os trabalhos realizados incluíram reforço do pavimento e construção nova, em alargamentos da faixa de rodagem, cuja informação não é referida na BDR.

Nas soluções de pavimentação registadas na CFP, encontrou-se diferenças no módulo de deformabilidade das camadas constituintes do pavimento, em comparação às previstas em PE. A integração destes dados nos modelos de previsão, promoveu uma melhoria significativa na previsão do fendilhamento e das rodeiras.

Apesar de uma secção ser definida como unidade mínima de um troço rodoviário, constatou-se que não apresenta somente uma caracterização mecânica uniforme em toda a sua extensão. De acordo com os resultados da CFP, identificou-se dezassete subsecções estruturalmente homogéneas com diferentes comportamentos estruturais. Estabelecendo a mesma metodologia para outra secção, facilmente se atinge o mesmo número de secções utilizadas pelos trabalhos antecessores, possibilitando o desenvolvimento de novos modelos de previsão.

Deste modo, considera-se uma mais valia dispor dos resultados da CFP e dos ensaios de carga, permitindo melhorar a caracterização, quer da estrutura, quer da fundação. Como estas características não apresentam uma evolução significativa durante a maioria do tempo do pavimento em serviço, é importante conhecer os seus valores no início, embora seja útil a sua evolução ao longo do tempo.

Relativamente às ações de conservação, após os trabalhos de pavimentação, constata-se que este tipo de informação torna difícil perceber a evolução das degradações, uma vez que o armazenamento desta informação não é realizado com rigor. Como solução de baixo custo, considera-se relevante a indicação, na BDR, do valor despendido anualmente na conservação das secções.

No que diz respeito à drenagem superficial do pavimento, verificou-se inexistência deste tipo de informação na BDR da IP. No entanto, no âmbito do PE foi prevista a colocação de valetas

longitudinais e a pavimentação das bermas. Este tipo de dados conduziu a diferenças na previsão das rodeiras, pelo modelo HDM-4, pelo que se conclui ser uma informação a armazenar na BDR da IP.

O IQ, adotado na avaliação da qualidade dos pavimentos da rede rodoviária, é calculado em função do fendilhamento tipo pele de crocodilo registado, do IRI e das rodeiras medidas pelo perfilómetro a laser, durante a monitorização do pavimento.

A monitorização é realizada anualmente e, nas secções em estudo, apenas no sentido decrescente. Neste caso, dada a alternância entre reforço do pavimento e pavimento novo, seria importante a realização da monitorização do pavimento nos dois sentidos.

Sendo o fendilhamento tipo pele de crocodilo uma evolução do fendilhamento longitudinal e transversal, monitorizar apenas este tipo de fendilhamento é limitativo para a identificação do ano de iniciação do fendilhamento e para o desenvolvimento de modelo de previsão do fendilhamento.

Nas rodeiras, aparentemente não existe uma evolução significativa no período de tempo analisado (2012 a 2015). Contudo, as diferenças encontradas correspondem tanto a um aumento, como uma diminuição das rodeiras, cuja causa poderá resultar de um processo operacional de medição., comprometendo o desenvolvimento de modelos de previsão incrementais. Deste modo, seria útil o estabelecimento de um procedimento que limitasse estas diferenças.

Para o estabelecimento de modelos de previsão de degradações, seria importante que o processo de monitorização fosse mais rigoroso na aquisição de dados. Assim, para não aumentar os custos deste sistema de monitorização, recomenda-se um maior espaçamento temporal entre as campanhas de observação dos pavimentos.

Após a realização deste trabalho, verificou-se que o nível de informação presente na BDR da IP coloca limitações no rigor da previsão, devendo ser melhorada ao nível do histórico do pavimento, através do armazenamento dos dados da CFP, e ao nível do volume de tráfego proveniente de contagens mais recentes.

4.2. Recomendações para Trabalhos Futuros

Com a realização deste trabalho, verificou-se que os dados da CFP das secções intervencionadas podem fornecer informações que permitam o desenvolvimento de modelos de previsão. Assim, para trabalhos futuros sugere-se as seguintes tarefas:

- Estabelecer a mesma metodologia para outras secções, representativas de outro tipo de técnica de conservação, com o intuito de desenvolver outros modelos de previsão, como por exemplo, tratamentos superficiais;
- Estudar o efeito reduzido do tipo de betume das camadas betuminosas, na previsão de rodadeiras pelo modelo HDM-4;
- Desenvolvimento de modelos, do tipo probabilístico, capazes de concretizar a previsão de degradações, na ausência de informações;
- Reformular as expressões de cálculo das relações estruturais, através da introdução de uma variável associada ao módulo de deformabilidade das camadas e de valores das deflexões provenientes de ensaios de carga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AASHTO, 1993] AASHTO. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1993.
- [Alves, T., 2007] Alves, T. *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários: Aplicação prática do radar de prospecção e do defletómetro de impacto*. Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.
- [Antunes, M. L. et al, 2004] Antunes, M. L., Branco, F. e Barros, R. *Avaliação In-Situ das Condições de Fundação dos Pavimentos Rodoviários com Base em Ensaios de Carga*. III Congresso Rodoviário Português, 2004.
- [ASTM D 4694-96, 2003] ASTM D 4694-96. *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. United States, 2003.
- [Balbo, J., 2015] Balbo, J. Uma interpretação geométrica e elástica dos coeficientes estruturais empregados em projetos de pavimentos asfálticos. Acedido em 31 de Agosto de 2015, em: <http://sites.poli.usp.br/ptr/lmp/download/Coefficientes%20Estruturais.pdf>.
- [Branco, F. et al., 2011] Branco, F., Pereira, P. e Picado Santos, L. *Pavimentos Rodoviários*. 4^o Reimpressão, Almedina, Coimbra, 2011.
- [COST 324, 1997] COST 324. *Long Term Performance of Road Pavements*. Final Report of the Action. European Commission, Directorate General Transport, 1997.
- [COST 325, 1997] COST 325. *New Road Monitoring Equipment and Methods*. Final Report of the Action. European Commission, Directorate General Transport, 1997.
- [DNIT, 2006] DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes). *Manual de Pavimentação*. Publicação IPR - 719, Rio de Janeiro, 2006.
- [EP, 2008] Estradas de Portugal, S.A. *Catálogo de degradação de pavimentos rodoviários (Volume I: Projeto de Reabilitação)*. Almada, 2008.
- [EP, 2009] Estradas de Portugal, S.A. *Sistema de Gestão de Pavimentos – Manual de Utilização*. Almada, 2009.
- [EP, 2014a] Estradas de Portugal, S.A. *Caderno de Encargos Tipo Obra: 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos*. Almada, 2014.
- [EP, 2014b] Estradas de Portugal, S.A. *Caderno de Encargos Tipo Obra: 14.03 - Pavimentação – Características dos Materiais*. Almada, 2014.

[**Exame Informática, 2015**] Revista Exame Informática. Acedido em 28 de Maio de 2015, em: <http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/insolitos/2015-05-28-India-vaga-de-calor-derrete-alcatrao-e-mata-mais-de-mil-pessoas-numa-semana>.

[**Domingos, P., 2007**] Domingos, P. – *Reforço de Pavimentos Rígidos: Modelação do Comportamento Estrutural*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

[**Ferreira, A. et al, 2007**] Ferreira, A. e Picado Santos, L. (2007). *A Gestão da Qualidade das Redes Rodoviárias – O Estado da Arte e os Desenvolvimentos Futuros*. Ingenium, 98. Acedido em 12 Março de 2014, em: <https://pt.scribd.com/doc/24856615/Ing-98>.

[**Ferreira, A. et al, 2008**] Ferreira, A. e Picado Santos, L. *Modelos de Comportamento para utilização em Sistemas de Gestão de Pavimentos*. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia - 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2008.

[**Ferreira, A. et al, 2011**] Ferreira, A., Picado-Santos, L., Wu, Z. e Flintscg, G. *Selection of pavement performance models for use in the Portuguese PMS*. International Journal of Pavement Engineering, vol.12 nº1, pp 87-97, 2011.

[**Ferreira, A. et al, 2013**] Ferreira, A., Queiroz, C. e Souza, R. *Gestão da Conservação de Redes Rodoviárias: Utilização dos Modelos de Previsão do Comportamento dos Pavimentos do HDM-4*. 7º Congresso Rodoviário Português, LNEC, 2013.

[**Flintsch, G. et al, 2009**] Flintsch, G. e McGhee, K. K. *NCHRP Synthesis 401- Quality Management of Pavement Condition Data Collection-A Synthesis of Highway Practice*. Transportation Research Board, Washington, 2009.

[**Francisco, A., 2012**] Francisco, A. – *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012.

[**Freitas, E. F. et al, 2001**] Freitas, E. F. e Pereira, P. A. A. *Estudo da Evolução do Desempenho dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, n.11, pp. 47-58, 2001.

[**Hudson, W. R. et al, 2002**] Hudson, W. R., Monismith, C. L., Dougan C.E. e Visser W. - *Use of PMS Data For Performance Monitoring With Superpave As An Example - Volume 1 Final Report*. US Department of Transportation Federal Highway Administration & Texas Research & Development, Inc. Infrastructure & Systems Engineering, Março de 2002.

[**INE, 2015**] Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas de Transportes referentes aos anos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014. Acedido a 21 de Outubro de 2015,

em:https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=210766934&PUBLICACOESmodo=2.

[INIR, 2015] *Disposições Normativas: Construção e Reabilitação – Indicadores de Estado de Conservação dos Pavimentos*. Acedido em 3 de Junho de 2015, em: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Divulgao%20Tcnica/ConstrucaoReabilitacaoPavimentosIndicadoresEstadoConservacaoPavimentos.pdf>.

[Jacinto, M. et al, 2006] Jacinto, M., Ribeiro, J. e Azevedo, M. C. M. *Caracterização Estrutural de Pavimentos Rodoviários – Correlação entre a Deflexão Máxima e a Espessura de Reforço*. V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, Recife, 2006.

[Kim, Y. R. et al, 2002] Kim, Y. R. e Park, H. *Use of Falling Weight Deflectometer Multi-load Data for Pavement Strength Estimation*. Department of Civil Engineering North Carolina State University Raleigh, 2002.

[Luzia, R. C. et al, 2008] Luzia, R. C., Picado Santos, L. e Gardete D. C. *Comportamento Mecânico de Materiais Britados Não Ligados Usados nos Pavimentos Rodoviários Portugueses: Definição de Modelos*. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia - 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2008.

[Lopes, F. M. et al, 2013] Lopes, F. M., Fortes, R. M. e Suzuki, C. Y. *Flexible Pavements – Structural Evaluation Based on Deflection Basin Parameters*. International Journal of Pavements Conference, n.163-1, 2013.

[Lopes, F. M. et al, 2012] Lopes, F. M., Santos, C. R. G., Fortes, R. M., Ferri, S. e Suzuki, C. Y. *Proposta de Metodologia para Avaliação de Pavimentos Asfálticos utilizando Características da Bacia Deflectométrica*. 4º Congresso de Infraestrutura de Transportes (CONINFRA), São Paulo, 2010.

[Machado, A. et al, 2013] Machado, A., Fontul, S. e Freire, A. C. *Influência da Força de Ensaio na Avaliação Estrutural de Pavimentos Rodoviários por Métodos Não Destrutivos*. 7º Congresso Rodoviário Português, LNEC, 2013.

[Maganinho, L., 2013] Maganinho, L. *Desenvolvimento de uma base de dados de patologias para a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil: Geotecnia e Ambiente, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

[Mallela, R. e Wang, H., 2006] Mallela, R. e Wang, H. *Harmonising Automated Rut Depth Measurements – Stage 2* Transfund New Zealand Research Report. New Zealand, 2006

[Micaelo, R., 2014] Micaelo, R. – *Apontamentos de Pavimentos Rodoviários*. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

[Minhoto, M., 2005] Minhoto, M. – *Consideração da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimento rodoviários flexíveis*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2005.

[Morgado, J., 2010] Morgado, J., 2010 – *Sistema de Gestão de Pavimentos da Estradas de Portugal, SA*. Workshop em Otimização de Transportes, Coimbra, 2010.

[NCHRP, 2004] NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures: Part 2 – Design Inputs*. Illinois, 2004.

[N.D. Lea International Ltd, 1995] N.D. Lea International Ltd. *Modelling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4*. RETA 5549-REG Highway Development and Management Research. Final Report. International study of highway development and management tools, 1995.

[Nevada DOT, 2013] Nevada Department of Transportation. *State Highway Preservation Report*. Estado do Nevada, 2013.

[Oliveira J. R. M. et al, 2011] Oliveira, J. R. M., Pereira, P., e Picado Santos, L. - *A importância da existência de um sistema de gestão*, Construção Magazine, no. 43, pp. 20–23, 2011.

[Paris, 1999] PARIS (*Performance Analysis of Road Infrastructure*).ISBN 92-828-7827-9, European Commission, 1998.

[Pereira, A. et al., 2007] Pereira, A., Pais, J. C., Freitas, E. F., Silva, H. M. D., Oliveira J. R. M. *A reabilitação da rede rodoviária no século XXI - A Contribuição da Inovação para uma Visão Global da Reabilitação Rodoviária*. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, n.28, pp. 19-36, 2007.

[Pereira, O. A., 1999] Pereira, O. A. *Pavimentos Rodoviários – Volume II*. 3º Edição, LNEC, Lisboa, 1999.

[Quaresma, L., 2015] Quaresma, L. – *Apontamentos de Pavimentos Rodoviários*. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Almada, 2015.

[Ribeiro, N, et al, 2004] Ribeiro, N. S. e Pimenta, I. - *A Importância das Previsões de Tráfego nos Estudos Rodoviários em Portugal: Perspetiva Histórica e Análise Comparada*. III Congresso Rodoviário Português, Lisboa, 2004.

[**Sá, S., 2014**] Sá, S. – *Modelos de previsão de rodeiras em pavimentos rodoviários*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, Almada, 2014.

[**Santinho Horta, C. et al., 2013**] Santinho Horta, C., Costa Pereira, F., Lopes, S. e Morgado J. 2013. *O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos da Estradas de Portugal, S.A. - Balanço de uma Implementação Consolidada*. 7º Congresso Rodoviário Português, LNEC, 2013.

[**Santinho Horta, C. et al., 2015**] Santinho Horta, C., Costa Pereira, F., Lopes, S e Castro, A. A Estratégia da Gestão da Conservação de Pavimentos da EP. 4^{as} Jornadas Betumes CEPESA/CRP, 2015.

[**Scarpatti, W. et al, 2013**] Scarpatti, W. e Guerra, J. *Investing in Pavement Management Can Improve, Save Money*. Municipal Advocate v.27 n.2, 2013.

[**Schmitt, R. L. et al, 2008**] Schmitt, R. L., Ababio, S. O. *Database development for na hma pavement performance analysis system*. Midwest Regional University Transportation Center – College of Engineering, Madison, 2008.

[**Schnoor, H. et al, 2012**] Schnoor, H. e Horak, E. *Possible Method of Determining Structural Number of Flexible Pavements with the Falling Weight Deflectometer*. 31^a Southern African Transport Conference, Pretoria, 2012.

[**Silva, R., 2012**] Silva, R. – *Contribuição para o desenvolvimento de modelos de previsão de fendilhamento de pavimentos rodoviários*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, Almada, 2012.

[**Svensson, M., 2013**] Svensson, M. - *Modeling Pavement Performance Based on Data From the Swedish LTPP Database*. Licentiate Thesis in Highway Engineering, School of Architecture and the Built Environment, Stockholm, 2013

[**Soncim, S. P. et al, 2013**] Soncim, S. P., Júnior, J. L. F., Campos, L. E. P. *Modelo de desempenho de irregularidade longitudinal desenvolvido com base em dados da rede de rodovias em tratamento superficial duplo do Estado da Bahia*, Transportes v.21 n.3, pp 22-30, 2013.

[**World Bank, 2002**] World Bank. *Week 3: Road Asset Management Principles*. The University of Birmingham/Transit New Zealand, 2002.

[**WSDT, 2005**] Washington State Department of Transportation. *Everseries User's Guide: Pavement Analysis Computer Software and Case Studies*, Washington, 2005.

Anexos

ANEXO A – CÁLCULO DO NÚMERO ESTRUTURAL MODIFICADO DO PAVIMENTO

A AASHTO desenvolveu um parâmetro, baseado nos resultados obtidos na pista experimental da AASHTO Road Test, designado por número estrutural (*Structural Number*, SN) que permite quantificar a capacidade estrutural de um pavimento (AASHTO, 1993).

Trata-se de um parâmetro adimensional e o seu cálculo inclui a contribuição de cada camada que constitui o pavimento, tal como se ilustra na Figura A.1.

