

2014

Instituto Politécnico de Coimbra

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

Avaliação da Sensibilidade Associada a Parâmetros Incluídos em Estudos de Gestão da Conservação de Pavimentos

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL,
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO URBANA**

AUTOR | Óscar Ferreira dos Santos

**ORIENTADOR | Prof. Doutor Silvino Dias Capitão
Prof^a. Doutora Susana Catarina Neves Meneses**

Coimbra, dezembro 2014

**Avaliação da Sensibilidade Associada a
Parâmetros Incluídos em Estudos de Gestão da
Conservação de Pavimentos**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana

Autor

Óscar Ferreira dos Santos

Orientadores

Prof. Doutor Silvino Dias Capitão

Professor Coordenador do DEC-ISEC

Prof.^a Doutora Susana Catarina Neves Meneses

Professora Adjunta do DEC-ISEC

Coimbra, dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

A dissertação apresentada, além de ter a minha dedicação total, não seria possível sem a ajuda, apoio e colaboração de determinadas pessoas e/ou entidades às quais expresso os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, não poderia deixar de agradecer em especial ao Professor Doutor Silvino Dias Capitão, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), pela sua orientação científica dedicada, pelos conhecimentos e recomendações transmitidas, pela sua atenção, apoio e motivação dada, ao longo de todo o trabalho e ainda a sua inteira disponibilidade e dedicação.

Um agradecimento à Professora Doutora Susana Catarina Neves Meneses, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), pelo seu apoio, ajuda e pelos conhecimentos transmitidos através dos documentos fornecidos.

À Professora Alexandra Maria Galvão Ribeiro, Professora Coordenadora do Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), pela sua ajuda prestada com a utilização do Software ArcGis e a sua inteira disponibilidade para qualquer situação que fosse surgindo.

Agradeço de igual forma à empresa Metro-Mondego pelo fornecimento de dados relativos ao tráfego e à Câmara Municipal de Coimbra pelo fornecimento também de dados relativos à composição dos pavimentos rodoviários.

Aos meus colegas e amigos um agradecimento pelo apoio, companhia e simplesmente pela amizade prestada ao longo de todo o meu percurso, e ainda, um especial agradecimento ao Nuno Santos, que sem ele a inspeção visual das vias não teria sido possível.

Por último, e não menos importante, um especial agradecimento à minha família, em particular aos meus pais e namorada, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram de forma incondicional em toda a minha formação académica e pessoal.

Óscar Ferreira Santos

Coimbra, dezembro de 2014

RESUMO

Nas administrações rodoviárias as questões orçamentais sofreram alguma pressão nos últimos anos devido, essencialmente, à crise económica instalada em Portugal. Por causa disso, os recursos para a construção de novas estradas diminuiu substancialmente, levando a que as verbas disponíveis para a conservação e reabilitação de estradas já existentes tenham sido muito reduzidas.

Para que seja possível manter os pavimentos já existentes num estado que forneça conforto e segurança aos utilizadores, compatível com as disponibilidades orçamentais, é necessária a criação de Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP). Com este tipo de sistemas consegue monitorizar-se de forma mais adequada as redes rodoviárias, uma vez que pode determinar-se quais os trechos das redes a intervir em primeiro lugar, com recurso a Sistemas de Avaliação de Qualidade e Métodos de Apoio à Decisão. Atuando de maneira preventiva, impede-se que as degradações dos pavimentos avancem muito, reduzindo, assim, os custos totais associados à utilização das vias e às ações de conservação.

Nesta dissertação é apresentada uma metodologia simples de apoiar a resolução dos problemas relacionados com a gestão da conservação dos pavimentos das redes rodoviárias dos pequenos municípios, através da realização de uma inspeção visual dos pavimentos. O levantamento da informação permite determinar os índices de qualidade dos mesmos, através do método da AASTHO, e estimar, de forma aproximada, a evolução do estado dos pavimentos num horizonte até 10 anos. A utilização de uma metodologia simples de apoio à decisão, ajuda a decidir quando e de que forma intervir durante o período de análise, de forma a ser possível prever os custos de intervenção e a sua atribuição à rede ao longo do período de análise.

Aplicou-se a metodologia que se apresenta a um caso de estudo, referente a um itinerário com cerca de 11 km de extensão, da rede rodoviária da cidade de Coimbra, de modo a demonstrar a aplicabilidade prática da metodologia, mesmo quando se dispõe de poucos recursos. Para a previsão da evolução das patologias, utilizou-se o modelo determinístico da AASTHO, para o caso de trechos com tráfego de pesados significativo, e cadeias de Markov, um modelo probabilístico, para os trechos sem tráfego de pesados com significado. O caso prático possibilitou a realização de algumas análises de sensibilidade, considerando a variação de vários dos parâmetros envolvidos na avaliação da qualidade, na previsão do comportamento dos pavimentos, e na análise de custos.

Palavras-Chave

Sistemas de Gestão de Pavimentos, Índice de Qualidade, Método da AASTHO, Cadeias de Markov, Sistemas de Avaliação da Qualidade e Métodos de Apoio à Decisão.

ABSTRACT

Over the last years, budgetary issues have suffered some pressure within the road administrations as a consequence of the economic crisis occurred in Portugal. Therefore, the resources for the construction of new highways have substantially reduced, leading to a reduction of budgets available for maintenance and rehabilitation of existing roads.

In order to keep the existing pavements in good condition to provide comfort and safety to users, and compatible with the available budget, it is necessary creating Pavement Management Systems, PMS. With this type of systems one is able to better monitor the road network, since they allow to determine what network's segments will be firstly maintained by using a quality evaluation tool and a decision-aid tool. By doing this, the fast increasing of pavement's degradation can be prevented and, thus, reduce costs associated with the use of roads and maintenance operations.

This dissertation presents a simple methodology to support problem solving related with maintenance management of pavements in small municipalities' road networks, based on a visual survey of pavements. The acquisition of data allows us to determine the current condition of pavements and approximately estimate the evolution of pavements' condition during the analysis period of 10 years. The use of a simple methodology for decision support helps to decide the right time to carry out maintenance actions and what maintenance techniques to apply during the planning time-span. This allows us to predict maintenance costs as well as the allocation of budget to the network segments throughout the analysis period.

A case study concerning a route of about 11 km long belonging to the road network of Coimbra was used to apply the presented methodology, in order to demonstrate the practical feasibility of the methodology, even when specialized means are limited. For predicting the evolution of degradation during the period of analysis, two different techniques were applied. For segments in which traffic of heavy vehicles was significant, the deterministic model of AASTHO was applied. For the cases where traffic of heavy vehicles was not significant, a probabilistic model - Markov chains - was applied. The case study allowed us to carry out some sensitivity analysis, considering a range of variation for several parameters involved in the evaluating of pavements' condition as well as related with pavement behavior prediction and cost analysis.

KEYWORDS

Pavement Management Systems, Present Serviceability Index, AASHTO, Markov chains, Quality Evaluation System and Decision Support Methods.

| | |
|---------------|---|
| ÍNDICE | |
| 1 | INTRODUÇÃO 1 |
| 1.1 | ENQUADRAMENTO DO TEMA1 |
| 1.2 | OBJETIVOS E METODOLOGIA1 |
| 1.3 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO2 |
| 2 | SISTEMA DE GESTÃO DE PAVIMENTOS 5 |
| 2.1 | GENERALIDADES5 |
| 2.2 | PATOLOGIAS NOS PAVIMENTOS12 |
| 2.3 | OBSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS13 |
| 2.3.1 | <i>Técnicas de observação</i>13 |
| 2.3.2 | <i>Referenciação e identificação dos trechos</i>20 |
| 2.4 | BASE DE DADOS RODOVIÁRIA22 |
| 2.4.1 | <i>Considerações iniciais</i>22 |
| 2.4.2 | <i>Caracterização Funcional dos Diferentes Tipos de Vias</i>23 |
| 2.4.3 | <i>Cadastro dos pavimentos</i>26 |
| 2.4.4 | <i>Caracterização do tráfego</i>27 |
| 2.4.5 | <i>Caracterização das condições climáticas</i>27 |
| 2.5 | SÍNTESE28 |
| 3 | SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE E MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO 29 |
| 3.1 | SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE29 |
| 3.2 | DADOS DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PAVIMENTOS 30 |
| 3.3 | AVALIAÇÃO DA QUALIDADE31 |
| 3.3.1 | <i>Análise global</i>31 |
| 3.3.2 | <i>Análise paramétrica</i>32 |
| 3.3.3 | <i>Análise mista</i>32 |
| 3.4 | SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO32 |
| 3.5 | MODELOS DE PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS 33 |
| 3.6 | CUSTOS34 |
| 3.7 | SÍNTESE36 |
| 4 | CASO DE ESTUDO: PAVIMENTOS DA REDE RODOVIÁRIA DE COIMBRA 37 |
| 4.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS37 |
| 4.2 | BASE DE DADOS RODOVIÁRIA38 |
| 4.3 | A IMPORTÂNCIA DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NO CASO DE ESTUDO39 |
| 4.4 | SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE (SAQ)39 |
| 4.4.1 | <i>Dados para a avaliação da qualidade dos pavimentos</i>39 |
| 4.4.2 | <i>Aplicação do SAQ ao caso de estudo</i>43 |
| 4.5 | SISTEMA DE APOIO À DECISÃO47 |
| 4.5.1 | <i>Evolução do Índice de Qualidade (IQ) Efetuada pelo Método da AASHTO</i>47 |
| 4.5.2 | <i>Evolução do Índice de Qualidade Efetuada Através de Cadeias de Markov (Rayya et al., 2014)</i> . .51 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.5.3 | <i>Avaliação de Estratégias adotado em casos com tráfego</i> | 58 |
| 4.5.4 | <i>Análise de sensibilidade associada aos parâmetros adotados em casos com tráfego de pesados</i> 87 | |
| 4.5.5 | <i>Avaliação de Estratégias adotado em casos sem tráfego de pesados</i> | 80 |
| 4.5.6 | <i>Análise de Sensibilidade associada aos parâmetros adotados em casos sem tráfego de pesados</i> 87 | |
| 4.6 | CUSTOS ASSOCIADOS .. | 89 |
| 4.6.1 | <i>Considerações Iniciais</i> | 89 |
| 4.6.2 | <i>Análise de custos no estudo de caso</i> | 90 |
| 4.6.3 | <i>Análise de sensibilidade associada aos parâmetros adotados em custos</i> | 96 |
| 4.7 | PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO, RELATÓRIO ORÇAMENTAL E EVOLUÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS | 98 |
| 4.8 | SÍNTESE | 102 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS | 105 |
| 5.1 | SÍNTESE DO TRABALHO | 105 |
| 5.2 | PRINCIPAIS CONCLUSÕES | 107 |
| 5.3 | DESENVOLVIMENTOS FUTUROS..... | 108 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |
| | APÊNDICES | 113 |
| | APÊNDICE I. INSPEÇÃO DOS PAVIMENTOS | 114 |
| I.1 | CARACTERÍSTICAS | 114 |
| I.2 | RESULTADOS DA INSPEÇÃO VISUAL..... | 126 |
| I.3 | APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO..... | 127 |
| I.4 | RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA AASHTO..... | 129 |
| I.5 | APLICAÇÃO DE CADEIAS DE MARKOV.. | 135 |
| I.6 | RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE CADEIRAS DE MARKOV | 138 |
| | APÊNDICE II. PREVISÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS | 140 |
| II.1 | RESULTADOS GRÁFICOS DA APLICAÇÃO DA AASHTO | 140 |
| II.2 | RESULTADOS GRÁFICOS DA APLICAÇÃO DE CADEIAS DE MARKOV | 150 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 ESTRUTURA GERAL DE UM SGP [ADAPTADO DE (MENESES, 2006)] | 5 |
| FIGURA 2.2 EQUIPAMENTO VIZIROAD (IGM, 2010)..... | 14 |
| FIGURA 2.3 GERPHO (ESQ. ^a); PORMENOR DO EQUIPAMENTO FOTOGRÁFICO (DIR. ^a) [ADAPTADO DE (CAPITÃO, 2012)] | 15 |
| FIGURA 2.4 PERFILÓMETRO LASER [ADAPTADO DE (CAPITÃO, 2012)]..... | 16 |
| FIGURA 2.5 TRANSIÇÃO ENTRE INSPEÇÕES VISUAIS E MECÂNICAS ENTRE 2009 E 2012 [ADAPTADO DE (HORTA <i>ET AL.</i> , 2012)] | 16 |
| FIGURA 2.6 ANALISADOR DO PERFIL LONGITUDINAL (APL) (CAPITÃO, 2012) | 17 |
| FIGURA 2.7 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO PONTUAL DO ATRITO (SARDÃO, 2012) | 19 |
| FIGURA 2.8 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DO ATRITO LONGITUDINAL EM CONTÍNUO (SARDÃO, 2012)..... | 19 |