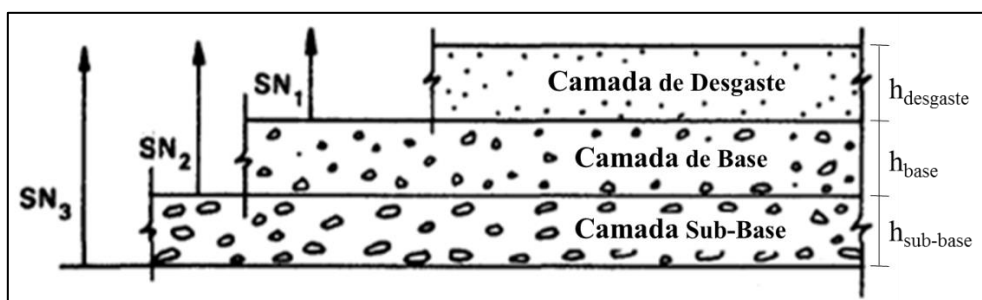


Figura A.1 – Ilustração do cálculo do Número Estrutural (adaptado de AASHTO, 1993)

A expressão que permite quantificar a capacidade estrutural de um pavimento é definida por (AASHTO, 1993):

$$SN = 0,0394 \times (a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3) \quad (A.1)$$

Onde,

SN – Número Estrutural;

a_1 , a_2 e a_3 – Coeficientes estruturais da camada de desgaste, base e sub-base, respetivamente, indicados na Tabela A.1;

D_1 , D_2 e D_3 – Espessuras, em milímetros, da camada de desgaste, base e sub-base, respetivamente;

m_2 e m_3 – Coeficientes de drenagem da camada de base e sub-base, respetivamente, indicados na Tabela A.2.

Tabela A.1 – Valores recomendados para os coeficientes estruturais (adaptado de N.D. Lea International Ltd, 1995)

| Camada do Pavimento | Coeficientes Estruturais | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------|
| | TRL (1975) | AASHTO (1993) | Paterson (1987) | CERRI (1993) | Cenek and Patrick (1994) |
| CAMADA DE DESGASTE | | | | | |
| Tratamento Superficial | | | 0,20-0,40 | | 0,30 |
| Revestimento Superficial | 0,10 | | | | |
| Betão Betuminoso E≈690 MPa | | 0,20 | | | |
| Betão Betuminoso E≈379 MPa | | 0,30 | | | |
| Betão Betuminoso E≈2068 MPa | | 0,35 | | | |
| Betão Betuminoso E≈2758 MPa | | 0,425 | | | |
| CAMADA DE BASE | | | | | |
| Base Granular, CBR=30% | 0,07 | 0,095 | 0,00-0,07 | | |
| Base Granular, CBR=50% | 0,10 | 0,11 | 0,00-0,10 | | |
| Base Granular, CBR=70% | 0,12 | 0,125 | 0,10-0,12 | | |
| Base Granular, CBR=90% | 0,135 | 0,13 | 0,12-0,13 | | |
| Base Granular, CBR=100% | 0,14 | 0,14 | 0,14 | | |
| Macadame Hidráulico | | | | 0,14 | 0,14 |
| CAMADA DE SUB-BASE | | | | | |
| Sub-Base Granular, CBR=5% | 0,055 | 0,04 | 0,06 | | |
| Sub-Base Granular, CBR=15% | 0,085 | 0,09 | 0,09 | | |
| Sub-Base Granular, CBR=25% | 0,10 | 0,10 | 0,10 | | |
| Sub-Base Granular, CBR=50% | 0,12 | 0,13 | 0,12 | | |
| Sub-Base Granular, CBR=100% | 0,14 | 0,14 | 0,14 | | |
| Macadame Hidráulico | | | | 0,14 | |

Tabela A.2 – Valores recomendados para os coeficientes de drenagem (adaptado de AASHTO, 1993)

| Qualidade de Drenagem | Percentagem do tempo em que a estrutura estará exposta a teores de humidade próximos da saturação | | | |
|-----------------------|---|-------------|-------------|--------|
| | < 1 % | 1 - 5 % | 5 – 25 % | > 25 % |
| Excelente | 1,40 – 1,35 | 1,35 – 1,30 | 1,30 – 1,20 | 1,20 |
| Bom | 1,35 – 1,25 | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,00 | 1,00 |
| Médio | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,05 | 1,00 – 0,80 | 0,80 |
| Fraco | 1,15 – 1,05 | 1,05 – 0,80 | 0,80 – 0,60 | 0,60 |
| Muito Fraco | 1,05 – 0,95 | 0,95 – 0,75 | 0,75 – 0,40 | 0,40 |

No entanto, a pista experimental da AASHTO *Road Test* foi construída sobre fundação com características uniformes (CBR=3%), excluindo o efeito da contribuição de características heterogéneas da fundação no cálculo do SN.

Assim, Hodges et al., (1975) introduziu a componente *Structural Number Subgrade* (SNSG), que expressa a contribuição do solo de fundação na caracterização da capacidade estrutural do pavimento. O parâmetro SN deu origem ao SNC, e a expressão de cálculo foi modificada, tal como se apresenta a seguir (N.D. Lea International Ltd, 1995).

$$SNC = SN + SNSG \quad (A.2)$$

$$SNSG = 3,51 \times \log_{10}(\text{CBR}) - 0,85 \times (\log_{10}(\text{CBR}))^2 - 1,43 \quad (A.3)$$

Onde,

SN – Número Estrutural;

SNC – Número Estrutural Modificado;

SNSG – Número Estrutural do Solo de Fundação;

CBR - Índice Californiano de capacidade de carga da fundação (*California Bearing Ratio*), em percentagem.

ANEXO B – DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL

O cálculo da precipitação média mensal, para a extensão total da estrada em estudo, foi realizado através da informação disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Com base na localização da estrada, escolheram-se os postos meteorológicos que se encontravam próximos da mesma. Deste modo, selecionaram-se seis postos meteorológicos, sendo eles Carvalhais, Penhas Juntas, Rebordelo, Rio Torto, Tinhela e Torre de Dona Chama, representados a vermelho na Figura B.1.

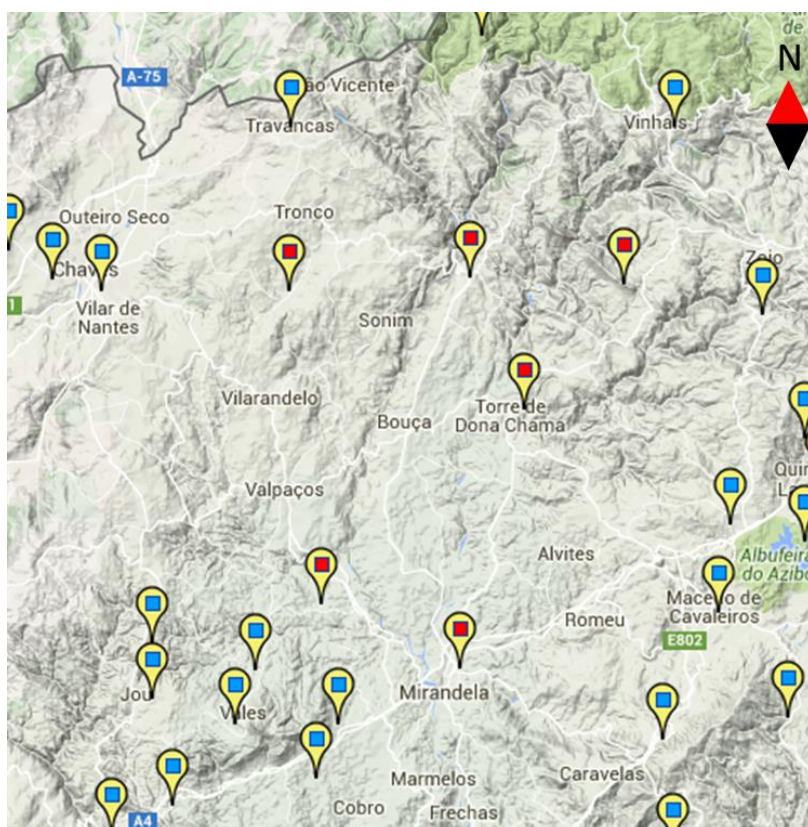


Figura B.1 – Postos meteorológicos selecionados através do SNIRH

Destes seis postos meteorológicos optou-se por utilizar aquele que apresenta uma maior série de dados, uma vez que quanto maior a série maior a confiança relativa ao cálculo da precipitação média mensal. A estação selecionada foi a de Rio Torto, contendo uma série de dados de 84 anos.

A Tabela B.1 apresenta os valores da precipitação anual de Rio Torto. A precipitação média anual resultou em 552,9 mm, tendo sido obtida uma precipitação média mensal de 0,046 m/mês.

Tabela B.1 – Valores da precipitação anual da estação de Rio Torto

| Data | RIO TORTO (04N/01C) |
|------------------|-------------------------|
| | Precipitação Anual (mm) |
| 01/10/1913 09:00 | 671,6 |
| 01/10/1914 09:00 | 779,7 |
| 01/10/1915 09:00 | 646,9 |
| 01/10/1916 09:00 | 730,2 |
| 01/10/1917 09:00 | 404,1 |
| 01/10/1918 09:00 | 554,9 |
| 01/10/1919 09:00 | 599,8 |
| 01/10/1920 09:00 | 539,0 |
| 01/10/1921 09:00 | 652,0 |
| 01/10/1922 09:00 | 586,5 |
| 01/10/1923 09:00 | 606,3 |
| 01/10/1924 09:00 | 585,5 |
| 01/10/1925 09:00 | 757,7 |
| 01/10/1926 09:00 | 554,5 |
| 01/10/1927 09:00 | 803,5 |
| 01/10/1929 09:00 | 404,7 |
| 01/10/1932 09:00 | 268,3 |
| 01/10/1933 09:00 | 254,9 |
| 01/10/1934 09:00 | 352,2 |
| 01/10/1935 09:00 | 889,8 |
| 01/10/1936 09:00 | 618,8 |
| 01/10/1937 09:00 | 430,6 |
| 01/10/1938 09:00 | 528,0 |
| 01/10/1939 09:00 | 555,0 |
| 01/10/1940 09:00 | 681,6 |
| 01/10/1941 09:00 | 388,6 |
| 01/10/1942 09:00 | 539,4 |
| 01/10/1943 09:00 | 455,6 |
| 01/10/1944 09:00 | 243,7 |
| 01/10/1945 09:00 | 574,0 |
| 01/10/1946 09:00 | 597,6 |
| 01/10/1947 09:00 | 520,2 |
| 01/10/1948 09:00 | 463,1 |
| 01/10/1949 09:00 | 395,8 |
| 01/10/1950 09:00 | 414,4 |
| 01/10/1951 09:00 | 384,8 |
| 01/10/1952 09:00 | 443,2 |
| 01/10/1953 09:00 | 479,8 |
| 01/10/1954 09:00 | 673,6 |
| 01/10/1955 09:00 | 997,4 |
| 01/10/1956 09:00 | 415,9 |

| Data | RIO TORTO (04N/01C) |
|------------------|-------------------------|
| | Precipitação Anual (mm) |
| 01/10/1957 09:00 | 527,5 |
| 01/10/1958 09:00 | 761,1 |
| 01/10/1959 09:00 | 742,9 |
| 01/10/1960 09:00 | 722,8 |
| 01/10/1961 09:00 | 718,7 |
| 01/10/1962 09:00 | 718,7 |
| 01/10/1963 09:00 | 824,7 |
| 01/10/1964 09:00 | 360,2 |
| 01/10/1965 09:00 | 928,7 |
| 01/10/1966 09:00 | 412,9 |
| 01/10/1967 09:00 | 487,9 |
| 01/10/1968 09:00 | 802,4 |
| 01/10/1969 09:00 | 429,8 |
| 01/10/1970 09:00 | 668,2 |
| 01/10/1971 09:00 | 411,7 |
| 01/10/1972 09:00 | 570,0 |
| 01/10/1973 09:00 | 515,7 |
| 01/10/1974 09:00 | 448,3 |
| 01/10/1975 09:00 | 427,0 |
| 01/10/1976 09:00 | 767,8 |
| 01/10/1977 09:00 | 698,1 |
| 01/10/1978 09:00 | 800,2 |
| 01/10/1979 09:00 | 497,5 |
| 01/10/1980 09:00 | 389,6 |
| 01/10/1981 09:00 | 537,3 |
| 01/10/1982 09:00 | 452,6 |
| 01/10/1983 09:00 | 453,7 |
| 01/10/1984 09:00 | 700,4 |
| 01/10/1985 09:00 | 489,6 |
| 01/10/1986 09:00 | 524,8 |
| 01/10/1987 09:00 | 633,9 |
| 01/10/1988 09:00 | 400,9 |
| 01/10/1989 09:00 | 653,0 |
| 01/10/1990 09:00 | 402,4 |
| 01/10/1991 09:00 | 331,3 |
| 01/10/1992 09:00 | 523,6 |
| 01/10/1993 09:00 | 534,3 |
| 01/10/1994 09:00 | 431,6 |
| 01/10/1996 09:00 | 510,2 |
| 01/10/1997 09:00 | 594,3 |
| 01/10/2003 09:00 | 478,1 |
| 01/10/2007 09:00 | 401,2 |
| 01/10/2008 09:00 | 313,5 |

ANEXO C – PARÂMETROS UTILIZADOS NA PREVISÃO DAS RODEIRAS, SEGUNDO O MODELO HDM-4

Tabela C.1 – Parâmetros utilizados para avaliar a eficiência do sistema de drenagem

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80Y} (MESALs) | Estrutura | | | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | a | | | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | RSs | SPB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B 50/70 | 4 | 0,135 | 0,53 | 0,53 | 0,10 | 0,20 | 0,14 | 1,38 | 7% | 6,1 | 100% | Sim |
| 2 | | | | | | | | | | | 0,40 | | 4,7 | | |

Tabela C.2 – Parâmetros utilizados para avaliar os efeitos do tipo de betume utilizado

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80Y} (MESALs) | Estrutura | | | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | a | | | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | RSs | SPB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 4 | 0,135 | 0,53 | 0,53 | 0,10 | 0,20 | 0,14 | 1 | 7% | 5,6 | 100% | Sim |
| 2 | | | B50/70 | | | | | | | | | | | | |

Tabela C.3 – Parâmetros utilizados para avaliar a influência do volume de tráfego armazenado na BDR

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80v} (MESALs) | Estrutura | | | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | a | | | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | RSs | SPB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 4 | 0,049 | 0,53 | 0,53 | 0,10 | 0,20 | 0,14 | 1 | 7% | 5,6 | 100% | Sim |
| 2 | | | | | 0,135 | | | | | | | | | | |

Tabela C.4 – Parâmetros utilizados para avaliar a influência da variação do índice de vazios da mistura betuminosa

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80v} (MESALs) | Estrutura | | | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | a | | | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | RSs | SPB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 3 | 0,049 | 0,53 | 0,53 | 0,10 | 0,20 | 0,14 | 1 | 7% | 5,6 | 100% | Sim |
| 2 | | | | 6 | | | | | | | | | | | |

Tabela C.5 – Parâmetros utilizados para avaliar as quatro capacidades estruturais previstas pelo PE

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80v} (MESALs) | Estrutura | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|----------------------------------|
| | | | | | | a | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | MH | Material Granular | | | | |
| I | 24 | 0,046 | B35/50 | 5 | 0,724 | 0,53 | 0,55 | 0,14 | 1,3 | 7% | 6,2 | 100% | Sim |
| II | | | | | | 0,53 | 0,55 | | | 5% | 6,4 | | |
| III | | | | | | 0,53 | 0,55 | | | 11% | 7,4 | | |
| IV | | | | | | 0,53 | 0,55 | | | 8% | 7,2 | | |

Tabela C.6 – Parâmetros utilizados para avaliar os efeitos da variação da compactação relativa

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80v} (MESALs) | Estrutura | | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------|------------|-----|-----------------------------|----------------------------------|
| | | | | | | a | | | d | CBR (%) | SNC | | |
| | | | | | | BB | MB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 6 | 0,724 | 0,45 | 0,46 | 0,14 | 1,3 | 8% | 6,8 | 97% | Sim |
| 2 | | | | | | | | | | | | 100% | |

Tabela C.7 – Parâmetros utilizados para avaliar as capacidades estruturais dos trechos estimadas na CFP, no sentido crescente

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80Y} (MESALs) | Estrutura | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento | |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|-----|
| | | | | | | a | | | d | CBR (%) | | | SNC |
| | | | | | | BB | MB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 6 | 0,724 | 0,52 | 0,53 | 0,14 | 1,3 | 5% | 6,5 | 100% | Sim |
| 2 | | | | | | 0,54 | 0,55 | | | 13% | 7,6 | | |
| 3 | | | | | | 0,51 | 0,52 | | | 9% | 7,0 | | |

Tabela C.8 – Parâmetros utilizados para avaliar as capacidades estruturais dos trechos estimadas na CFP, no sentido decrescente

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80Y} (MESALs) | Estrutura | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento | |
|----------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|-----|
| | | | | | | a | | | d | CBR (%) | | | SNC |
| | | | | | | BB | MB | MH | Material Granular | | | | |
| 1 | 24 | 0,046 | B35/50 | 6 | 0,724 | 0,45 | 0,46 | 0,14 | 1,3 | 8% | 6,8 | 100% | Sim |
| 2 | | | | | | 0,50 | 0,51 | | | 17% | 7,7 | | |

Tabela C.9 – Parâmetros utilizados para avaliar a influência do volume de tráfego

| Situação | PT (°C) | MMP (m/mês) | Tipo de Betume | VIM (%) | N _{80Y} (MESALs) | Estrutura | | | | | Compactação relativa (%) | Consideração de Fendilhamento | |
|------------|------------|----------------|-------------------|------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|-----|
| | | | | | | a | | | d | CBR (%) | | | SNC |
| | | | | | | BB | MB | MH | Material Granular | | | | |
| Otimista | 24 | 0,046 | B35/50 | 6 | 0,724 | 0,45 | 0,46 | 0,14 | 1,3 | 8% | 6,8 | 100% | Sim |
| Pessimista | | | | | 0,426 | | | | | | | | |