| FIGURA 2.9 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO TRANSVERSAL EM CONTÍNUO (CAPITÃO, 2012) | 19 |
| FIGURA 2.10. DIFERENTES TIPOS DE VIAS (SECO <i>ET AL.</i> , 2006)..... | 24 |
| FIGURA 4.1 EFEITO DA CONSERVAÇÃO PREVENTIVA AO LONGO DO TEMPO [ADAPTADO DE (CHENG <i>ET AL.</i> , 2011)]..... | 37 |
| FIGURA 4.2 FICHA DE OBSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS [ADAPTADO DE (MENESES, 2006)]..... | 40 |
| FIGURA 4.3 EXEMPLO DE CÁLCULO DO IRI (PICADO-SANTOS, 2011)..... | 43 |
| FIGURA 4.4 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO CIRCUITO SELECIONADO PARA ANÁLISE | 44 |
| FIGURA 4.5 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 0 | 46 |
| FIGURA 4.6 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 10 (SEM INTERVENÇÕES)..... | 47 |
| FIGURA 4.7 EXEMPLO DA EVOLUÇÃO DO IQ, NA CIRCULAR EXTERNA, NOS 10 ANOS (SEM INTERVENÇÕES)..... | 49 |
| FIGURA 4.8 VARIAÇÃO DO IQ CONSIDERANDO UMA TAXA DE CRECIMENTO ANUAL DO TRÁFEGO DE -0,5% | 50 |
| FIGURA 4.9 VARIAÇÃO DO IQ CONSIDERANDO UMA TAXA DE CRECIMENTO ANUAL DO TRÁFEGO DE 0% | 50 |
| FIGURA 4.10 VARIAÇÃO DO IQ CONSIDERANDO UMA TAXA DE CRECIMENTO ANUAL DO TRÁFEGO DE 0,5% | 51 |
| FIGURA 4.11 IQ DA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 51 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.12 EXEMPLO DA APLICAÇÃO DE MODELOS DE MARKOV USANDO O VETOR DE ESTADO INICIAL DO ANO 2014 E A MPT | 56 |
| FIGURA 4.13 MODELOS DE MARKOV COM VETOR INICIAL $X(0) = [0,04; 0,50; 0,38; 0,06; 0,02]$ E COM VALORES DE WAC E SEUS RESPETIVOS LIMITES..... | 57 |
| FIGURA 4.14 MODELOS DE MARKOV COM VETOR INICIAL $X(0) = [1; 0; 0; 0; 0]$ E COM VALORES DE WAC E SEUS RESPETIVOS LIMITES | 57 |
| FIGURA 4.15 ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS EM ESTUDO..... | 62 |
| FIGURA 4.16 EVOLUÇÃO PREVISÍVEL DO IQ PARA A RUA DO BRASIL PELA APLICAÇÃO DO MODELO DA AASHTO..... | 67 |
| FIGURA 4.17 EVOLUÇÃO DO IQ APÓS AS INTERVENÇÕES NO TRECHO I DA RUA DO BRASIL..... | 68 |
| FIGURA 4.18 EVOLUÇÃO DO IQ APÓS AS INTERVENÇÕES NO TRECHO II DA RUA DO BRASIL | 68 |
| FIGURA 4.19 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ LOGO APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 2 NO FINAL DO ANO 1..... | 69 |
| FIGURA 4.20 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 10, APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 2 NO FINAL DO ANO 1 | 70 |
| FIGURA 4.21 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ LOGO APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 3 NO FINAL DO ANO 1..... | 70 |
| FIGURA 4.22 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 10, APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 3 NO FINAL DO ANO 1 | 71 |
| FIGURA 4.23 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ LOGO APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 4 NO FINAL DO ANO 1..... | 71 |
| FIGURA 4.24 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 10, APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 4 NO FINAL DO ANO 1..... | 72 |
| FIGURA 4.25 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ LOGO APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 5 NO FINAL DO ANO 1..... | 72 |
| FIGURA 4.26 IMAGEM REPRESENTATIVA DO IQ NO ANO 10, APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 5 NO FINAL DO ANO 1 | 73 |
| FIGURA 4.27 PERCENTAGENS DA EXTENSÃO TOTAL DO CIRCUITO ESTUDADO COM DIFERENTES VALORES DE IQ NOS ANOS 0 E 10, SEM AÇÕES DE CONSERVAÇÃO | 74 |
| FIGURA 4.28 DISTRIBUIÇÃO DAS PERCENTAGENS DO COMPRIMENTO TOTAL DE VIAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE IQ NO ANO 1, CONSIDERANDO DIFERENTES TIPOS DE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO APLICADOS NO FINAL DO ANO 1 (2015)..... | 75 |
| FIGURA 4.29 DISTRIBUIÇÃO DAS PERCENTAGENS DO COMPRIMENTO TOTAL DE VIAS COM DIFERENTES NÍVEIS IQ NO ANO 10, EM FUNÇÃO DO TIPO DE AÇÃO DE CONSERVAÇÃO – RESULTADOS NO ANO 10 (2024)..... | 77 |
| FIGURA 4.30 IQ DETERMINADO PARA A RUA DO BRASIL (TC = 5%)..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 4.31 IQ DETERMINADO PARA A RUA DO BRASIL (A = 2) | 79 |
| FIGURA 4.32 IQ DETERMINADO PARA A RUA DO BRASIL (A = 4) | 80 |
| FIGURA 4.33 TESTE DE AJUSTE DA MPT FEITO PARA A RUA JOÃO DE DEUS RAMOS | 82 |
| FIGURA 4.34 TESTE DE AJUSTE DA MPT FEITO PARA A RUA DO BRASIL III..... | 83 |
| FIGURA 4.35 TESTE DE AJUSTE DA MPT FEITO PARA A CIRCULAR INTERNA | 83 |
| FIGURA 4.36 PERCENTAGEM DA EXTENSÃO DA REDE COM DIFERENTES IQ EM CADA ANO, NAS N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM, SEM REALIZAÇÃO AÇÕES DE CONSERVAÇÃO | 84 |
| FIGURA 4.37 IQ DA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM, APÓS INTERVENÇÃO QUE ELEVOU O IQ PARA O INTERVALO 5-4..... | 84 |
| FIGURA 4.38 PERCENTAGENS DA EXTENSÃO DA REDE COM DIFERENTES IQ APÓS ELEVAÇÃO DO IQ PARA O ESTADO DE MUITO BOM, NA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 85 |
| FIGURA 4.39 IQ DA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM, RECUPERANDO O ESTADO DO PAVIMENTO PARA UM IQ ENTRE 4-3 | 86 |
| FIGURA 4.40 PERCENTAGENS DA EXTENSÃO DA REDE COM DIFERENTES IQ APÓS ELEVAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO PARA BOM ESTADO, NA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM .. | 86 |
| FIGURA 4.41 IQ DA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM (INTERVENÇÃO DO TIPO 3)..... | 87 |
| FIGURA 4.42 PERCENTAGENS DE EXTENSÃO DA REDE COM DIFERENTES IQ APÓS INTERVENÇÃO DO TIPO 3 NA N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 87 |
| FIGURA 4.43 IQ DA N111-1/AVENIDA CIDADE AEMINIUM COM A MATRIZ DE MELBOURNE | 88 |
| FIGURA 4.44 IQ DA N111-1/AVENIDA CIDADE AEMINIUM COM A MPT AJUSTADA À CIDADE DE COIMBRA..... | 89 |
| FIGURA 4.45 CUSTOS ATUALIZADOS PARA O ANO 0 ASSOCIADOS AOS DIFERENTES TIPOS DE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO NA REDE..... | 94 |
| FIGURA 4.46 NÍVEIS DE IQ, DA RUA DR. AFONSO ROMÃO, AO LONGO DO PERÍODO DE ESTUDO PARA DIFERENTES TIPOS DE INTERVENÇÃO | 95 |
| FIGURA 4.47 CUSTOS DE CONSERVAÇÃO ATUALIZADOS PARA O ANO 0 ASSOCIADOS A CADA TIPO DE INTERVENÇÃO..... | 97 |
| FIGURA 4.48 NÍVEIS DE IQ PARA A C_EXTERNA DE COIMBRA COM DIFERENTES NMQ | 98 |
| FIGURA 4.49 CUSTOS DE CONSERVAÇÃO ATUALIZADOS PARA O ANO 0, ASSOCIADOS A CADA TIPO DE INTERVENÇÃO | 98 |
| FIGURA 5.1 ESTRUTURA GERAL DE UM SGP [ADAPTADO DE (MENESES, 2006)] | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS EM APÊNDICES

| | |
|--|-----|
| FIGURA II. 1 IQ RUA DO BRASIL SEM INTERVENÇÕES | 140 |
| FIGURA II. 2 IQ RUA DO BRASIL I (1.1) APÓS INTERVENÇÕES | 140 |
| FIGURA II. 3 IQ RUA DO BRASIL_2 (1.2) APÓS INTERVENÇÕES | 140 |
| FIGURA II. 4 IQ RUA MONSENHOR AUGUSTO NEVES PEREIRA SEM INTERVENÇÕES | 141 |
| FIGURA II. 5 IQ RUA JOÃO DE DEUS RAMOS SEM INTERVENÇÕES..... | 141 |
| FIGURA II. 6 IQ RUA JOÃO DE DEUS RAMOS (3.1) APÓS INTERVENÇÕES..... | 141 |
| FIGURA II. 7 IQ RUA CAROLINA MICHAELLIS SEM INTERVENÇÕES..... | 142 |
| FIGURA II. 8 IQ RUA CAROLINA MICHAELLIS (4.1) APÓS INTERVENÇÕES..... | 142 |
| FIGURA II. 9 IQ RUA SACADURA CABRAL SEM INTERVENÇÕES | 142 |
| FIGURA II. 10 IQ RUA SACADURA CABRAL (5.1) APÓS INTERVENÇÕES | 142 |
| FIGURA II. 11 IQ AVE. ANTÓNIO PORTUGAL SEM INTERVENÇÕES | 143 |
| FIGURA II. 12 IQ AVE. ANTÓNIO PORTUGAL I (S-N) (6.1.1) APÓS INTERVENÇÕES | 143 |
| FIGURA II. 13 IQ AVE. ANTÓNIO PORTUGAL II (N-S) (6.2.2) APÓS INTERVENÇÕES..... | 143 |
| FIGURA II. 14 IQ RUA AFRÂNIO PEIXOTO SEM INTERVENÇÕES | 144 |
| FIGURA II. 15 IQ RUA AFRÂNIO PEIXOTO (SN) (7.1.1) APÓS INTERVENÇÕES | 144 |
| FIGURA II. 16 IQ RUA AFRÂNIO PEIXOTO (NS) (7.2.1) APÓS INTERVENÇÕES | 144 |
| FIGURA II. 17 IQ RUA DR. AFONSO ROMÃO SEM INTERVENÇÕES | 145 |
| FIGURA II. 18 IQ RUA DR. AFONSO ROMÃO 1 (E-O) (8.1.1) APÓS INTERVENÇÕES | 145 |
| FIGURA II. 19 IQ RUA DR. AFONSO ROMÃO 3 (E-O) (8.1.3) APÓS INTERVENÇÕES | 145 |
| FIGURA II. 20 IQ RUA DR. AFONSO ROMÃO 1 (O-E) (8.2.1) APÓS INTERVENÇÕES | 145 |
| FIGURA II. 21 IQ RUA DR. AFONSO ROMÃO_3 (O-E) (8.2.3) APÓS INTERVENÇÕES..... | 146 |
| FIGURA II. 22 IQ CIRCULAR INTERNA SEM INTERVENÇÕES..... | 146 |
| FIGURA II. 23 IQ CIRCULAR EXTERNA SEM INTERVENÇÕES..... | 147 |
| FIGURA II. 24 IQ CIRCULAR EXTERNA 2 (10.2) APÓS INTERVENÇÕES | 147 |
| FIGURA II. 25 IQ RUA PADRÃO SEM INTERVENÇÕES..... | 147 |
| FIGURA II. 26 IQ RUA PADRÃO 1 (11.1) APÓS INTERVENÇÕES | 148 |
| FIGURA II. 27 IQ RUA PADRÃO 2 (11.2) APÓS INTERVENÇÕES | 148 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA II. 28 IQ AVE. EMÍDIO NAVARRO SEM INTERVENÇÕES | 148 |
| FIGURA II. 29 IQ AVE. EMÍDIO NAVARRO (14.1) APÓS INTERVENÇÕES | 148 |
| FIGURA II. 30 IQ AVE. DA LOUSÃ SEM INTERVENÇÕES | 149 |
| FIGURA II. 31 IQ AVE. DA LOUSÃ_2 (15.2) APÓS INTERVENÇÕES | 149 |
| FIGURA II. 32 IQ AVE. CÓNEGO URBANO DUARTE SEM INTERVENÇÕES | 149 |
| FIGURA II. 33 IQ AVE. CÓNEGO URBANO DUARTE (16.1) APÓS INTERVENÇÕES | 149 |
| FIGURA II. 34 IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM SEM INTERVENÇÕES | 150 |
| FIGURA II. 35 PERCENTAGENS DE IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM SEM INTERVENÇÕES | 150 |
| FIGURA II. 36 IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 5-4..... | 150 |
| FIGURA II. 37 PERCENTAGENS DE IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 5-4 | 150 |
| FIGURA II. 38 IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 4-3..... | 151 |
| FIGURA II. 39 PERCENTAGENS DE IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 4-3 | 151 |
| FIGURA II. 40 IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 3-2..... | 151 |
| FIGURA II. 41 PERCENTAGENS DE IQ PARA N111-1 / AVE. CIDADE AEMINIUM APÓS INTERVENÇÕES PARA ELEVAR O IQ PARA O INTERVALO 3-2 | 151 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 2.1 RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE PAVIMENTOS (ADAPTADO DE FERREIRA, 2001) | 6 |
| QUADRO 2.2 FAMÍLIAS E TIPOS DE DEGRADAÇÕES EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS [ADAPTADO DE (BRANCO <i>ET AL.</i> , 2008)] | 12 |
| QUADRO 2.3 FAMÍLIAS E TIPOS DE PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS [ADAPTADO DE (BRANCO <i>ET AL.</i> , 2008)] | 13 |
| QUADRO 2.4 FAMÍLIAS E TIPOS DE PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS [ADAPTADO DE (BRANCO <i>ET AL.</i> , 2008)] | 13 |
| QUADRO 2.5 CONJUNTOS DE DADOS CONSIDERADOS EM BASES DE DADOS RODOVIÁRIAS [ADAPTADO DE (SANTOS, 2002)] | 20 |
| QUADRO 2.6 GRUPO DE DADOS QUE CONSTITUEM A BASE DE DADOS RODOVIÁRIA (FERREIRA A., 2006) | 23 |
| QUADRO 2.8. CLASSES E ELEMENTOS RELATIVOS DE TRÁFEGO (JAE, 1995)..... | 27 |
| QUADRO 3.1 DADOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PAVIMENTOS ADOTADOS POR DIVERSOS SISTEMAS (SANTOS, 2002) | 30 |
| QUADRO 3.2 MODELOS DE PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS (FERREIRA, 2001) | 33 |
| QUADRO 3.3 SENSIBILIDADE DO TRÁFEGO [ADAPTADO DE (BRANCO, <i>ET AL.</i> , 2008) | 35 |
| QUADRO 3.4 EFEITO DOS CUSTOS DOS UTENTES [ADAPTADO DE (BRANCO, <i>ET AL.</i> , 2008)..... | 36 |
| QUADRO 4.1 CATÁLOGO DE PATOLOGIAS [ADAPTADO DE (PICADO-SANTOS, 2011)] | 42 |
| QUADRO 4.2 VALORES DE IRI (PICADO-SANTOS, 2011) | 43 |
| QUADRO 4.3 LIMITES DO IQ [ADAPTADO DE (PATERSON, 1987)]..... | 44 |
| QUADRO 4.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DO CIRCUITO DEFINIDO | 45 |
| QUADRO 4.5 MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO BASE [ADAPTADO DE (RAYYA <i>ET AL.</i> , 2014)]..... | 52 |
| QUADRO 4.6 MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO USADA NO EXEMPLO DE APLICAÇÃO (RAYYA <i>ET AL.</i> , 2014) | 54 |
| QUADRO 4.7 CADEIAS DE MARKOV PARA UMA REDE UTILIZANDO UM VETOR INICIAL PARA O ANO DE 2014..... | 55 |
| QUADRO 4.8 MODELOS DE MARKOV UTILIZANDO O VETOR DE ESTADO INICIAL, A MPT E A MÉDIA DO IQ QUE CARACTERIZA O ESTADO DE CONSERVAÇÃO (WAC)..... | 56 |