ANEXO D – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARGA COM FWD

Tabela D.1 – Resultados dos ensaios de carga com FWD, no sentido crescente

| Pk do ensaio | SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
|----------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----|------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | | | | |
| 0+000 | 797 | 631 | 551 | 435 | 332 | 212 | 139 | 101 | 63 | 18,6 | 16,2 | 21,7 |
| 0+100 | 564 | 445 | 375 | 284 | 213 | 117 | 68 | 44 | 25 | 18,2 | 16,2 | 20,1 |
| 0+200 | 1012 | 822 | 700 | 540 | 417 | 239 | 147 | 99 | 62 | 16,5 | 15,9 | 20,1 |
| 0+299 | 901 | 720 | 610 | 465 | 350 | 194 | 115 | 77 | 44 | 16,7 | 16,0 | 20,1 |
| 0+400 | 515 | 410 | 349 | 267 | 205 | 118 | 69 | 43 | 26 | 17,0 | 16,0 | 20,1 |
| 0+500 | 1379 | 1166 | 1026 | 833 | 677 | 431 | 281 | 191 | 111 | 16,9 | 16,1 | 20,1 |
| 0+600 | 593 | 492 | 427 | 339 | 271 | 164 | 97 | 56 | 18 | 16,1 | 15,9 | 20,1 |
| 0+700 | 668 | 562 | 495 | 400 | 325 | 210 | 141 | 99 | 59 | 16,2 | 16,1 | 20,1 |
| 0+800 | 595 | 521 | 466 | 380 | 311 | 196 | 123 | 80 | 45 | 15,6 | 15,9 | 20,1 |
| 0+900 | 714 | 595 | 520 | 413 | 328 | 197 | 118 | 75 | 39 | 15,6 | 16,0 | 20,1 |
| 1+035 | 526 | 433 | 376 | 297 | 234 | 139 | 84 | 53 | 28 | 16,0 | 16,2 | 20,1 |
| 1+135 | 361 | 298 | 258 | 204 | 161 | 95 | 57 | 36 | 20 | 16,1 | 16,0 | 20,1 |
| 1+235 | 700 | 607 | 545 | 453 | 378 | 249 | 162 | 105 | 49 | 16,0 | 16,0 | 20,1 |
| 1+335 | 529 | 454 | 403 | 333 | 276 | 184 | 124 | 86 | 47 | 16,1 | 16,0 | 20,1 |
| 1+434 | 626 | 537 | 479 | 394 | 326 | 214 | 143 | 100 | 60 | 16,2 | 15,9 | 20,1 |
| 1+535 | 580 | 514 | 471 | 406 | 352 | 258 | 188 | 139 | 83 | 16,4 | 15,6 | 20,1 |
| 1+635 | 485 | 385 | 322 | 237 | 174 | 84 | 40 | 21 | 13 | 16,6 | 15,4 | 20,1 |
| 1+735 | 501 | 444 | 404 | 341 | 288 | 194 | 129 | 89 | 52 | 16,8 | 15,3 | 20,1 |
| 1+835 | 486 | 414 | 366 | 300 | 247 | 161 | 105 | 69 | 33 | 16,8 | 15,5 | 20,1 |
| 1+935 | 515 | 443 | 398 | 333 | 278 | 181 | 113 | 70 | 27 | 16,9 | 15,6 | 20,1 |
| 2+060 | 535 | 446 | 388 | 305 | 241 | 139 | 77 | 43 | 20 | 16,4 | 15,4 | 20,1 |
| 2+160 | 608 | 525 | 474 | 395 | 330 | 217 | 141 | 94 | 44 | 16,7 | 15,4 | 20,1 |
| 2+260 | 530 | 462 | 416 | 350 | 299 | 208 | 144 | 101 | 60 | 16,8 | 15,2 | 20,1 |
| 2+360 | 305 | 249 | 214 | 168 | 130 | 71 | 37 | 18 | 7 | 16,8 | 15,3 | 20,1 |
| 2+460 | 569 | 495 | 445 | 369 | 307 | 200 | 128 | 81 | 33 | 16,8 | 15,2 | 20,1 |
| 2+560 | 787 | 705 | 646 | 552 | 473 | 327 | 224 | 154 | 83 | 16,8 | 15,3 | 20,1 |
| 2+660 | 710 | 623 | 563 | 474 | 400 | 272 | 183 | 127 | 70 | 16,7 | 15,1 | 20,1 |
| 2+760 | 822 | 711 | 637 | 525 | 434 | 284 | 184 | 119 | 59 | 17,0 | 15,2 | 20,1 |
| 2+860 | 552 | 466 | 411 | 333 | 273 | 175 | 116 | 78 | 40 | 16,8 | 15,1 | 20,1 |
| 2+960 | 580 | 520 | 474 | 401 | 336 | 219 | 138 | 87 | 41 | 16,6 | 15,0 | 20,1 |
| 3+055 | 626 | 541 | 489 | 412 | 349 | 243 | 169 | 118 | 64 | 16,4 | 15,0 | 20,1 |
| 3+154 | 677 | 585 | 522 | 430 | 354 | 227 | 144 | 91 | 42 | 16,7 | 14,9 | 20,1 |
| 3+254 | 629 | 539 | 481 | 394 | 326 | 211 | 139 | 94 | 51 | 16,6 | 14,9 | 20,1 |
| 3+355 | 597 | 501 | 440 | 352 | 281 | 171 | 106 | 68 | 34 | 16,6 | 14,8 | 20,1 |
| 3+454 | 597 | 468 | 394 | 300 | 232 | 135 | 85 | 58 | 33 | 16,8 | 15,0 | 20,1 |
| 3+554 | 512 | 399 | 336 | 255 | 195 | 111 | 65 | 41 | 22 | 16,8 | 15,0 | 20,1 |
| 3+654 | 366 | 276 | 224 | 159 | 115 | 62 | 40 | 29 | 19 | 16,7 | 15,1 | 20,1 |
| 3+755 | 483 | 381 | 321 | 242 | 181 | 95 | 52 | 33 | 20 | 16,8 | 15,1 | 20,1 |
| 3+854 | 552 | 463 | 410 | 334 | 273 | 177 | 118 | 82 | 49 | 16,7 | 15,1 | 20,1 |
| 3+954 | 546 | 469 | 422 | 352 | 297 | 204 | 141 | 99 | 52 | 16,7 | 15,1 | 20,1 |
| 4+016 | 453 | 385 | 344 | 286 | 239 | 163 | 112 | 79 | 45 | 16,6 | 15,1 | 20,1 |
| 4+116 | 467 | 392 | 343 | 274 | 220 | 135 | 80 | 49 | 20 | 16,7 | 15,2 | 20,1 |
| 4+223 | 478 | 384 | 329 | 254 | 195 | 105 | 53 | 23 | 4 | 17,2 | 15,3 | 20,1 |
| 4+317 | 442 | 369 | 324 | 261 | 211 | 134 | 87 | 58 | 31 | 17,2 | 15,3 | 20,1 |
| 4+416 | 614 | 519 | 460 | 374 | 306 | 196 | 126 | 82 | 39 | 16,8 | 15,2 | 20,1 |
| 4+517 | 670 | 564 | 497 | 401 | 323 | 200 | 123 | 78 | 37 | 16,9 | 15,3 | 20,1 |
| 4+616 | 695 | 589 | 516 | 410 | 324 | 190 | 109 | 67 | 34 | 16,7 | 15,2 | 20,1 |
| 4+716 | 541 | 451 | 393 | 308 | 238 | 131 | 70 | 38 | 17 | 16,8 | 15,4 | 20,1 |
| 4+816 | 782 | 672 | 599 | 492 | 402 | 256 | 160 | 100 | 42 | 16,8 | 15,4 | 20,1 |
| 4+916 | 566 | 488 | 436 | 362 | 302 | 199 | 132 | 91 | 51 | 16,7 | 15,3 | 20,1 |
| 5+019 | 679 | 592 | 531 | 441 | 365 | 242 | 161 | 110 | 60 | 16,5 | 15,2 | 20,1 |

| SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| 5+120 | 592 | 518 | 469 | 393 | 331 | 224 | 150 | 102 | 52 | 16,7 | 15,1 | 20,1 |
| 5+219 | 482 | 390 | 344 | 279 | 228 | 143 | 87 | 54 | 21 | 16,5 | 15,1 | 20,1 |
| 5+319 | 514 | 433 | 382 | 305 | 242 | 142 | 80 | 43 | 14 | 16,6 | 15,2 | 20,1 |
| 5+419 | 559 | 462 | 406 | 326 | 260 | 152 | 84 | 42 | 9 | 16,6 | 15,1 | 20,1 |
| 5+519 | 828 | 721 | 648 | 537 | 443 | 286 | 184 | 123 | 63 | 16,0 | 15,0 | 20,1 |
| 5+619 | 507 | 418 | 363 | 284 | 224 | 132 | 81 | 55 | 32 | 15,8 | 14,9 | 20,1 |
| 5+719 | 451 | 357 | 300 | 223 | 166 | 92 | 56 | 36 | 18 | 16,0 | 15,0 | 20,1 |
| 5+819 | 535 | 424 | 360 | 275 | 209 | 117 | 65 | 36 | 14 | 16,0 | 15,1 | 20,1 |
| 5+919 | 620 | 528 | 468 | 379 | 309 | 195 | 124 | 81 | 40 | 16,7 | 15,2 | 20,1 |
| 6+019 | 778 | 682 | 615 | 512 | 426 | 280 | 182 | 121 | 60 | 16,6 | 15,3 | 20,1 |
| 6+119 | 722 | 625 | 566 | 474 | 394 | 262 | 171 | 115 | 60 | 16,9 | 15,6 | 20,1 |
| 6+219 | 732 | 637 | 574 | 477 | 396 | 259 | 169 | 112 | 58 | 17,1 | 15,6 | 20,1 |
| 6+319 | 324 | 250 | 213 | 161 | 121 | 65 | 34 | 18 | 7 | 17,1 | 15,5 | 20,1 |
| 6+419 | 303 | 245 | 210 | 162 | 124 | 66 | 33 | 16 | 5 | 17,2 | 15,4 | 20,1 |
| 6+519 | 469 | 376 | 320 | 238 | 172 | 81 | 35 | 13 | 2 | 17,1 | 15,4 | 20,1 |
| 6+619 | 889 | 773 | 695 | 578 | 478 | 309 | 194 | 122 | 56 | 17,0 | 15,5 | 20,1 |
| 6+719 | 737 | 657 | 601 | 514 | 441 | 307 | 210 | 140 | 67 | 17,1 | 15,4 | 20,1 |
| 6+820 | 605 | 503 | 442 | 353 | 280 | 167 | 97 | 60 | 38 | 17,3 | 15,4 | 20,1 |
| 6+919 | 328 | 261 | 219 | 165 | 123 | 68 | 42 | 27 | 15 | 17,0 | 15,4 | 20,1 |
| 7+019 | 697 | 609 | 545 | 451 | 372 | 243 | 160 | 109 | 57 | 16,8 | 15,4 | 20,1 |
| 7+088 | 622 | 510 | 441 | 341 | 262 | 143 | 77 | 42 | 19 | 16,6 | 15,4 | 20,1 |
| 7+188 | 410 | 338 | 293 | 232 | 181 | 102 | 54 | 27 | 5 | 16,7 | 15,3 | 20,1 |
| 7+288 | 367 | 283 | 237 | 177 | 132 | 73 | 43 | 28 | 14 | 17,1 | 15,4 | 20,1 |
| 7+388 | 534 | 438 | 378 | 299 | 236 | 143 | 90 | 58 | 29 | 16,9 | 15,5 | 20,1 |
| 7+488 | 566 | 473 | 416 | 333 | 267 | 159 | 94 | 55 | 23 | 17,0 | 15,4 | 20,1 |
| 7+588 | 676 | 582 | 520 | 427 | 353 | 230 | 151 | 98 | 47 | 16,8 | 15,6 | 20,1 |
| 7+688 | 620 | 535 | 477 | 393 | 323 | 208 | 131 | 84 | 39 | 16,5 | 15,6 | 20,1 |
| 7+788 | 356 | 279 | 232 | 168 | 118 | 55 | 28 | 20 | 13 | 16,7 | 15,6 | 20,1 |
| 7+888 | 635 | 542 | 486 | 402 | 333 | 218 | 142 | 93 | 43 | 16,6 | 15,5 | 20,1 |
| 7+989 | 610 | 525 | 468 | 386 | 317 | 204 | 129 | 83 | 38 | 16,1 | 15,3 | 20,1 |
| 8+070 | 314 | 250 | 214 | 166 | 131 | 81 | 51 | 35 | 20 | 15,4 | 15,3 | 20,1 |
| 8+169 | 527 | 446 | 395 | 321 | 260 | 158 | 95 | 58 | 25 | 15,5 | 15,5 | 20,1 |
| 8+270 | 635 | 533 | 469 | 380 | 308 | 195 | 126 | 85 | 45 | 15,4 | 15,5 | 20,1 |
| 8+370 | 594 | 523 | 474 | 402 | 341 | 233 | 160 | 113 | 65 | 15,2 | 15,4 | 20,1 |
| 8+469 | 710 | 617 | 555 | 462 | 386 | 254 | 169 | 116 | 64 | 15,1 | 15,3 | 20,1 |
| 8+569 | 410 | 338 | 293 | 230 | 179 | 102 | 54 | 29 | 11 | 15,3 | 15,4 | 20,1 |
| 8+669 | 282 | 235 | 208 | 169 | 138 | 86 | 51 | 28 | 8 | 15,7 | 15,4 | 20,1 |
| 8+769 | 193 | 154 | 131 | 101 | 76 | 40 | 19 | 8 | 1 | 16,4 | 15,5 | 20,1 |
| 8+869 | 422 | 348 | 306 | 245 | 198 | 123 | 75 | 47 | 21 | 16,3 | 15,5 | 20,1 |
| 8+970 | 841 | 711 | 622 | 493 | 383 | 211 | 111 | 57 | 19 | 16,6 | 15,5 | 20,1 |
| 9+057 | 365 | 260 | 204 | 134 | 85 | 26 | 4 | 0 | 1 | 17,0 | 15,5 | 20,1 |
| 9+157 | 615 | 505 | 436 | 343 | 271 | 172 | 117 | 83 | 47 | 17,0 | 15,6 | 20,1 |
| 9+257 | 754 | 620 | 539 | 432 | 350 | 222 | 147 | 101 | 57 | 17,2 | 15,5 | 20,1 |
| 9+359 | 772 | 643 | 560 | 435 | 331 | 172 | 83 | 39 | 14 | 16,8 | 15,1 | 20,1 |
| 9+457 | 265 | 175 | 131 | 81 | 48 | 14 | 4 | 2 | 2 | 17,1 | 15,3 | 20,1 |
| 9+557 | 558 | 483 | 435 | 358 | 296 | 188 | 117 | 72 | 29 | 17,2 | 15,5 | 20,1 |
| 9+658 | 706 | 615 | 550 | 455 | 375 | 240 | 152 | 97 | 48 | 17,4 | 15,7 | 20,1 |
| 9+757 | 622 | 512 | 443 | 348 | 273 | 162 | 98 | 61 | 28 | 17,3 | 15,7 | 20,1 |
| 9+857 | 453 | 381 | 334 | 269 | 217 | 136 | 87 | 57 | 29 | 17,3 | 15,5 | 20,1 |
| 9+957 | 395 | 333 | 295 | 237 | 190 | 115 | 69 | 41 | 21 | 16,7 | 15,3 | 20,1 |
| 10+051 | 593 | 502 | 442 | 356 | 285 | 172 | 101 | 61 | 29 | 16,9 | 15,5 | 20,1 |
| 10+150 | 452 | 367 | 314 | 238 | 179 | 92 | 44 | 22 | 11 | 17,1 | 15,7 | 20,1 |
| 10+251 | 405 | 319 | 268 | 200 | 149 | 76 | 38 | 22 | 11 | 17,5 | 15,9 | 20,1 |
| 10+350 | 341 | 284 | 246 | 191 | 145 | 77 | 40 | 22 | 10 | 17,7 | 15,9 | 20,1 |
| 10+450 | 542 | 461 | 409 | 334 | 274 | 178 | 116 | 78 | 39 | 17,6 | 15,8 | 20,1 |
| 10+550 | 597 | 527 | 479 | 405 | 344 | 240 | 166 | 118 | 66 | 17,7 | 15,7 | 20,1 |
| 10+650 | 280 | 219 | 185 | 141 | 107 | 61 | 35 | 22 | 11 | 17,9 | 15,8 | 20,1 |

| SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| 10+751 | 284 | 232 | 203 | 161 | 128 | 77 | 47 | 30 | 17 | 17,7 | 15,8 | 20,1 |
| 10+850 | 425 | 373 | 339 | 287 | 245 | 168 | 115 | 80 | 43 | 17,8 | 15,8 | 20,1 |
| 10+951 | 711 | 618 | 556 | 463 | 388 | 260 | 176 | 119 | 59 | 18,3 | 16,0 | 20,1 |
| 11+060 | 420 | 321 | 266 | 195 | 141 | 71 | 39 | 24 | 13 | 18,6 | 16,1 | 20,1 |
| 11+161 | 802 | 688 | 612 | 503 | 414 | 270 | 176 | 116 | 55 | 18,2 | 16,1 | 20,1 |
| 11+260 | 598 | 515 | 462 | 385 | 323 | 218 | 148 | 101 | 53 | 17,9 | 15,8 | 20,1 |
| 11+360 | 547 | 482 | 433 | 358 | 298 | 196 | 129 | 87 | 46 | 17,5 | 15,8 | 20,1 |
| 11+460 | 610 | 543 | 498 | 431 | 373 | 264 | 182 | 122 | 57 | 17,4 | 15,8 | 20,1 |
| 11+560 | 573 | 489 | 433 | 353 | 290 | 185 | 119 | 79 | 38 | 17,5 | 15,9 | 20,1 |
| 11+660 | 745 | 643 | 573 | 470 | 385 | 245 | 153 | 97 | 44 | 17,3 | 15,8 | 20,1 |
| 11+760 | 563 | 481 | 431 | 356 | 295 | 192 | 123 | 79 | 34 | 17,2 | 15,6 | 20,1 |
| 11+860 | 680 | 576 | 508 | 410 | 333 | 212 | 135 | 88 | 42 | 17,7 | 15,8 | 20,1 |
| 11+960 | 424 | 363 | 325 | 269 | 222 | 143 | 88 | 52 | 19 | 17,9 | 16,1 | 20,1 |
| 12+060 | 302 | 252 | 223 | 178 | 142 | 83 | 45 | 25 | 8 | 16,7 | 15,7 | 20,1 |
| 12+064 | 614 | 515 | 453 | 362 | 289 | 176 | 109 | 70 | 37 | 17,3 | 15,8 | 20,1 |
| 12+164 | 817 | 650 | 546 | 408 | 299 | 144 | 68 | 37 | 17 | 17,3 | 15,9 | 20,1 |
| 12+264 | 621 | 540 | 480 | 393 | 322 | 210 | 142 | 99 | 55 | 17,7 | 16,0 | 20,1 |
| 12+364 | 372 | 281 | 228 | 159 | 109 | 47 | 19 | 9 | 4 | 17,5 | 15,8 | 20,1 |
| 12+466 | 330 | 277 | 241 | 192 | 150 | 88 | 49 | 27 | 9 | 17,5 | 15,9 | 20,1 |
| 12+564 | 355 | 288 | 244 | 183 | 136 | 71 | 35 | 18 | 6 | 17,6 | 15,8 | 20,1 |
| 12+664 | 510 | 431 | 380 | 306 | 246 | 151 | 93 | 57 | 24 | 17,5 | 15,7 | 20,1 |
| 12+764 | 434 | 357 | 308 | 242 | 191 | 112 | 65 | 39 | 19 | 17,3 | 15,6 | 20,1 |
| 12+864 | 500 | 416 | 363 | 288 | 231 | 143 | 95 | 68 | 45 | 17,5 | 15,7 | 20,1 |
| 12+964 | 571 | 488 | 437 | 362 | 300 | 198 | 128 | 86 | 46 | 16,8 | 15,3 | 20,1 |
| 13+064 | 444 | 370 | 324 | 256 | 203 | 121 | 71 | 40 | 14 | 16,5 | 14,9 | 20,1 |
| 13+164 | 489 | 419 | 375 | 311 | 258 | 172 | 114 | 76 | 34 | 16,3 | 14,6 | 20,1 |
| 13+263 | 708 | 627 | 570 | 482 | 408 | 279 | 184 | 121 | 54 | 16,5 | 14,7 | 20,1 |
| 13+364 | 672 | 578 | 516 | 421 | 342 | 215 | 133 | 82 | 33 | 16,5 | 14,7 | 20,1 |
| 13+464 | 737 | 627 | 552 | 445 | 358 | 223 | 139 | 89 | 44 | 16,5 | 14,6 | 20,1 |
| 13+564 | 701 | 614 | 554 | 463 | 388 | 263 | 178 | 122 | 66 | 16,6 | 14,5 | 20,1 |
| 13+664 | 561 | 462 | 401 | 315 | 245 | 135 | 71 | 36 | 12 | 16,3 | 14,4 | 20,1 |
| 13+764 | 359 | 293 | 252 | 195 | 149 | 82 | 43 | 24 | 10 | 16,5 | 14,6 | 20,1 |
| 13+866 | 422 | 357 | 313 | 249 | 195 | 113 | 63 | 34 | 11 | 16,8 | 14,7 | 20,1 |
| 14+004 | 361 | 287 | 244 | 185 | 139 | 76 | 42 | 25 | 12 | 16,9 | 14,7 | 20,1 |
| 14+104 | 481 | 427 | 388 | 330 | 280 | 193 | 132 | 91 | 48 | 16,8 | 14,6 | 20,1 |
| 14+205 | 750 | 670 | 613 | 521 | 442 | 307 | 212 | 148 | 85 | 15,9 | 14,2 | 20,1 |
| 14+304 | 691 | 594 | 531 | 439 | 362 | 232 | 147 | 95 | 48 | 15,1 | 13,7 | 20,1 |
| 14+404 | 351 | 299 | 264 | 215 | 172 | 106 | 61 | 33 | 9 | 14,6 | 13,3 | 20,1 |
| 14+504 | 358 | 278 | 233 | 173 | 126 | 61 | 29 | 15 | 6 | 14,9 | 13,4 | 20,1 |
| 14+604 | 534 | 453 | 403 | 328 | 268 | 164 | 98 | 58 | 23 | 15,5 | 13,6 | 20,1 |
| 14+704 | 628 | 566 | 520 | 448 | 383 | 267 | 181 | 121 | 60 | 15,5 | 13,7 | 20,1 |
| 14+804 | 394 | 355 | 329 | 288 | 254 | 185 | 133 | 93 | 50 | 15,4 | 13,5 | 20,1 |
| 14+904 | 327 | 280 | 250 | 207 | 169 | 107 | 64 | 37 | 13 | 15,2 | 13,4 | 20,1 |
| 15+017 | 195 | 155 | 135 | 105 | 81 | 45 | 24 | 12 | 3 | 15,4 | 13,4 | 20,1 |
| 15+114 | 382 | 327 | 293 | 245 | 206 | 140 | 99 | 72 | 45 | 15,6 | 13,3 | 20,1 |
| 15+215 | 449 | 380 | 336 | 269 | 214 | 125 | 70 | 39 | 15 | 15,4 | 13,4 | 20,1 |
| 15+314 | 479 | 405 | 357 | 285 | 228 | 139 | 88 | 60 | 35 | 15,3 | 13,5 | 20,1 |
| 15+414 | 489 | 427 | 386 | 323 | 270 | 182 | 120 | 80 | 37 | 15,2 | 13,8 | 20,1 |
| 15+513 | 560 | 468 | 411 | 325 | 253 | 141 | 74 | 37 | 13 | 15,3 | 14,2 | 20,1 |
| 15+614 | 414 | 354 | 313 | 251 | 199 | 116 | 61 | 31 | 9 | 15,7 | 14,2 | 20,1 |
| 15+714 | 577 | 475 | 412 | 322 | 254 | 149 | 91 | 61 | 38 | 16,0 | 14,5 | 20,1 |
| 15+814 | 385 | 333 | 301 | 251 | 212 | 142 | 98 | 69 | 41 | 16,2 | 14,6 | 20,1 |
| 15+914 | 462 | 388 | 335 | 258 | 198 | 106 | 56 | 29 | 10 | 16,7 | 14,6 | 20,1 |
| 16+005 | 565 | 494 | 448 | 376 | 314 | 210 | 140 | 96 | 52 | 16,6 | 14,4 | 20,1 |
| 16+105 | 695 | 599 | 535 | 437 | 355 | 216 | 128 | 74 | 28 | 16,2 | 14,5 | 20,1 |
| 16+205 | 503 | 391 | 321 | 228 | 157 | 64 | 20 | 2 | 0 | 16,4 | 14,6 | 20,1 |
| 16+305 | 584 | 515 | 468 | 394 | 331 | 217 | 139 | 87 | 36 | 16,6 | 14,6 | 20,1 |

| SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| 16+405 | 532 | 456 | 404 | 329 | 265 | 166 | 105 | 70 | 40 | 16,7 | 14,5 | 20,1 |
| 16+505 | 550 | 478 | 429 | 354 | 293 | 192 | 126 | 84 | 45 | 16,5 | 14,4 | 20,1 |
| 16+606 | 608 | 514 | 454 | 368 | 297 | 182 | 112 | 71 | 30 | 16,7 | 14,6 | 20,1 |
| 16+706 | 518 | 437 | 384 | 309 | 244 | 143 | 80 | 44 | 15 | 16,8 | 14,8 | 20,1 |
| 16+806 | 463 | 361 | 303 | 229 | 171 | 90 | 44 | 23 | 9 | 17,1 | 14,8 | 20,1 |
| 16+906 | 335 | 266 | 225 | 170 | 128 | 66 | 33 | 17 | 5 | 17,3 | 15,0 | 20,1 |
| 17+000 | 661 | 548 | 477 | 376 | 296 | 174 | 104 | 66 | 35 | 17,5 | 15,2 | 20,1 |
| 17+100 | 569 | 481 | 423 | 339 | 272 | 166 | 103 | 66 | 35 | 17,8 | 15,3 | 20,1 |
| 17+201 | 570 | 483 | 423 | 336 | 264 | 157 | 93 | 59 | 31 | 17,5 | 15,1 | 20,1 |
| 17+300 | 608 | 480 | 410 | 313 | 237 | 125 | 66 | 36 | 13 | 17,5 | 15,7 | 20,1 |
| 17+400 | 483 | 392 | 331 | 246 | 180 | 86 | 38 | 17 | 7 | 17,8 | 15,8 | 20,1 |
| 17+500 | 586 | 489 | 428 | 337 | 265 | 153 | 90 | 54 | 28 | 17,9 | 15,9 | 20,1 |
| 17+600 | 707 | 594 | 520 | 412 | 325 | 194 | 115 | 70 | 34 | 18,2 | 15,7 | 20,1 |
| 17+700 | 395 | 315 | 269 | 205 | 153 | 79 | 39 | 21 | 9 | 18,0 | 15,4 | 20,1 |
| 17+800 | 699 | 563 | 479 | 368 | 282 | 157 | 87 | 51 | 20 | 17,7 | 15,3 | 20,1 |
| 17+901 | 532 | 428 | 364 | 274 | 204 | 102 | 50 | 25 | 10 | 17,6 | 15,4 | 20,1 |
| 18+000 | 618 | 498 | 423 | 321 | 241 | 133 | 77 | 49 | 26 | 17,6 | 15,4 | 20,1 |
| 18+101 | 644 | 520 | 446 | 343 | 263 | 148 | 84 | 52 | 28 | 17,6 | 15,4 | 20,1 |
| 18+200 | 594 | 479 | 407 | 309 | 234 | 133 | 82 | 57 | 35 | 17,6 | 15,5 | 20,1 |
| 18+302 | 605 | 500 | 435 | 341 | 267 | 151 | 85 | 49 | 43 | 17,9 | 15,6 | 20,1 |
| 18+400 | 655 | 528 | 450 | 340 | 252 | 133 | 69 | 38 | 16 | 17,9 | 15,7 | 20,1 |
| 18+501 | 593 | 480 | 410 | 314 | 241 | 139 | 85 | 56 | 31 | 17,8 | 15,6 | 20,1 |
| 18+600 | 513 | 425 | 371 | 294 | 233 | 144 | 92 | 62 | 36 | 17,3 | 15,6 | 20,1 |
| 18+700 | 612 | 512 | 448 | 353 | 274 | 153 | 82 | 46 | 19 | 17,4 | 15,7 | 20,1 |
| 18+801 | 522 | 424 | 358 | 264 | 190 | 89 | 38 | 15 | 5 | 17,7 | 15,8 | 20,1 |
| 18+900 | 627 | 531 | 470 | 378 | 301 | 180 | 106 | 64 | 29 | 17,9 | 15,9 | 20,1 |
| 19+000 | 812 | 638 | 527 | 377 | 271 | 131 | 64 | 31 | 11 | 17,3 | 16,0 | 20,1 |
| 19+088 | 618 | 516 | 449 | 352 | 273 | 157 | 91 | 57 | 29 | 16,9 | 15,8 | 20,1 |
| 19+188 | 781 | 634 | 538 | 406 | 302 | 157 | 82 | 44 | 15 | 16,7 | 15,7 | 20,1 |
| 19+288 | 492 | 412 | 362 | 290 | 231 | 139 | 83 | 52 | 25 | 16,4 | 15,5 | 20,1 |
| 19+388 | 414 | 330 | 277 | 205 | 152 | 85 | 46 | 25 | 7 | 15,9 | 15,4 | 20,1 |
| 19+489 | 411 | 344 | 304 | 243 | 196 | 120 | 77 | 53 | 31 | 16,1 | 15,5 | 20,1 |
| 19+588 | 411 | 338 | 292 | 226 | 171 | 93 | 46 | 23 | 6 | 16,6 | 15,6 | 20,1 |
| 19+688 | 362 | 301 | 262 | 206 | 159 | 89 | 47 | 24 | 8 | 16,9 | 15,7 | 20,1 |
| 19+788 | 303 | 232 | 190 | 135 | 95 | 42 | 20 | 11 | 6 | 16,1 | 15,6 | 20,1 |
| 19+888 | 387 | 306 | 256 | 189 | 136 | 64 | 28 | 12 | 3 | 16,1 | 15,6 | 20,1 |
| 19+988 | 418 | 329 | 275 | 204 | 151 | 78 | 42 | 24 | 12 | 16,1 | 15,5 | 20,1 |
| 20+094 | 440 | 348 | 292 | 215 | 156 | 75 | 35 | 20 | 9 | 16,1 | 15,6 | 20,1 |
| 20+194 | 396 | 321 | 272 | 203 | 150 | 75 | 36 | 19 | 8 | 15,9 | 15,5 | 20,1 |
| 20+294 | 305 | 243 | 205 | 153 | 111 | 55 | 25 | 13 | 6 | 16,3 | 15,6 | 20,1 |
| 20+394 | 334 | 267 | 226 | 173 | 134 | 82 | 53 | 37 | 22 | 16,2 | 15,3 | 20,1 |
| 20+494 | 416 | 339 | 294 | 229 | 179 | 104 | 61 | 37 | 18 | 16,0 | 15,2 | 20,1 |
| 20+594 | 357 | 289 | 245 | 186 | 139 | 71 | 34 | 16 | 4 | 15,8 | 15,3 | 20,1 |
| 20+694 | 346 | 284 | 246 | 193 | 152 | 91 | 59 | 41 | 24 | 15,7 | 15,2 | 20,1 |
| 20+794 | 385 | 315 | 273 | 215 | 169 | 105 | 68 | 48 | 30 | 15,2 | 15,1 | 20,1 |
| 20+894 | 308 | 252 | 217 | 168 | 132 | 76 | 47 | 32 | 20 | 15,2 | 15,1 | 20,1 |
| 20+994 | 358 | 297 | 258 | 203 | 160 | 93 | 54 | 30 | 11 | 15,3 | 15,0 | 20,1 |
| 21+085 | 427 | 360 | 316 | 255 | 207 | 130 | 86 | 59 | 34 | 16,0 | 15,1 | 20,1 |
| 21+185 | 353 | 290 | 254 | 204 | 164 | 100 | 62 | 39 | 17 | 16,1 | 14,9 | 20,1 |
| 21+285 | 517 | 425 | 367 | 286 | 221 | 123 | 67 | 37 | 13 | 16,2 | 15,1 | 20,1 |
| 21+385 | 360 | 266 | 212 | 143 | 96 | 41 | 19 | 10 | 5 | 16,3 | 15,0 | 20,1 |
| 21+485 | 316 | 237 | 194 | 138 | 97 | 44 | 22 | 13 | 7 | 16,6 | 15,2 | 20,1 |
| 21+585 | 501 | 393 | 328 | 242 | 177 | 91 | 48 | 28 | 13 | 17,3 | 15,4 | 20,1 |
| 21+685 | 276 | 215 | 180 | 136 | 106 | 67 | 48 | 38 | 27 | 17,3 | 15,3 | 20,1 |
| 21+785 | 364 | 276 | 230 | 167 | 119 | 56 | 28 | 16 | 8 | 17,0 | 15,2 | 20,1 |
| 21+886 | 378 | 310 | 267 | 208 | 162 | 91 | 52 | 32 | 15 | 16,6 | 15,0 | 20,1 |
| 21+986 | 315 | 261 | 230 | 185 | 152 | 99 | 67 | 48 | 30 | 16,6 | 14,9 | 20,1 |

| SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| 22+079 | 384 | 304 | 255 | 191 | 141 | 73 | 39 | 23 | 11 | 16,6 | 14,8 | 20,1 |
| 22+179 | 340 | 277 | 239 | 186 | 146 | 88 | 54 | 35 | 18 | 16,6 | 15,0 | 20,1 |
| 22+279 | 347 | 281 | 239 | 183 | 140 | 75 | 39 | 21 | 8 | 16,8 | 15,1 | 20,1 |
| 22+379 | 342 | 274 | 233 | 175 | 132 | 70 | 37 | 21 | 10 | 18,2 | 15,8 | 20,1 |
| 22+479 | 298 | 236 | 199 | 151 | 114 | 61 | 35 | 22 | 11 | 18,3 | 15,9 | 20,1 |
| 22+580 | 410 | 329 | 280 | 211 | 160 | 87 | 49 | 29 | 15 | 18,2 | 16,0 | 20,1 |
| 22+679 | 335 | 263 | 220 | 163 | 118 | 58 | 27 | 14 | 5 | 18,3 | 15,9 | 20,1 |
| 22+779 | 249 | 182 | 146 | 101 | 70 | 35 | 21 | 15 | 9 | 18,3 | 16,0 | 20,1 |
| 22+879 | 350 | 284 | 244 | 191 | 150 | 94 | 64 | 47 | 29 | 18,4 | 15,9 | 20,1 |
| 22+980 | 419 | 334 | 286 | 221 | 169 | 95 | 54 | 33 | 14 | 18,1 | 15,7 | 20,1 |
| 23+080 | 348 | 277 | 235 | 177 | 135 | 76 | 42 | 23 | 7 | 18,1 | 15,8 | 20,1 |
| 23+179 | 388 | 324 | 283 | 225 | 178 | 107 | 64 | 40 | 17 | 18,4 | 16,0 | 20,1 |
| 23+280 | 280 | 213 | 177 | 128 | 94 | 46 | 22 | 11 | 3 | 18,2 | 16,1 | 20,1 |
| 23+380 | 313 | 259 | 226 | 180 | 143 | 85 | 51 | 31 | 13 | 18,1 | 16,0 | 20,1 |
| 23+479 | 347 | 287 | 249 | 198 | 157 | 97 | 63 | 42 | 25 | 17,6 | 15,7 | 20,1 |
| 23+579 | 323 | 266 | 232 | 181 | 141 | 82 | 48 | 28 | 12 | 16,1 | 15,1 | 20,1 |
| 23+679 | 323 | 252 | 212 | 158 | 117 | 59 | 30 | 16 | 6 | 16,2 | 15,5 | 20,1 |
| 23+779 | 385 | 322 | 284 | 228 | 183 | 115 | 73 | 51 | 29 | 15,2 | 15,4 | 20,1 |
| 23+879 | 377 | 313 | 271 | 212 | 167 | 101 | 63 | 41 | 21 | 15,3 | 15,5 | 20,1 |
| 23+979 | 446 | 358 | 305 | 232 | 174 | 94 | 50 | 27 | 12 | 15,1 | 15,2 | 20,1 |
| 24+073 | 401 | 334 | 291 | 232 | 185 | 115 | 73 | 49 | 27 | 15,0 | 15,1 | 20,1 |
| 24+173 | 361 | 292 | 250 | 188 | 140 | 71 | 36 | 19 | 7 | 15,2 | 15,1 | 20,1 |
| 24+273 | 321 | 253 | 212 | 153 | 109 | 49 | 20 | 8 | 3 | 15,5 | 15,0 | 20,1 |
| 24+373 | 377 | 309 | 263 | 198 | 148 | 75 | 36 | 17 | 4 | 15,6 | 14,7 | 20,1 |
| 24+473 | 245 | 198 | 168 | 126 | 92 | 44 | 19 | 7 | 1 | 15,3 | 14,2 | 20,1 |
| 24+573 | 414 | 338 | 289 | 224 | 175 | 103 | 63 | 42 | 23 | 15,0 | 14,0 | 20,1 |
| 24+673 | 310 | 253 | 216 | 166 | 125 | 67 | 36 | 20 | 8 | 14,8 | 13,8 | 20,1 |
| 24+774 | 349 | 286 | 244 | 187 | 141 | 76 | 40 | 22 | 9 | 14,4 | 13,5 | 20,1 |
| 24+873 | 496 | 398 | 342 | 264 | 203 | 114 | 66 | 40 | 19 | 13,9 | 13,2 | 20,1 |
| 24+973 | 285 | 220 | 182 | 133 | 97 | 49 | 26 | 15 | 7 | 13,6 | 13,0 | 20,1 |
| 25+065 | 346 | 283 | 242 | 186 | 144 | 83 | 49 | 33 | 20 | 13,0 | 12,7 | 20,1 |
| 25+165 | 368 | 271 | 222 | 158 | 109 | 46 | 17 | 7 | 2 | 12,9 | 12,7 | 20,1 |
| 25+265 | 316 | 257 | 219 | 165 | 120 | 55 | 23 | 9 | 3 | 13,6 | 12,9 | 20,1 |
| 25+365 | 544 | 447 | 384 | 294 | 218 | 108 | 49 | 21 | 4 | 13,6 | 12,9 | 20,1 |
| 25+465 | 375 | 307 | 267 | 209 | 164 | 99 | 62 | 42 | 24 | 13,9 | 13,1 | 20,1 |
| 25+566 | 309 | 249 | 214 | 165 | 125 | 69 | 37 | 20 | 6 | 14,1 | 12,9 | 20,1 |
| 25+666 | 278 | 222 | 188 | 142 | 107 | 57 | 28 | 15 | 4 | 14,2 | 13,0 | 20,1 |
| 25+765 | 365 | 293 | 246 | 186 | 139 | 72 | 36 | 18 | 6 | 14,4 | 13,5 | 20,1 |
| 25+865 | 412 | 338 | 289 | 221 | 166 | 86 | 42 | 21 | 6 | 14,8 | 13,9 | 20,1 |
| 25+965 | 345 | 276 | 233 | 175 | 129 | 63 | 29 | 13 | 4 | 14,6 | 13,9 | 20,1 |
| 26+056 | 334 | 268 | 224 | 164 | 118 | 54 | 23 | 10 | 3 | 14,5 | 13,8 | 20,1 |
| 26+156 | 453 | 373 | 320 | 248 | 190 | 110 | 66 | 41 | 19 | 14,3 | 13,7 | 20,1 |
| 26+256 | 452 | 374 | 322 | 248 | 188 | 98 | 48 | 23 | 5 | 14,9 | 13,7 | 20,1 |
| 26+356 | 457 | 379 | 328 | 256 | 198 | 115 | 67 | 40 | 19 | 14,9 | 13,7 | 20,1 |
| 26+456 | 403 | 332 | 287 | 225 | 175 | 104 | 65 | 43 | 25 | 14,4 | 13,8 | 20,1 |
| 26+557 | 433 | 374 | 332 | 267 | 211 | 122 | 69 | 38 | 15 | 14,4 | 13,9 | 20,1 |
| 26+656 | 680 | 585 | 514 | 407 | 317 | 175 | 91 | 46 | 17 | 14,6 | 13,7 | 20,1 |
| 26+756 | 812 | 681 | 591 | 465 | 361 | 206 | 116 | 66 | 27 | 14,8 | 13,6 | 20,1 |
| 26+856 | 524 | 444 | 391 | 314 | 253 | 155 | 96 | 62 | 31 | 14,6 | 13,3 | 20,1 |
| 26+956 | 390 | 325 | 282 | 220 | 168 | 89 | 44 | 21 | 6 | 14,6 | 13,2 | 20,1 |
| 27+050 | 533 | 438 | 376 | 286 | 213 | 111 | 56 | 31 | 15 | 14,4 | 13,1 | 20,1 |
| 27+150 | 551 | 478 | 426 | 346 | 276 | 162 | 89 | 47 | 16 | 14,2 | 13,0 | 20,1 |
| 27+250 | 551 | 474 | 421 | 342 | 278 | 171 | 106 | 68 | 33 | 14,0 | 13,0 | 20,1 |
| 27+350 | 543 | 453 | 395 | 316 | 252 | 155 | 95 | 61 | 33 | 14,1 | 12,8 | 20,1 |
| 27+451 | 478 | 400 | 346 | 270 | 206 | 111 | 56 | 26 | 6 | 13,8 | 12,4 | 20,1 |
| 27+551 | 345 | 284 | 248 | 194 | 151 | 84 | 45 | 23 | 5 | 13,7 | 12,4 | 20,1 |
| 27+651 | 400 | 339 | 301 | 246 | 202 | 133 | 88 | 60 | 31 | 13,9 | 12,5 | 20,1 |

| SENTIDO CRESCENTE – VIA DA DIREITA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10^{-1} mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do Pavimento | Profundidade do Pavimento |
| 27+750 | 351 | 263 | 225 | 174 | 133 | 72 | 38 | 20 | 8 | 14,1 | 12,5 | 20,1 |
| 27+851 | 463 | 389 | 342 | 275 | 222 | 141 | 92 | 64 | 36 | 13,9 | 12,3 | 20,1 |
| 27+950 | 384 | 311 | 269 | 212 | 171 | 111 | 75 | 53 | 31 | 14,0 | 12,1 | 20,1 |
| 28+050 | 323 | 256 | 212 | 154 | 111 | 53 | 24 | 12 | 4 | 13,6 | 12,0 | 20,1 |
| 28+153 | 510 | 421 | 364 | 287 | 225 | 134 | 83 | 55 | 29 | 13,7 | 12,0 | 20,1 |
| 28+250 | 440 | 369 | 325 | 265 | 216 | 141 | 96 | 69 | 42 | 13,9 | 12,2 | 20,1 |
| 28+350 | 340 | 278 | 239 | 187 | 145 | 79 | 40 | 19 | 3 | 13,7 | 12,1 | 20,1 |
| 28+500 | 380 | 295 | 252 | 195 | 152 | 89 | 54 | 34 | 17 | 18,3 | 17,3 | 21,7 |
| 28+600 | 412 | 320 | 266 | 193 | 136 | 60 | 24 | 8 | 1 | 18,3 | 17,4 | 21,7 |
| 28+700 | 419 | 327 | 276 | 208 | 156 | 82 | 45 | 26 | 11 | 17,7 | 17,4 | 21,7 |
| 28+800 | 452 | 357 | 307 | 240 | 191 | 123 | 85 | 62 | 39 | 17,8 | 17,6 | 21,7 |
| 28+900 | 385 | 293 | 239 | 169 | 118 | 54 | 27 | 16 | 9 | 17,4 | 17,9 | 21,7 |
| 29+006 | 569 | 454 | 384 | 289 | 219 | 120 | 72 | 49 | 28 | 17,9 | 18,0 | 21,7 |
| 29+106 | 407 | 315 | 263 | 193 | 142 | 72 | 38 | 21 | 9 | 18,2 | 18,1 | 21,7 |
| 29+207 | 575 | 488 | 432 | 350 | 285 | 177 | 115 | 78 | 40 | 17,7 | 17,9 | 21,7 |
| 29+306 | 395 | 312 | 265 | 203 | 155 | 88 | 53 | 36 | 20 | 17,4 | 17,7 | 21,7 |
| 29+406 | 381 | 289 | 234 | 169 | 122 | 61 | 34 | 21 | 11 | 17,2 | 17,4 | 21,7 |
| 29+506 | 691 | 554 | 473 | 365 | 283 | 166 | 100 | 60 | 23 | 16,7 | 17,1 | 21,7 |
| 29+606 | 255 | 214 | 197 | 172 | 151 | 108 | 76 | 55 | 26 | 16,2 | 16,9 | 21,7 |
| 29+707 | 205 | 133 | 114 | 91 | 73 | 46 | 29 | 19 | 8 | 16,1 | 16,8 | 21,7 |
| 29+806 | 251 | 213 | 194 | 164 | 142 | 100 | 70 | 50 | 25 | 16,0 | 16,8 | 21,7 |
| 29+906 | 187 | 154 | 141 | 123 | 107 | 77 | 55 | 39 | 19 | 15,3 | 16,5 | 21,7 |
| 30+000 | 233 | 205 | 193 | 174 | 160 | 127 | 100 | 79 | 46 | 15,7 | 16,4 | 21,7 |

Tabela D.2 – Resultados dos ensaios de carga com FWD, no sentido decrescente

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10^{-1} mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 0+050 | 835 | 649 | 547 | 413 | 311 | 177 | 111 | 81 | 52 | 19,2 | 16,8 | 21,7 |
| 0+150 | 1267 | 1030 | 864 | 648 | 475 | 248 | 134 | 83 | 47 | 18,9 | 16,6 | 21,7 |
| 0+250 | 989 | 744 | 600 | 427 | 303 | 154 | 81 | 46 | 20 | 19,3 | 16,9 | 21,7 |
| 0+350 | 557 | 401 | 312 | 212 | 149 | 76 | 44 | 32 | 23 | 19,6 | 16,7 | 21,7 |
| 0+450 | 1157 | 935 | 792 | 600 | 453 | 248 | 142 | 91 | 56 | 19,4 | 16,5 | 21,7 |
| 0+550 | 1240 | 961 | 793 | 578 | 418 | 205 | 105 | 67 | 39 | 19,6 | 16,6 | 21,7 |
| 0+650 | 846 | 601 | 450 | 276 | 160 | 46 | 16 | 10 | 7 | 19,3 | 16,6 | 21,7 |
| 0+749 | 1230 | 924 | 741 | 522 | 364 | 172 | 90 | 59 | 36 | 19,3 | 16,8 | 21,7 |
| 0+850 | 710 | 610 | 543 | 445 | 367 | 237 | 153 | 103 | 55 | 19,4 | 17,5 | 21,7 |
| 0+950 | 500 | 426 | 380 | 311 | 252 | 156 | 92 | 53 | 20 | 19,2 | 17,4 | 21,7 |
| 1+084 | 408 | 335 | 289 | 225 | 175 | 98 | 52 | 29 | 12 | 19,3 | 17,2 | 21,7 |
| 1+184 | 692 | 554 | 495 | 407 | 338 | 227 | 154 | 107 | 59 | 19,6 | 17,1 | 21,7 |
| 1+284 | 507 | 431 | 383 | 318 | 265 | 176 | 114 | 73 | 31 | 19,1 | 16,9 | 21,7 |
| 1+384 | 832 | 714 | 638 | 527 | 437 | 285 | 186 | 124 | 64 | 18,2 | 16,6 | 21,7 |
| 1+483 | 583 | 505 | 453 | 373 | 309 | 199 | 126 | 81 | 41 | 18,2 | 16,4 | 21,7 |
| 1+585 | 655 | 565 | 504 | 415 | 343 | 224 | 144 | 97 | 51 | 18,0 | 16,5 | 21,7 |
| 1+685 | 636 | 543 | 485 | 398 | 325 | 210 | 135 | 89 | 44 | 17,8 | 16,3 | 21,7 |
| 1+785 | 338 | 260 | 219 | 164 | 123 | 66 | 37 | 26 | 18 | 18,2 | 16,5 | 21,7 |
| 1+885 | 506 | 432 | 386 | 318 | 266 | 178 | 119 | 82 | 47 | 18,0 | 16,4 | 21,7 |
| 2+010 | 764 | 682 | 620 | 524 | 443 | 294 | 189 | 118 | 47 | 18,1 | 16,5 | 21,7 |
| 2+110 | 121 | 82 | 63 | 42 | 27 | 11 | 5 | 3 | 3 | 18,4 | 16,4 | 21,7 |
| 2+210 | 603 | 527 | 478 | 403 | 342 | 232 | 157 | 107 | 59 | 18,0 | 16,4 | 21,7 |
| 2+309 | 568 | 481 | 424 | 344 | 279 | 174 | 109 | 70 | 36 | 17,9 | 16,4 | 21,7 |
| 2+409 | 426 | 359 | 317 | 252 | 200 | 115 | 62 | 30 | 7 | 17,3 | 16,5 | 21,7 |
| 2+510 | 634 | 536 | 475 | 389 | 322 | 210 | 140 | 98 | 58 | 17,5 | 16,5 | 21,7 |
| 2+610 | 615 | 550 | 503 | 428 | 365 | 252 | 171 | 117 | 62 | 17,9 | 16,7 | 21,7 |

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 2+710 | 792 | 694 | 626 | 521 | 435 | 287 | 189 | 128 | 70 | 17,6 | 16,7 | 21,7 |
| 2+810 | 610 | 511 | 457 | 379 | 313 | 195 | 117 | 69 | 29 | 17,1 | 16,7 | 21,7 |
| 2+910 | 579 | 513 | 470 | 403 | 346 | 244 | 169 | 118 | 61 | 17,6 | 16,8 | 21,7 |
| 3+004 | 493 | 436 | 400 | 341 | 293 | 201 | 136 | 92 | 47 | 17,2 | 17 | 21,7 |
| 3+104 | 417 | 374 | 349 | 308 | 272 | 203 | 146 | 100 | 46 | 16,9 | 17 | 21,7 |
| 3+204 | 513 | 459 | 423 | 368 | 320 | 230 | 159 | 107 | 48 | 17,2 | 17 | 21,7 |
| 3+304 | 762 | 668 | 606 | 509 | 430 | 285 | 183 | 116 | 52 | 18,3 | 17,3 | 21,7 |
| 3+403 | 628 | 538 | 480 | 392 | 321 | 205 | 128 | 80 | 35 | 19,0 | 17,4 | 21,7 |
| 3+504 | 418 | 349 | 307 | 247 | 199 | 121 | 73 | 42 | 16 | 18,6 | 17,3 | 21,7 |
| 3+603 | 540 | 463 | 408 | 330 | 266 | 163 | 102 | 69 | 43 | 18,2 | 17,4 | 21,7 |
| 3+704 | 487 | 412 | 366 | 295 | 238 | 140 | 79 | 43 | 16 | 18,1 | 17,6 | 21,7 |
| 3+804 | 493 | 372 | 329 | 269 | 219 | 142 | 94 | 65 | 36 | 18,8 | 17,7 | 21,7 |
| 3+903 | 535 | 472 | 432 | 372 | 322 | 229 | 163 | 116 | 61 | 18,7 | 17,6 | 21,7 |
| 4+004 | 508 | 447 | 411 | 354 | 306 | 218 | 154 | 110 | 63 | 18,3 | 17,6 | 21,7 |
| 4+067 | 519 | 437 | 384 | 308 | 247 | 150 | 89 | 51 | 18 | 18,5 | 17,5 | 21,7 |
| 4+166 | 269 | 210 | 174 | 127 | 90 | 43 | 18 | 8 | 2 | 18,0 | 17,3 | 21,7 |
| 4+266 | 375 | 326 | 297 | 254 | 219 | 155 | 109 | 77 | 42 | 18,4 | 17,4 | 21,7 |
| 4+366 | 523 | 454 | 409 | 339 | 282 | 186 | 122 | 82 | 43 | 18,9 | 17,6 | 21,7 |
| 4+467 | 587 | 534 | 498 | 439 | 389 | 287 | 206 | 145 | 73 | 19,7 | 17,5 | 21,7 |
| 4+566 | 669 | 567 | 501 | 409 | 338 | 218 | 141 | 92 | 43 | 20,8 | 17,6 | 21,7 |
| 4+665 | 366 | 311 | 277 | 225 | 185 | 117 | 71 | 41 | 13 | 22,3 | 17,7 | 21,7 |
| 4+765 | 493 | 436 | 393 | 331 | 280 | 183 | 118 | 72 | 25 | 22,0 | 17,6 | 21,7 |
| 4+866 | 561 | 477 | 425 | 347 | 283 | 178 | 111 | 71 | 34 | 21,8 | 17,6 | 21,7 |
| 4+966 | 669 | 594 | 545 | 470 | 407 | 291 | 205 | 145 | 76 | 21,6 | 17,6 | 21,7 |
| 5+069 | 696 | 618 | 564 | 479 | 407 | 284 | 195 | 133 | 70 | 21,0 | 17,9 | 21,7 |
| 5+169 | 552 | 470 | 416 | 341 | 280 | 178 | 112 | 70 | 28 | 20,4 | 17,9 | 21,7 |
| 5+269 | 358 | 294 | 254 | 197 | 150 | 80 | 40 | 18 | 2 | 20,7 | 17,9 | 21,7 |
| 5+369 | 621 | 540 | 485 | 402 | 335 | 214 | 132 | 79 | 26 | 20,7 | 17,8 | 21,7 |
| 5+470 | 641 | 543 | 479 | 386 | 314 | 192 | 116 | 71 | 30 | 20,8 | 17,5 | 21,7 |
| 5+569 | 568 | 494 | 445 | 372 | 313 | 209 | 138 | 90 | 46 | 21,2 | 17,6 | 21,7 |
| 5+669 | 706 | 585 | 504 | 391 | 306 | 174 | 99 | 60 | 29 | 21,1 | 17,8 | 21,7 |
| 5+768 | 330 | 280 | 253 | 213 | 181 | 124 | 83 | 55 | 25 | 20,8 | 17,7 | 21,7 |
| 5+869 | 398 | 314 | 265 | 196 | 143 | 71 | 36 | 22 | 14 | 20,7 | 17,6 | 21,7 |
| 5+968 | 604 | 527 | 473 | 390 | 324 | 207 | 129 | 81 | 34 | 20,4 | 17,6 | 21,7 |
| 6+069 | 743 | 656 | 597 | 500 | 421 | 278 | 181 | 121 | 64 | 20,2 | 17,5 | 21,7 |
| 6+169 | 766 | 672 | 606 | 507 | 425 | 287 | 194 | 135 | 78 | 20,1 | 17,4 | 21,7 |
| 6+269 | 429 | 360 | 315 | 252 | 202 | 116 | 64 | 34 | 9 | 20,0 | 17,3 | 21,7 |
| 6+369 | 398 | 328 | 285 | 226 | 177 | 104 | 59 | 34 | 12 | 20,3 | 17,3 | 21,7 |
| 6+469 | 450 | 368 | 316 | 245 | 190 | 106 | 57 | 33 | 12 | 20,8 | 17,5 | 21,7 |
| 6+569 | 591 | 507 | 451 | 366 | 298 | 183 | 110 | 69 | 34 | 20,6 | 17,5 | 21,7 |
| 6+669 | 660 | 575 | 522 | 437 | 365 | 241 | 153 | 97 | 42 | 19,9 | 17,2 | 21,7 |
| 6+769 | 391 | 322 | 278 | 216 | 167 | 91 | 49 | 25 | 8 | 20,2 | 17,1 | 21,7 |
| 6+868 | 95 | 50 | 31 | 11 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 20,7 | 17,1 | 21,7 |
| 6+968 | 679 | 597 | 541 | 457 | 387 | 264 | 177 | 119 | 59 | 20,4 | 16,7 | 21,7 |
| 7+038 | 738 | 642 | 581 | 487 | 409 | 273 | 178 | 115 | 55 | 20,1 | 16,5 | 21,7 |
| 7+138 | 538 | 454 | 403 | 327 | 265 | 165 | 102 | 63 | 27 | 19,8 | 16,6 | 21,7 |
| 7+239 | 246 | 200 | 174 | 138 | 110 | 64 | 37 | 23 | 11 | 19,4 | 16,5 | 21,7 |
| 7+337 | 486 | 420 | 378 | 315 | 262 | 172 | 110 | 72 | 31 | 19,3 | 16,6 | 21,7 |
| 7+438 | 501 | 429 | 385 | 321 | 268 | 179 | 119 | 81 | 46 | 19,5 | 16,7 | 21,7 |
| 7+538 | 670 | 577 | 514 | 421 | 345 | 218 | 136 | 87 | 46 | 19,4 | 16,5 | 21,7 |
| 7+638 | 514 | 454 | 413 | 346 | 292 | 195 | 127 | 81 | 35 | 19,4 | 16,6 | 21,7 |
| 7+739 | 289 | 216 | 177 | 124 | 85 | 37 | 16 | 9 | 6 | 19,6 | 16,5 | 21,7 |
| 7+838 | 500 | 419 | 368 | 294 | 237 | 148 | 96 | 66 | 39 | 19,5 | 16,4 | 21,7 |
| 7+939 | 611 | 535 | 486 | 408 | 345 | 231 | 154 | 102 | 50 | 19,7 | 16,4 | 21,7 |
| 8+019 | 400 | 545 | 492 | 414 | 347 | 232 | 151 | 98 | 43 | 19,8 | 16,5 | 21,7 |
| 8+119 | 554 | 472 | 419 | 339 | 278 | 176 | 113 | 75 | 40 | 20,2 | 16,7 | 21,7 |
| 8+219 | 595 | 516 | 467 | 393 | 331 | 225 | 150 | 100 | 47 | 20,1 | 16,9 | 21,7 |
| 8+318 | 452 | 391 | 355 | 300 | 256 | 182 | 128 | 92 | 53 | 20,2 | 16,9 | 21,7 |

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 8+419 | 500 | 443 | 404 | 345 | 296 | 210 | 148 | 105 | 59 | 20,4 | 17,1 | 21,7 |
| 8+519 | 546 | 464 | 412 | 332 | 269 | 162 | 92 | 50 | 15 | 20,4 | 17,4 | 21,7 |
| 8+619 | 503 | 405 | 345 | 260 | 195 | 99 | 44 | 19 | 4 | 20,2 | 17,5 | 21,7 |
| 8+719 | 255 | 167 | 124 | 76 | 45 | 16 | 6 | 3 | 1 | 19,8 | 17,7 | 21,7 |
| 8+819 | 307 | 229 | 186 | 128 | 86 | 31 | 9 | 3 | 2 | 20,1 | 17,9 | 21,7 |
| 8+919 | 603 | 490 | 421 | 326 | 251 | 138 | 75 | 42 | 18 | 20,4 | 17,6 | 21,7 |
| 9+007 | 581 | 487 | 425 | 334 | 261 | 148 | 82 | 46 | 20 | 20,2 | 17,5 | 21,7 |
| 9+107 | 776 | 672 | 597 | 486 | 397 | 243 | 147 | 88 | 34 | 20,2 | 17,3 | 21,7 |
| 9+207 | 510 | 418 | 362 | 284 | 223 | 134 | 84 | 56 | 30 | 19,6 | 17,1 | 21,7 |
| 9+307 | 704 | 618 | 559 | 469 | 395 | 264 | 177 | 119 | 60 | 19,7 | 17 | 21,7 |
| 9+406 | 664 | 557 | 491 | 396 | 322 | 203 | 130 | 86 | 46 | 19,9 | 17,2 | 21,7 |
| 9+507 | 539 | 483 | 448 | 388 | 339 | 241 | 168 | 113 | 51 | 19,8 | 17,3 | 21,7 |
| 9+607 | 534 | 459 | 412 | 343 | 291 | 200 | 138 | 95 | 46 | 19,5 | 17,1 | 21,7 |
| 9+706 | 575 | 498 | 449 | 375 | 315 | 214 | 145 | 99 | 52 | 19,5 | 16,9 | 21,7 |
| 9+806 | 539 | 431 | 364 | 277 | 208 | 109 | 58 | 33 | 20 | 19,3 | 16,9 | 21,7 |
| 9+907 | 314 | 254 | 223 | 182 | 152 | 103 | 73 | 54 | 34 | 19,3 | 17,1 | 21,7 |
| 10+000 | 719 | 580 | 487 | 360 | 263 | 129 | 63 | 33 | 16 | 19,3 | 17,3 | 21,7 |
| 10+100 | 749 | 638 | 561 | 450 | 364 | 221 | 135 | 86 | 44 | 19,2 | 17,2 | 21,7 |
| 10+200 | 446 | 330 | 268 | 188 | 133 | 61 | 30 | 18 | 12 | 18,7 | 17 | 21,7 |
| 10+300 | 623 | 495 | 415 | 305 | 224 | 109 | 54 | 31 | 18 | 18,2 | 16,8 | 21,7 |
| 10+400 | 331 | 275 | 242 | 194 | 156 | 95 | 57 | 34 | 15 | 18,0 | 16,5 | 21,7 |
| 10+500 | 583 | 514 | 472 | 407 | 354 | 257 | 186 | 135 | 75 | 18,2 | 16,6 | 21,7 |
| 10+600 | 449 | 378 | 332 | 267 | 214 | 133 | 84 | 54 | 27 | 18,7 | 16,9 | 21,7 |
| 10+698 | 550 | 436 | 366 | 271 | 199 | 97 | 44 | 21 | 9 | 19,0 | 16,8 | 21,7 |
| 10+799 | 924 | 827 | 754 | 642 | 549 | 376 | 257 | 175 | 88 | 18,9 | 16,8 | 21,7 |
| 10+899 | 391 | 323 | 283 | 226 | 184 | 118 | 77 | 53 | 31 | 19,1 | 17 | 21,7 |
| 11+009 | 474 | 398 | 354 | 288 | 238 | 156 | 104 | 72 | 40 | 19,2 | 17 | 21,7 |
| 11+110 | 407 | 353 | 319 | 268 | 225 | 153 | 103 | 69 | 33 | 18,9 | 16,8 | 21,7 |
| 11+210 | 581 | 505 | 457 | 384 | 327 | 225 | 157 | 110 | 58 | 18,6 | 16,4 | 21,7 |
| 11+308 | 453 | 391 | 353 | 296 | 252 | 174 | 122 | 87 | 47 | 18,5 | 16,4 | 21,7 |
| 11+410 | 599 | 516 | 464 | 388 | 326 | 219 | 145 | 93 | 38 | 18,6 | 16,6 | 21,7 |
| 11+510 | 501 | 445 | 406 | 346 | 296 | 206 | 142 | 97 | 47 | 18,6 | 16,5 | 21,7 |
| 11+610 | 342 | 277 | 240 | 188 | 149 | 90 | 54 | 34 | 17 | 19,5 | 16,8 | 21,7 |
| 11+710 | 834 | 748 | 684 | 582 | 493 | 327 | 208 | 129 | 53 | 19,8 | 17 | 21,7 |
| 11+810 | 602 | 508 | 447 | 360 | 291 | 185 | 116 | 75 | 34 | 20,1 | 17,4 | 21,7 |
| 11+910 | 710 | 579 | 500 | 392 | 308 | 175 | 97 | 53 | 23 | 20,2 | 17,6 | 21,7 |
| 12+009 | 351 | 299 | 265 | 214 | 172 | 104 | 61 | 33 | 10 | 20,0 | 17,6 | 21,7 |
| 12+013 | 463 | 384 | 332 | 258 | 202 | 116 | 70 | 44 | 23 | 19,4 | 17,3 | 21,7 |
| 12+113 | 329 | 256 | 209 | 147 | 101 | 45 | 21 | 12 | 7 | 19,4 | 16,9 | 21,7 |
| 12+214 | 716 | 606 | 536 | 434 | 355 | 226 | 148 | 100 | 51 | 19,2 | 16,6 | 21,7 |
| 12+314 | 560 | 478 | 424 | 344 | 279 | 168 | 97 | 53 | 13 | 19,2 | 16,8 | 21,7 |
| 12+414 | 429 | 358 | 319 | 260 | 211 | 126 | 69 | 34 | 4 | 19,3 | 16,7 | 21,7 |
| 12+514 | 343 | 276 | 239 | 181 | 136 | 72 | 36 | 19 | 5 | 19,2 | 16,8 | 21,7 |
| 12+613 | 482 | 398 | 347 | 273 | 217 | 127 | 72 | 39 | 11 | 19,6 | 17 | 21,7 |
| 12+714 | 398 | 314 | 267 | 201 | 151 | 79 | 42 | 26 | 13 | 19,2 | 16,9 | 21,7 |
| 12+815 | 554 | 469 | 416 | 336 | 277 | 178 | 120 | 85 | 51 | 19,1 | 17 | 21,7 |
| 12+914 | 616 | 532 | 479 | 397 | 333 | 218 | 145 | 98 | 53 | 18,7 | 16,7 | 21,7 |
| 13+014 | 776 | 676 | 609 | 506 | 425 | 280 | 186 | 125 | 62 | 18,3 | 16,5 | 21,7 |
| 13+115 | 385 | 317 | 276 | 220 | 175 | 104 | 61 | 37 | 15 | 18,6 | 16,7 | 21,7 |
| 13+214 | 599 | 530 | 483 | 409 | 349 | 235 | 155 | 102 | 50 | 18,3 | 16,7 | 21,7 |
| 13+315 | 677 | 599 | 546 | 465 | 397 | 266 | 172 | 106 | 40 | 17,9 | 16,8 | 21,7 |
| 13+414 | 579 | 478 | 415 | 324 | 252 | 136 | 68 | 32 | 11 | 17,9 | 16,8 | 21,7 |
| 13+514 | 685 | 611 | 560 | 479 | 411 | 282 | 191 | 130 | 68 | 17,7 | 16,7 | 21,7 |
| 13+614 | 443 | 371 | 329 | 267 | 218 | 135 | 82 | 50 | 21 | 17,9 | 16,8 | 21,7 |
| 13+714 | 458 | 379 | 333 | 265 | 211 | 124 | 70 | 41 | 16 | 18,1 | 16,8 | 21,7 |
| 13+815 | 492 | 414 | 367 | 295 | 239 | 147 | 90 | 56 | 24 | 17,7 | 16,9 | 21,7 |
| 13+913 | 366 | 305 | 269 | 219 | 178 | 110 | 67 | 40 | 14 | 17,6 | 16,6 | 21,7 |
| 14+054 | 491 | 425 | 381 | 313 | 259 | 165 | 106 | 70 | 36 | 17,2 | 16,2 | 21,7 |