| | |
|---|----|
| QUADRO 4.9 PERCENTAGEM DO TRÁFEGO NA VIA MAIS SOLICITADA [ADAPTADO DE (JAE, 1995)] | 58 |
| QUADRO 4.10 VALORES DE TMD COM BASE EM VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA METRO MONDEGO E SMTUC | 59 |
| QUADRO 4.11 NÍVEIS DE INTERVENÇÃO E RESPECTIVOS CUSTOS (PICADO-SANTOS, 2013) | 59 |
| QUADRO 4.12 ESTRUTURA DAS INTERVENÇÕES E CUSTOS CORRESPONDENTES (PICADO-SANTOS, 2013)..... | 60 |
| QUADRO 4.13 COEFICIENTES ESTRUTURAIIS (MENESES, 2006) | 61 |
| QUADRO 4.14 VARIAÇÃO DO Δ SN COM OS DIVERSOS NÍVEIS DE INTERVENÇÃO (MENESES, 2006) | 61 |
| QUADRO 4.15 CORRESPONDÊNCIA DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO COM A RUA | 63 |
| QUADRO 4.16 VALORES E PARÂMETROS NECESSÁRIOS AO PREENCHIMENTO DA EQUAÇÃO DA AASHTO, PARA A RUA DO BRASIL..... | 65 |
| QUADRO 4.17 APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO PARA OS PRIMEIROS 5 ANOS DE PREVISÃO | 66 |
| QUADRO 4.18 APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO PARA OS ÚLTIMOS 5 ANOS DE PREVISÃO | 66 |
| QUADRO 4.19 TIPOS DE PATOLOGIAS & TIPOS DE INTERVENÇÃO | 68 |
| QUADRO 4.20 PERCENTAGENS DO COMPRIMENTO TOTAL DAS VIAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE IQ..... | 74 |
| QUADRO 4.21 DISTRIBUIÇÃO DAS PERCENTAGENS DO COMPRIMENTO TOTAL DE VIAS PELOS DIFERENTES NÍVEIS DE IQ (ANO 1)..... | 76 |
| QUADRO 4.22 DISTRIBUIÇÃO DAS PERCENTAGENS DO COMPRIMENTO TOTAL DE VIAS PELOS DIFERENTES NÍVEIS DE IQ (ANO 10)..... | 78 |
| QUADRO 4.23 TRECHOS E RESPECTIVOS NÍVEIS DE IQ | 81 |
| QUADRO 4.24 MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO USADA NO CASO EM ESTUDO | 81 |
| QUADRO 4.25 MATRIZ DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO USADA NO CASO EM ESTUDO AUSTRALIANO | 82 |
| QUADRO 4.26 MATRIZ DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO USADA EM MELBOURNE..... | 88 |
| QUADRO 4.27. VALORES DE TAXA DE DESCONTO SOCIAL [ADAPTADO DE (MENESES, 2013)] ... | 89 |
| QUADRO 4.28. RUAS A INTERVENCIONAR | 91 |
| QUADRO 4.29. ÁREAS TOTAIS DE PAVIMENTOS RECUPERADAS, EM CADA ANO, PELA APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO..... | 91 |
| QUADRO 4.30. CUSTOS ATUALIZADOS PARA O ANO 0 RELATIVOS A INTERVENÇÕES DO TIPO 2.. | 92 |
| QUADRO 4.31. CUSTOS ATUALIZADOS PARA O ANO 0 RELATIVOS A INTERVENÇÕES DO TIPO 3.. | 93 |

| | |
|--|-----|
| QUADRO 4.32. CUSTOS ATUALIZADOS PARA O ANO 0 RELATIVOS A INTERVENÇÕES DO TIPO 4 . | 93 |
| QUADRO 4.33. CUSTOS ATUALIZADOS PARA O ANO 0 RELATIVOS A INTERVENÇÕES DO TIPO 5 . | 94 |
| QUADRO 4.34. VALORES DOS CUSTOS DE CONSERVAÇÃO ASSOCIADOS A CADA TIPO DE INTERVENÇÃO | 94 |
| QUADRO 4.35. CUSTOS DAS VÁRIAS INTERVENÇÕES, ATUALIZADOS PARA O ANO ZERO, AO LONGO DO PERÍODO DE ESTUDO PARA A RUA DR. AFONSO ROMÃO | 95 |
| QUADRO 4.36. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO ASSOCIADOS AOS DIFERENTES TIPOS DE INTERVENÇÕES DE CONSERVAÇÃO, CONSIDERANDO DIFERENTES TAXAS DE DESCONTO ... | 96 |
| QUADRO 4.37. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO ASSOCIADOS A CADA TIPO DE INTERVENÇÃO COM DIFERENTES NMQ | 97 |
| QUADRO 4.38. PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO | 99 |
| QUADRO 4.39. RELATÓRIO ORÇAMENTAL PARA UMA TAXA DE DESCONTO DE 2,5 %, PARA UM NMQ = 2 | 100 |
| QUADRO 4.40. RELATÓRIO ORÇAMENTAL PARA UMA TAXA DE DESCONTO DE 2,5 %, PARA UM NMQ = 3 | 101 |
| QUADRO 4.41. RELATÓRIO DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS PARA UMA TAXA DE DESCONTO DE 2,5 % E UM NMQ = 2,0 | 102 |