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 14+154 | 611 | 485 | 441 | 376 | 323 | 227 | 158 | 112 | 64 | 16,7 | 16 | 21,7 |
| 14+254 | 683 | 583 | 518 | 419 | 341 | 210 | 129 | 82 | 40 | 16,4 | 15,9 | 21,7 |
| 14+354 | 296 | 238 | 207 | 166 | 134 | 83 | 50 | 31 | 12 | 17,8 | 16,3 | 21,7 |
| 14+454 | 217 | 180 | 161 | 134 | 112 | 72 | 46 | 28 | 10 | 18,0 | 16,4 | 21,7 |
| 14+554 | 276 | 237 | 215 | 181 | 154 | 104 | 69 | 45 | 18 | 18,0 | 16,3 | 21,7 |
| 14+653 | 258 | 215 | 191 | 158 | 132 | 88 | 57 | 38 | 18 | 18,0 | 16,5 | 21,7 |
| 14+753 | 593 | 518 | 467 | 391 | 329 | 220 | 146 | 99 | 53 | 17,9 | 16,5 | 21,7 |
| 14+854 | 338 | 288 | 259 | 214 | 182 | 123 | 87 | 62 | 37 | 17,7 | 16,5 | 21,7 |
| 14+954 | 182 | 134 | 108 | 75 | 52 | 23 | 10 | 5 | 1 | 17,8 | 16,5 | 21,7 |
| 15+064 | 385 | 338 | 307 | 258 | 219 | 147 | 100 | 69 | 36 | 17,9 | 16,4 | 21,7 |
| 15+164 | 420 | 345 | 300 | 234 | 183 | 104 | 60 | 35 | 16 | 17,7 | 16,7 | 21,7 |
| 15+263 | 500 | 425 | 376 | 305 | 249 | 160 | 104 | 72 | 42 | 18,2 | 17,1 | 21,7 |
| 15+364 | 485 | 387 | 325 | 241 | 178 | 94 | 52 | 32 | 15 | 18,0 | 17,2 | 21,7 |
| 15+464 | 725 | 622 | 552 | 444 | 354 | 209 | 120 | 66 | 21 | 17,9 | 17,3 | 21,7 |
| 15+564 | 556 | 450 | 386 | 294 | 218 | 112 | 51 | 21 | 4 | 17,7 | 17,4 | 21,7 |
| 15+664 | 223 | 188 | 170 | 146 | 126 | 93 | 70 | 55 | 35 | 18,2 | 17,5 | 21,7 |
| 15+763 | 250 | 205 | 180 | 145 | 117 | 73 | 46 | 30 | 14 | 18,2 | 17,4 | 21,7 |
| 15+864 | 707 | 588 | 510 | 394 | 298 | 153 | 73 | 33 | 8 | 17,8 | 17,3 | 21,7 |
| 15+964 | 488 | 404 | 350 | 271 | 210 | 114 | 60 | 32 | 12 | 17,3 | 17,2 | 21,7 |
| 16+055 | 694 | 599 | 536 | 439 | 359 | 224 | 138 | 86 | 41 | 18,5 | 17,5 | 21,7 |
| 16+155 | 298 | 231 | 189 | 135 | 93 | 39 | 15 | 6 | 3 | 18,8 | 17,9 | 21,7 |
| 16+255 | 730 | 634 | 564 | 459 | 374 | 234 | 146 | 93 | 43 | 18,7 | 17,8 | 21,7 |
| 16+355 | 464 | 402 | 363 | 305 | 257 | 174 | 118 | 82 | 44 | 18,9 | 17,8 | 21,7 |
| 16+455 | 418 | 336 | 286 | 218 | 165 | 92 | 54 | 35 | 20 | 19,3 | 17,9 | 21,7 |
| 16+555 | 568 | 454 | 384 | 289 | 215 | 110 | 52 | 25 | 7 | 19,5 | 18,2 | 21,7 |
| 16+655 | 459 | 367 | 311 | 238 | 182 | 97 | 50 | 25 | 10 | 19,3 | 18,3 | 21,7 |
| 16+755 | 885 | 735 | 631 | 480 | 366 | 193 | 103 | 56 | 22 | 19,4 | 18,5 | 21,7 |
| 16+855 | 403 | 303 | 247 | 172 | 118 | 52 | 24 | 13 | 7 | 19,4 | 18,7 | 21,7 |
| 16+955 | 622 | 496 | 414 | 308 | 230 | 120 | 63 | 37 | 18 | 19,2 | 18,5 | 21,7 |
| 17+051 | 565 | 458 | 392 | 300 | 231 | 126 | 72 | 44 | 24 | 19,6 | 18,7 | 21,7 |
| 17+150 | 618 | 504 | 434 | 337 | 265 | 152 | 90 | 57 | 29 | 19,9 | 19 | 21,7 |
| 17+250 | 758 | 571 | 465 | 333 | 237 | 117 | 59 | 33 | 15 | 19,7 | 19 | 21,7 |
| 17+350 | 565 | 451 | 383 | 290 | 218 | 115 | 59 | 33 | 12 | 19,2 | 18,8 | 21,7 |
| 17+449 | 540 | 425 | 358 | 265 | 196 | 97 | 48 | 26 | 12 | 19,4 | 18,8 | 21,7 |
| 17+550 | 444 | 343 | 285 | 210 | 156 | 86 | 52 | 37 | 24 | 18,8 | 18,7 | 21,7 |
| 17+650 | 622 | 510 | 439 | 337 | 259 | 139 | 75 | 43 | 18 | 18,3 | 18,8 | 21,7 |
| 17+748 | 471 | 359 | 298 | 218 | 159 | 78 | 40 | 23 | 11 | 19,0 | 19,1 | 21,7 |
| 17+851 | 710 | 563 | 473 | 355 | 265 | 137 | 67 | 30 | 6 | 19,5 | 19 | 21,7 |
| 17+950 | 522 | 385 | 312 | 220 | 157 | 77 | 42 | 25 | 13 | 20,0 | 19,2 | 21,7 |
| 18+050 | 332 | 250 | 205 | 146 | 107 | 54 | 33 | 24 | 15 | 20,8 | 19,2 | 21,7 |
| 18+149 | 419 | 319 | 264 | 193 | 142 | 73 | 41 | 28 | 18 | 21,3 | 19,3 | 21,7 |
| 18+248 | 527 | 392 | 317 | 230 | 168 | 83 | 39 | 20 | 8 | 22,1 | 19,4 | 21,7 |
| 18+348 | 574 | 471 | 405 | 315 | 244 | 133 | 69 | 36 | 13 | 22,2 | 19,3 | 21,7 |
| 18+450 | 522 | 401 | 331 | 240 | 177 | 93 | 54 | 36 | 21 | 22,0 | 19,2 | 21,7 |
| 18+550 | 759 | 576 | 471 | 343 | 252 | 137 | 83 | 56 | 33 | 22,0 | 19,2 | 21,7 |
| 18+649 | 638 | 532 | 469 | 378 | 306 | 189 | 114 | 68 | 26 | 21,5 | 18,8 | 21,7 |
| 18+749 | 373 | 289 | 242 | 179 | 132 | 66 | 34 | 20 | 10 | 21,6 | 18,7 | 21,7 |
| 18+850 | 636 | 487 | 401 | 288 | 207 | 100 | 49 | 24 | 9 | 21,4 | 18,5 | 21,7 |
| 18+950 | 740 | 559 | 458 | 323 | 231 | 107 | 53 | 30 | 15 | 21,5 | 18,4 | 21,7 |
| 19+036 | 677 | 541 | 458 | 345 | 260 | 136 | 71 | 39 | 15 | 21,5 | 18,4 | 21,7 |
| 19+137 | 603 | 484 | 411 | 313 | 242 | 138 | 85 | 58 | 33 | 21,4 | 18,7 | 21,7 |
| 19+238 | 713 | 566 | 479 | 362 | 276 | 157 | 95 | 64 | 39 | 21,6 | 18,7 | 21,7 |
| 19+338 | 387 | 282 | 228 | 158 | 107 | 46 | 20 | 9 | 5 | 21,2 | 18,7 | 21,7 |
| 19+438 | 389 | 321 | 281 | 224 | 181 | 113 | 75 | 52 | 32 | 21,2 | 18,5 | 21,7 |
| 19+538 | 326 | 259 | 219 | 166 | 125 | 65 | 34 | 18 | 7 | 21,2 | 18,6 | 21,7 |
| 19+638 | 280 | 219 | 184 | 136 | 100 | 48 | 21 | 9 | 3 | 21,1 | 18,4 | 21,7 |
| 19+738 | 520 | 425 | 363 | 278 | 210 | 112 | 57 | 31 | 11 | 21,0 | 18,4 | 21,7 |
| 19+838 | 495 | 383 | 316 | 228 | 162 | 77 | 38 | 19 | 8 | 21,1 | 18,5 | 21,7 |

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 19+938 | 356 | 280 | 236 | 174 | 130 | 63 | 32 | 16 | 6 | 21,1 | 18,3 | 21,7 |
| 20+044 | 349 | 261 | 213 | 147 | 98 | 37 | 15 | 8 | 5 | 20,8 | 18,1 | 21,7 |
| 20+144 | 422 | 327 | 277 | 209 | 161 | 93 | 57 | 37 | 21 | 20,8 | 17,9 | 21,7 |
| 20+244 | 386 | 294 | 239 | 168 | 119 | 56 | 31 | 20 | 11 | 20,8 | 17,9 | 21,7 |
| 20+343 | 341 | 256 | 211 | 152 | 113 | 64 | 40 | 29 | 19 | 20,7 | 17,9 | 21,7 |
| 20+444 | 413 | 340 | 298 | 236 | 190 | 118 | 77 | 55 | 32 | 20,7 | 18 | 21,7 |
| 20+544 | 289 | 216 | 176 | 123 | 84 | 32 | 10 | 2 | 1 | 20,7 | 18,2 | 21,7 |
| 20+644 | 317 | 236 | 192 | 137 | 97 | 51 | 31 | 20 | 10 | 20,4 | 18,1 | 21,7 |
| 20+743 | 416 | 338 | 290 | 224 | 176 | 107 | 71 | 50 | 30 | 20,3 | 17,9 | 21,7 |
| 20+844 | 376 | 289 | 238 | 173 | 125 | 62 | 32 | 18 | 8 | 20,3 | 17,9 | 21,7 |
| 20+944 | 436 | 346 | 294 | 227 | 177 | 105 | 67 | 47 | 27 | 20,1 | 18 | 21,7 |
| 21+035 | 514 | 412 | 351 | 266 | 205 | 120 | 79 | 57 | 35 | 20,1 | 18 | 21,7 |
| 21+135 | 427 | 348 | 299 | 234 | 185 | 113 | 73 | 51 | 32 | 20,1 | 18,1 | 21,7 |
| 21+235 | 434 | 341 | 284 | 210 | 156 | 81 | 43 | 25 | 10 | 20,2 | 18,1 | 21,7 |
| 21+336 | 345 | 254 | 199 | 133 | 87 | 34 | 14 | 8 | 5 | 20,5 | 18,3 | 21,7 |
| 21+435 | 350 | 255 | 203 | 138 | 94 | 40 | 19 | 11 | 5 | 20,6 | 18,5 | 21,7 |
| 21+535 | 392 | 294 | 240 | 171 | 122 | 61 | 31 | 17 | 7 | 20,4 | 18,4 | 21,7 |
| 21+635 | 432 | 349 | 302 | 238 | 190 | 122 | 84 | 61 | 36 | 19,8 | 18,1 | 21,7 |
| 21+734 | 303 | 233 | 196 | 148 | 115 | 71 | 48 | 35 | 21 | 19,5 | 17,9 | 21,7 |
| 21+835 | 299 | 234 | 195 | 146 | 107 | 55 | 30 | 17 | 7 | 19,6 | 17,8 | 21,7 |
| 21+935 | 403 | 331 | 288 | 228 | 185 | 122 | 83 | 61 | 36 | 20,2 | 18,1 | 21,7 |
| 22+029 | 309 | 250 | 216 | 170 | 135 | 84 | 55 | 39 | 22 | 20,4 | 18,3 | 21,7 |
| 22+129 | 252 | 183 | 149 | 107 | 78 | 42 | 26 | 18 | 10 | 20,5 | 18,4 | 21,7 |
| 22+230 | 438 | 349 | 295 | 221 | 165 | 85 | 43 | 22 | 7 | 20,5 | 18,6 | 21,7 |
| 22+330 | 277 | 207 | 169 | 121 | 88 | 42 | 22 | 13 | 8 | 20,5 | 18,5 | 21,7 |
| 22+429 | 333 | 252 | 206 | 145 | 102 | 46 | 21 | 12 | 6 | 20,7 | 18,5 | 21,7 |
| 22+529 | 438 | 351 | 296 | 227 | 175 | 103 | 65 | 43 | 23 | 20,5 | 18,3 | 21,7 |
| 22+629 | 412 | 319 | 265 | 192 | 139 | 66 | 30 | 15 | 6 | 20,5 | 18,2 | 21,7 |
| 22+727 | 302 | 219 | 175 | 119 | 82 | 36 | 19 | 12 | 7 | 20,7 | 18,4 | 21,7 |
| 22+830 | 332 | 256 | 215 | 161 | 124 | 76 | 54 | 43 | 29 | 20,6 | 18,4 | 21,7 |
| 22+929 | 467 | 363 | 308 | 233 | 178 | 100 | 60 | 39 | 20 | 20,5 | 18,3 | 21,7 |
| 23+029 | 299 | 224 | 183 | 128 | 91 | 40 | 19 | 9 | 2 | 20,7 | 18,4 | 21,7 |
| 23+129 | 414 | 330 | 281 | 213 | 162 | 89 | 49 | 29 | 11 | 20,3 | 18,1 | 21,7 |
| 23+229 | 317 | 247 | 208 | 155 | 117 | 63 | 34 | 20 | 8 | 20,2 | 18 | 21,7 |
| 23+330 | 408 | 325 | 276 | 211 | 162 | 88 | 48 | 27 | 10 | 19,8 | 17,8 | 21,7 |
| 23+428 | 376 | 302 | 257 | 198 | 155 | 91 | 57 | 37 | 18 | 19,9 | 17,9 | 21,7 |
| 23+529 | 375 | 295 | 250 | 189 | 143 | 79 | 45 | 27 | 14 | 19,8 | 17,9 | 21,7 |
| 23+629 | 212 | 158 | 129 | 94 | 71 | 41 | 27 | 20 | 12 | 19,5 | 17,5 | 21,7 |
| 23+729 | 310 | 250 | 215 | 168 | 133 | 80 | 52 | 37 | 22 | 19,4 | 17,2 | 21,7 |
| 23+830 | 388 | 291 | 241 | 178 | 132 | 67 | 36 | 22 | 9 | 19,2 | 17,2 | 21,7 |
| 23+929 | 400 | 326 | 281 | 218 | 171 | 101 | 64 | 45 | 26 | 19,1 | 17,1 | 21,7 |
| 24+023 | 443 | 343 | 288 | 217 | 165 | 96 | 59 | 39 | 18 | 19,2 | 17,4 | 21,7 |
| 24+123 | 367 | 286 | 241 | 183 | 141 | 78 | 44 | 26 | 10 | 19,4 | 17,8 | 21,7 |
| 24+223 | 419 | 338 | 287 | 217 | 162 | 82 | 40 | 18 | 4 | 18,7 | 17,4 | 21,7 |
| 24+323 | 435 | 361 | 316 | 250 | 199 | 126 | 81 | 55 | 31 | 19,0 | 17,4 | 21,7 |
| 24+423 | 304 | 243 | 206 | 155 | 119 | 63 | 35 | 20 | 7 | 18,4 | 17,4 | 21,7 |
| 24+523 | 426 | 342 | 294 | 227 | 178 | 107 | 67 | 46 | 26 | 18,7 | 16,9 | 21,7 |
| 24+622 | 389 | 309 | 261 | 195 | 143 | 71 | 35 | 17 | 7 | 18,5 | 16,7 | 21,7 |
| 24+723 | 264 | 204 | 169 | 124 | 91 | 47 | 26 | 17 | 10 | 18,2 | 16,6 | 21,7 |
| 24+824 | 383 | 309 | 266 | 205 | 159 | 94 | 58 | 40 | 22 | 18,2 | 16,7 | 21,7 |
| 24+923 | 286 | 220 | 183 | 134 | 96 | 45 | 22 | 11 | 5 | 18,3 | 16,9 | 21,7 |
| 25+015 | 416 | 343 | 300 | 239 | 189 | 113 | 70 | 46 | 25 | 18,3 | 16,9 | 21,7 |
| 25+114 | 454 | 361 | 307 | 235 | 177 | 95 | 49 | 27 | 10 | 17,9 | 16,9 | 21,7 |
| 25+214 | 364 | 279 | 232 | 173 | 130 | 71 | 43 | 29 | 15 | 17,9 | 17 | 21,7 |
| 25+316 | 366 | 290 | 250 | 195 | 152 | 90 | 54 | 34 | 15 | 18,4 | 17,2 | 21,7 |
| 25+415 | 324 | 250 | 208 | 153 | 115 | 65 | 41 | 30 | 19 | 18,7 | 17 | 21,7 |
| 25+515 | 441 | 347 | 291 | 214 | 157 | 79 | 41 | 23 | 10 | 18,7 | 16,8 | 21,7 |
| 25+615 | 447 | 351 | 294 | 217 | 157 | 76 | 36 | 17 | 4 | 18,7 | 16,7 | 21,7 |

| SENTIDO DECRESCENTE – VIA DA ESQUERDA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Pk do ensaio | Deflexões Normalizadas (10 ⁻¹ mm) | | | | | | | | | Temperatura (°C) | | |
| | D ₀ | D ₂₀ | D ₃₀ | D ₄₅ | D ₆₀ | D ₉₀ | D ₁₂₀ | D ₁₅₀ | D ₂₁₀ | Ar | Superfície do | Profundidade do |
| 25+715 | 440 | 351 | 297 | 225 | 170 | 94 | 55 | 34 | 17 | 18,5 | 16,9 | 21,7 |
| 25+816 | 451 | 362 | 306 | 229 | 168 | 82 | 39 | 18 | 4 | 18,5 | 16,8 | 21,7 |
| 25+915 | 450 | 355 | 302 | 231 | 180 | 109 | 73 | 53 | 33 | 18,7 | 16,8 | 21,7 |
| 26+006 | 327 | 254 | 213 | 156 | 113 | 53 | 25 | 12 | 6 | 18,5 | 16,9 | 21,7 |
| 26+106 | 443 | 365 | 320 | 251 | 199 | 115 | 67 | 41 | 17 | 18,4 | 16,9 | 21,7 |
| 26+206 | 473 | 390 | 339 | 267 | 212 | 126 | 79 | 52 | 28 | 18,7 | 17,4 | 21,7 |
| 26+306 | 441 | 335 | 275 | 198 | 140 | 66 | 31 | 16 | 6 | 18,6 | 17,4 | 21,7 |
| 26+406 | 457 | 344 | 292 | 227 | 177 | 104 | 65 | 46 | 27 | 18,0 | 17,3 | 21,7 |
| 26+506 | 586 | 472 | 402 | 302 | 225 | 111 | 51 | 23 | 6 | 17,7 | 17,2 | 21,7 |
| 26+606 | 510 | 418 | 357 | 271 | 202 | 103 | 51 | 29 | 12 | 17,9 | 17,2 | 21,7 |
| 26+706 | 493 | 397 | 337 | 255 | 192 | 99 | 52 | 29 | 12 | 18,0 | 16,9 | 21,7 |
| 26+807 | 626 | 515 | 445 | 348 | 271 | 159 | 95 | 60 | 29 | 18,3 | 16,7 | 21,7 |
| 26+906 | 325 | 256 | 216 | 164 | 122 | 63 | 32 | 19 | 9 | 18,0 | 16,6 | 21,7 |
| 27+000 | 716 | 591 | 512 | 401 | 314 | 182 | 108 | 67 | 32 | 17,9 | 16,8 | 21,7 |
| 27+100 | 438 | 343 | 286 | 208 | 147 | 64 | 23 | 6 | 1 | 17,3 | 16,7 | 21,7 |
| 27+200 | 591 | 498 | 437 | 347 | 275 | 162 | 96 | 60 | 28 | 17,2 | 16,5 | 21,7 |
| 27+301 | 565 | 479 | 422 | 339 | 269 | 156 | 90 | 53 | 23 | 17,2 | 16,3 | 21,7 |
| 27+400 | 578 | 498 | 446 | 367 | 303 | 195 | 126 | 82 | 40 | 17,7 | 16,8 | 21,7 |
| 27+500 | 397 | 323 | 278 | 215 | 164 | 86 | 41 | 18 | 4 | 17,5 | 16,9 | 21,7 |
| 27+600 | 584 | 460 | 392 | 302 | 236 | 146 | 95 | 68 | 38 | 17,7 | 16,8 | 21,7 |
| 27+700 | 440 | 341 | 281 | 201 | 140 | 59 | 21 | 6 | 0 | 17,5 | 16,9 | 21,7 |
| 27+801 | 435 | 343 | 292 | 225 | 176 | 107 | 71 | 51 | 32 | 17,6 | 16,9 | 21,7 |
| 27+900 | 450 | 369 | 322 | 254 | 200 | 116 | 67 | 40 | 18 | 18,3 | 16,9 | 21,7 |
| 28+000 | 367 | 283 | 236 | 176 | 132 | 70 | 39 | 23 | 11 | 18,5 | 17 | 21,7 |
| 28+100 | 428 | 344 | 296 | 231 | 182 | 110 | 71 | 50 | 29 | 18,3 | 17,2 | 21,7 |
| 28+200 | 337 | 256 | 208 | 144 | 96 | 36 | 12 | 4 | 2 | 18,3 | 17,4 | 21,7 |
| 28+300 | 376 | 299 | 253 | 187 | 139 | 69 | 34 | 16 | 5 | 18,1 | 17,4 | 21,7 |
| 28+400 | 427 | 364 | 329 | 277 | 237 | 166 | 122 | 93 | 59 | 18,2 | 17,3 | 21,7 |
| 28+550 | 592 | 474 | 401 | 299 | 218 | 108 | 50 | 26 | 10 | 14,1 | 12,2 | 20,1 |
| 28+651 | 398 | 332 | 290 | 232 | 182 | 106 | 59 | 33 | 11 | 14,0 | 12 | 20,1 |
| 28+750 | 319 | 255 | 219 | 168 | 128 | 67 | 32 | 16 | 6 | 14,1 | 12,3 | 20,1 |
| 28+850 | 557 | 457 | 396 | 314 | 249 | 154 | 98 | 66 | 34 | 14,6 | 12,7 | 20,1 |
| 28+951 | 354 | 286 | 243 | 183 | 137 | 69 | 35 | 19 | 9 | 15,5 | 13,2 | 20,1 |
| 29+056 | 435 | 368 | 327 | 267 | 217 | 138 | 86 | 57 | 30 | 16,0 | 13,7 | 20,1 |
| 29+156 | 238 | 171 | 134 | 88 | 55 | 18 | 5 | 2 | 2 | 16,2 | 13,6 | 20,1 |
| 29+256 | 511 | 382 | 313 | 229 | 167 | 82 | 38 | 20 | 9 | 16,7 | 14 | 20,1 |
| 29+356 | 461 | 375 | 321 | 252 | 198 | 113 | 66 | 42 | 22 | 16,6 | 14,3 | 20,1 |
| 29+456 | 381 | 310 | 266 | 206 | 158 | 88 | 51 | 32 | 17 | 16,7 | 14,5 | 20,1 |
| 29+556 | 184 | 153 | 138 | 118 | 102 | 71 | 48 | 32 | 13 | 17,1 | 14,4 | 20,1 |
| 29+657 | 564 | 495 | 447 | 375 | 311 | 202 | 130 | 84 | 40 | 17,1 | 14,5 | 20,1 |
| 29+756 | 349 | 289 | 252 | 200 | 157 | 92 | 53 | 31 | 14 | 17,0 | 14,5 | 20,1 |
| 29+856 | 312 | 269 | 248 | 219 | 191 | 140 | 101 | 75 | 41 | 17,3 | 14,5 | 20,1 |
| 29+958 | 474 | 386 | 330 | 252 | 192 | 104 | 58 | 34 | 19 | 17,3 | 15 | 20,1 |

ANEXO E – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PROSPECÇÃO

Tabela E.1 – Resultados dos ensaios de prospecção para o macadame betuminoso

| MACADAME BETUMINOSO | | | | | | |
|---------------------|--------|------------|-------|----------------|--------|---------|
| Amostra | Carote | Data | Km | Espessura (cm) | | |
| | | | | Esquerda | Centro | Direita |
| 3 | 10 | 06/08/2009 | 0+800 | 8,2 | | |
| | 11 | | 0+850 | 8,5 | | |
| | 12 | | 0+900 | 10,5 | | |
| | 13 | | 0+950 | 11,6 | | |
| | 14 | | 1+000 | 9,4 | | |
| | 15 | | 1+050 | 9,1 | | |
| | 16 | | 1+100 | 8 | | |
| | 17 | | 1+150 | | | 7,9 |
| | 18 | | 1+200 | 9,3 | | |
| | 19 | | 1+250 | | | 7,7 |
| | 20 | | 1+300 | 7,9 | | |
| 21 | 1+350 | | | 8,4 | | |
| 4 | 22 | 14/08/2009 | 1+500 | 8,4 | | |
| | 23 | | 1+650 | | 7,9 | |
| | 24 | | 1+750 | 10,5 | | |
| | 25 | | 1+850 | | | 10,1 |
| | 26 | | 2+000 | 9,5 | | |
| | 27 | | 2+150 | | | 8,4 |
| 5 | 28 | 14/08/2009 | 2+300 | 10,5 | | |
| | 29 | | 2+400 | | | 10,5 |
| | 30 | | 2+550 | 9,3 | | |
| | 31 | | 2+700 | | | 10,2 |
| | 32 | | 2+850 | 8 | | |
| | 33 | | 3+000 | | | 18 |
| 6 | 34 | 14/08/2009 | 3+150 | 11 | | |
| | 35 | | 3+250 | | | 17,2 |
| | 36 | | 3+350 | 8 | | |
| | 37 | | 3+450 | | | 8,5 |
| | 38 | | 3+550 | 12,5 | | |
| | 39 | | 3+650 | | | 14 |
| 7 | 40 | 14/08/2009 | 3+750 | 11 | | |
| | 41 | | 3+900 | | | 9,3 |
| | 42 | | 4+000 | 8,1 | | |
| 8 | 43 | 18/08/2009 | 4+350 | 8 | | |
| | 44 | | 4+450 | | | 18 |
| | 45 | | 4+550 | | 11 | |
| | 46 | | 4+650 | | | 7,3 |
| | 47 | | 4+750 | 10 | | |
| | 48 | | 4+900 | | 10 | |
| 9 | 49 | 18/08/2009 | 5+100 | | 13,5 | |
| | 50 | | 5+250 | 8,2 | | |
| | 51 | | 5+350 | | | 9,8 |
| | 52 | | 5+500 | | 8,9 | |
| | 53 | | 5+600 | 12 | | |
| 10 | 54 | 20/08/2009 | 5+800 | | 8 | |
| | 55 | | 5+950 | 21 | | |
| | 56 | | 6+100 | | 8,5 | |
| | 57 | | 6+200 | | | 12,5 |
| 11 | 58 | 21/08/2009 | 6+400 | 10 | | |
| | 59 | | 6+500 | | | 12 |
| | 60 | | 6+700 | | 11 | |
| | 61 | | 6+850 | | | 12 |
| | 62 | | 7+000 | 8,2 | | |
| | 63 | | 7+150 | | 9,2 | |

| MACADAME BETUMINOSO | | | | | | |
|---------------------|--------|------------|--------|----------------|--------|---------|
| Amostra | Carote | Data | Km | Espessura (cm) | | |
| | | | | Esquerda | Centro | Direita |
| 12 | 64 | 21/08/2009 | 7+300 | | 10 | |
| 13 | 65 | 24/08/2009 | 7+450 | | 8,7 | |
| | 66 | | 7+600 | | | 10 |
| | 67 | | 7+750 | | 8,9 | |
| | 68 | | 7+900 | 10,2 | | |
| 14 | 69 | 26/08/2009 | 8+050 | | 8,2 | |
| | 70 | | 8+200 | | | 11 |
| | 71 | | 8+350 | | 8,6 | |
| | 72 | | 8+500 | 17 | | |
| | 73 | | 8+600 | | 10,5 | |
| 15 | 74 | 26/08/2009 | 8+750 | | | 7,5 |
| | 75 | | 8+900 | | 8,5 | |
| 20 | 76 | 09/09/2009 | 9+050 | 8,5 | | |
| | 1 | | 9+350 | | | 14 |
| | 2 | | 9+450 | | 10 | |
| | 3 | | 9+600 | 15 | | |
| | 4 | | 9+700 | | 8,1 | |
| | 5 | | 9+850 | | | 8,2 |
| - | - | - | - | - | - | - |
| 76 | 205 | 15/07/2010 | 17+000 | | | 8,2 |
| | 206 | | 17+175 | | 8,4 | |
| | 207 | | 17+370 | 10,5 | | |
| 77 | 208 | 03/08/2010 | 17+540 | | | 8,5 |
| | 209 | | 17+710 | | 9,5 | |
| | 210 | | 17+900 | 9,7 | | |
| | 211 | | 18+070 | | | 8,9 |
| | 212 | | 18+250 | | 9,7 | |
| 78 | 213 | 03/08/2010 | 18+510 | 11,2 | | |
| | 214 | | 18+690 | | | 9,6 |
| 76 | 215 | 15/07/2010 | 18+825 | | 9,8 | |
| | 199 | | 25+120 | | | 9,4 |
| | 200 | | 25+240 | | 10,8 | |
| 79 | 201 | 12/08/2010 | 25+400 | 10,1 | | |
| | 216 | | 28+620 | | | 8,6 |
| | 217 | | 28+790 | | 10,6 | |
| | 218 | | 28+950 | 10,4 | | |
| | 219 | | 29+125 | | | 9,9 |
| | 220 | | 29+320 | | 10,4 | |
| 80 | 221 | 12/08/2010 | 29+500 | 9,8 | | |
| | 222 | | 29+679 | | | 9,6 |
| | 223 | | 29+860 | | 9,5 | |

Tabela E.2 – Resultados dos ensaios de prospecção para o betão betuminoso

| BETÃO BETUMINOSO | | | | | | |
|------------------|--------|------------|--------|----------------|--------|---------|
| Amostra | Carote | Data | Km | Espessura (cm) | | |
| | | | | Esquerda | Centro | Direita |
| 67 | 154 | 22/06/2010 | 11+800 | | | 6,5 |
| | 155 | | 11+800 | | 4,8 | |
| | 156 | | 11+800 | 4 | | |
| | 157 | | 11+800 | | | 5,9 |
| | 158 | | 11+800 | | 5,9 | |
| | 159 | | 11+900 | 5,2 | | |
| 68 | 160 | 22/06/2010 | 12+000 | | | 6,6 |
| | 161 | | 12+100 | | 4,5 | |

| BETÃO BETUMINOSO | | | | | | |
|------------------|--------|------------|--------|----------------|--------|---------|
| Amostra | Carote | Data | Km | Espessura (cm) | | |
| | | | | Esquerda | Centro | Direita |
| | 162 | | 12+200 | 5,2 | | |
| 69 | 163 | 26/06/2010 | 12+315 | | | 6,2 |
| | 164 | | 12+425 | | 4,9 | |
| | 165 | | 12+510 | 6,6 | | |
| | 166 | | 12+620 | | | 6,1 |
| | 167 | | 13+730 | | 4 | |
| | 168 | | 12+840 | 4,7 | | |
| 70 | 169 | 30/06/2010 | 12+915 | | | 4,7 |
| 61 | 124 | 14/06/2010 | 13+000 | | | 6,6 |
| | 125 | | 13+110 | | 6,9 | |
| | 126 | | 13+210 | 5,3 | | |
| | 127 | | 13+330 | | | 6,3 |
| | 128 | | 13+430 | | 7 | |
| | 129 | | 13+540 | 5,4 | | |
| 62 | 130 | 14/06/2010 | 13+650 | | | 6,6 |
| | 131 | | 13+780 | | 5,4 | |
| | 132 | | 13+900 | 4,6 | | |
| | 133 | | 14+000 | | | 5,2 |
| 60 | 123 | 14/06/2010 | 14+400 | | 5,3 | |
| | 122 | | 14+525 | | | 5,4 |
| | 121 | | 14+640 | | 4,7 | |
| | 120 | | 14+760 | 4,2 | | |
| 70 | 172 | 30/06/210 | 14+410 | | | 4,7 |
| | 171 | | 14+510 | 4,9 | | |
| | 170 | | 14+610 | | 4,8 | |
| 59 | 119 | 27/05/2009 | 14+880 | 5,1 | | |
| | 118 | | 14+940 | 5 | | |
| | 117 | | 15+000 | 4,5 | | |
| | 116 | | 15+065 | 4,8 | | |
| 63 | 134 | 14/06/2010 | 15+165 | | | 6,6 |
| 65 | 144 | 15/06/2010 | 15+265 | 4 | | |
| | 143 | | 15+370 | | 4,8 | |
| | 142 | | 15+475 | | | 6,5 |
| 64 | 141 | 14/06/2010 | 15+560 | | 6,9 | |
| | 140 | | 15+670 | | | 6,6 |
| 63 | 139 | 14/06/2010 | 15+770 | 6 | | |
| | 138 | | 15+850 | | 4,6 | |
| | 137 | | 15+950 | | | 7,4 |
| | 136 | | 16+050 | 5,2 | | |
| | 135 | | 16+150 | | 4,5 | |
| - | - | - | - | - | - | - |
| 81 | 224 | 19/08/2010 | 16+925 | | | 6,3 |
| | 225 | | 17+100 | | 4,9 | |
| | 226 | | 17+165 | 4,2 | | |
| | 227 | | 17+280 | | | 4,3 |
| | 228 | | 17+430 | | 5,3 | |
| | 229 | | 17+550 | 6,1 | | |
| 82 | 230 | 19/08/2010 | 17+705 | | | 3,9 |
| | 231 | | 17+825 | | 5,2 | |
| | 232 | | 17+965 | 4,6 | | |
| | 233 | | 18+110 | | | 4,8 |
| | 234 | | 18+240 | | | 8,3 |
| | 235 | | 18+400 | 4,9 | | |
| 83 | 236 | 19/08/2010 | 18+550 | 4,8 | | |
| | 237 | | 18+700 | | | 4,6 |
| | 238 | | 18+840 | 5,1 | | |
| | 239 | | 19+000 | | | 4,9 |
| | 240 | | 19+140 | 5,3 | | |

| BETÃO BETUMINOSO | | | | | | |
|------------------|--------|------------|--------|----------------|--------|---------|
| Amostra | Carote | Data | Km | Espessura (cm) | | |
| | | | | Esquerda | Centro | Direita |
| 75 | 241 | 27/07/2010 | 19+320 | | | 4,8 |
| | 202 | | 19+500 | | | 6,2 |
| | 203 | | 19+590 | | 5,5 | |
| | 204 | | 19+730 | 4 | | |
| 72 | 181 | 06/07/2010 | 21+650 | | | 6,9 |
| | 182 | | 21+770 | | 6,2 | |
| | 183 | | 21+900 | 6,6 | | |
| | 184 | | 22+035 | | | 7,1 |
| | 185 | | 22+160 | | 6,5 | |
| | 186 | | 22+265 | 5,7 | | |
| 73 | 187 | 06/07/2010 | 22+380 | | | 5,8 |
| | 188 | | 22+500 | | 5 | |
| | 189 | | 22+645 | 5,6 | | |
| | 190 | | 22+765 | | | 4,8 |
| 70 | 173 | 30/06/2010 | 22+870 | | 7,1 | |
| | 174 | | 22+990 | 5,2 | | |
| 71 | 175 | 30/06/2010 | 23+105 | | | 5,6 |
| | 176 | | 23+210 | | 4,9 | |
| | 177 | | 23+340 | 7,2 | | |
| | 178 | | 23+450 | | | 4,9 |
| | 179 | | 23+555 | | 4,8 | |
| | 180 | | 23+660 | 5 | | |
| 65 | 145 | 15/06/2010 | 24+450 | | | 5,9 |
| | 146 | | 24+550 | | 5,9 | |
| | 147 | | 24+650 | 5,2 | | |
| 73 | 191 | 06/07/2010 | 26+530 | | | 5,2 |
| | 192 | | 26+675 | 6,8 | | |
| 74 | 193 | 15/07/2010 | 26+800 | | | 5,4 |
| | 195 | | 27+050 | 5,1 | | |
| | 196 | | 27+185 | | | 4,9 |
| | 197 | | 27+300 | | 5,3 | |
| | 198 | | 27+425 | 4,8 | | |
| | 194 | | 29+925 | | 5,9 | |