ÍNDICE DE QUADROS EM APÊNDICE

| | |
|--|-----|
| QUADRO I. 1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PAVIMENTOS | 114 |
| QUADRO I. 2 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DE ESTADO (RODEIRAS, FENDILHAMENTO E PELADAS) | 115 |
| QUADRO I. 3 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DE ESTADO (COVAS E REPARAÇÕES)..... | 122 |
| QUADRO I. 4 DETERMINAÇÃO DO IRI E POR SUA VEZ DO IQ..... | 126 |
| QUADRO I. 5 APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO | 127 |
| QUADRO I. 6 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO – PREVISÃO PARA OS 5 PRIMEIROS ANOS | 129 |
| QUADRO I. 7 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA DA AASHTO – PREVISÃO PARA OS 5 ÚLTIMOS ANOS..... | 132 |
| QUADRO I. 8 FORMULAÇÃO DO VETOR INICIAL PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 135 |
| QUADRO I. 9 VETOR INICIAL PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 135 |
| QUADRO I. 10 FORMULAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 135 |
| QUADRO I. 11 FORMULAÇÃO DO QUADRO PARA UMA PREVISÃO DO IQ PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 135 |
| QUADRO I. 12 FORMULAÇÃO DO VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 5-4, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 136 |
| QUADRO I. 13 VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 5-4, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 136 |
| QUADRO I. 14 FORMULAÇÃO DO QUADRO PARA UMA PREVISÃO DO IQ, ELEVANDO PARA O NÍVEL 5-4, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 136 |
| QUADRO I. 15 FORMULAÇÃO DO VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 4-3, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 136 |
| QUADRO I. 16 VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 4-3, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 136 |
| QUADRO I. 17 FORMULAÇÃO DO QUADRO PARA UMA PREVISÃO DO IQ, ELEVANDO PARA O NÍVEL 4-3, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM..... | 137 |

| | |
|---|-----|
| QUADRO I. 18 FORMULAÇÃO DO VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 3-2, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 137 |
| QUADRO I. 19 VETOR INICIAL, ELEVANDO PARA O NÍVEL 3-2, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 137 |
| QUADRO I. 20 FORMULAÇÃO DO QUADRO PARA UMA PREVISÃO DO IQ, ELEVANDO PARA O NÍVEL 3-2, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 137 |
| QUADRO I. 21 PREVISÃO DO IQ (WAC) PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 138 |
| QUADRO I. 22 PREVISÃO DO IQ (WAC), ELEVANDO PARA O NÍVEL 5-4, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 138 |
| QUADRO I. 23 PREVISÃO DO IQ (WAC), ELEVANDO PARA O NÍVEL 4-3, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 138 |
| QUADRO I. 24 PREVISÃO DO IQ (WAC), ELEVANDO PARA O NÍVEL 3-2, PARA A N111-1 / AVENIDA CIDADE AEMINIUM | 139 |

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

ΔPSI_t – Diferença entre o valor do PSI no ano da construção ou da última reabilitação e o PSI no ano t

COV_t – Custos de operação dos veículos no ano t (€/km/veículo)

C_n^d – Coeficiente de drenagem da camada n

C_n^e – Coeficiente estrutural da camada n

C_{rehab} – Custo da última ação de reabilitação aplicada ao pavimento

H_{nt} – Espessura da camada n no ano t (mm)

M_r – Módulo de deformabilidade do solo de fundação

$N_{120_t}^{\text{Dim}}$ – Número acumulado de eixos padrão de 120 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação

$N_{80_t}^{\text{Dim}}$ – Número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação

PSI_{T+1} – Valor do PSI do pavimento no ano T+1

$\text{PSI}_{\text{rehab}}$ – Valor do PSI posterior à aplicação da última ação de reabilitação aplicada ao pavimento

PSI_t – Índice de Qualidade do pavimento (Present Serviceability Index) no ano t

SN_t – Número Estrutural do pavimento no t

S_0 – Erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos

V_{T+1} – Valor residual do pavimento no ano T+1

Y_t – Idade do pavimento desde a construção ou da última reabilitação (anos).

Z_R – Desvio padrão

V_{t+1} – Valor residual do pavimento no ano $t+1$.

ΔIQ – Variação do Índice de Qualidade

ΔSN – Variação do número estrutural

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

- APL** – Analisador de Perfil Longitudinal
- BD** – Betão betuminoso em camada de desgaste
- BDR** – Base de Dados Rodoviária
- BG** – Base Granular
- C** – área com fendilhamento e pele de crocodilo ($m^2/100m^2$, em %)
- CA** – Custos dos Acidentes, em €/km/dia
- CAL** – Coeficiente de Atrito Longitudinal
- CAT** – Coeficiente de Atrito Transversal
- CE** – Caderno de Encargos
- COV** – Custos de Operação dos Veículos, em €/km/dia
- CPortagem** – Custo de Portagem, em €/km/dia
- CTP** – Custos do tempo de percurso, em €/km/dia
- CUE** – Custos para os utentes da estrada, em €/km/dia
- EP** – Estradas de Portugal, S.A.
- EUA** – Estados Unidos da América
- FCTUC** – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
- FWD** – Falling Weight Deflectometer (Defletómetro de Impacto)
- GERPHO** – Groupe d'Examen Routier par PHOtographie
- HDM** – Highway Development and Management
- IQ** – Índice de Qualidade (o mesmo que PSI)
- IRI** – International Roughness Index (irregularidade longitudinal do pavimento (mm/Km))
- ISEC** – Instituto Superior de Engenharia de Civil
- MACOPAV** – Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional
- MB** – Macadame Betuminoso em camada de base
- MPT** – Matriz Probabilidade de transição
- P** – área com reparações ($m^2/100m^2$, em %)
- PSI** – Present Serviceability Index
- R** – profundidade média das rodeiras (mm)

S – área com degradação superficial de materiais como o conjunto das “deteriorações superficiais” e as covas ($m^2/100m^2$, em %)

SAD – Sistemas de Apoio à Decisão

SAQ – Sistemas de Avaliação da Qualidade

SCRIM – Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine

SGP – Sistemas de Gestão de Pavimentos

SIGPAV – Sistemas de Informação Geográfica aplicado na gestão da conservação da rede rodoviária municipal

SMTUC – Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra

tc – Taxa média de crescimento anual do tráfego pesado (t)

TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados

α – Coeficiente de agressividade, fator de equivalência de danos entre veículo pesado e eixo-padrão

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O estado das vias de comunicação, em particular, dos pavimentos rodoviários, tem uma importância extrema para o desenvolvimento económico de qualquer país. Por isso, é necessário que estas se mantenham num bom estado de conservação, aumentando assim a sua vida útil, a segurança dos utilizadores e diminuindo os custos associados.

É através das infraestruturas de transporte que um país se “movimenta”. É através delas que se torna possível a circulação de mercadorias e de pessoas.

Nos últimos vinte anos, com o grande crescimento do tráfego que circula nas estradas, foi necessário que as entidades gestoras criassem novas vias e mantivessem as características dos pavimentos existentes num estado que fornecesse conforto e segurança aos utilizadores. Para isto, a criação de Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) é a melhor forma de conseguir monitorizar o estado das redes rodoviárias, de modo a determinar quais os trechos das redes a intervir de forma prioritária. Em geral, a ativação das ações de conservação está relacionada com a ocorrência de Índices de Qualidade baixos, determinados através de Sistemas de Avaliação de Qualidade. Os SGP contribuem também para determinar os custos de conservação incorridos pela entidade gestora, de modo a manter a rede acima de um determinado nível de qualidade previamente definido por si, possibilitando, ainda, averiguar quando serão necessárias as atuações nos pavimentos. A previsão da evolução das patologias num certo período de análise faz-se através de modelos de previsão de comportamento, tomando as melhores decisões de acordo com os orçamentos disponíveis.

As aplicações de sistemas deste tipo são, em geral, concretizadas com base em modelos matemáticos para efetuar as previsões dos comportamentos futuros dos pavimentos, a partir do estado atual deles, dos fatores de degradação e dos efeitos das ações de conservação (Ferreira, s.d.). Estes modelos de previsão podem ser de dois tipos, os probabilísticos e os determinísticos. Ambos incluem parâmetros com alguma subjetividade, o que pode levar a conclusões diferentes em função das decisões tomadas no processo.

1.2 Objetivos e Metodologia

Esta dissertação tem como objetivos estabelecer metodologias simples para a gestão da conservação de pavimentos, recorrendo a métodos recolhidos na bibliografia. Além disso, tem como propósito utilizar um estudo de caso para fazer uma análise de sensibilidade dos

resultados quando se variam alguns parâmetros utilizados na análise, de modo a verificar se há variações sensíveis nas conclusões a que se chega.

Depois de feita a escolha dos métodos a aplicar, a metodologia utilizada baseou-se na utilização de um trecho da rede rodoviária da cidade de Coimbra, com cerca de 11 km, o qual foi utilizado para fazer uma inspeção visual dos pavimentos, sem recurso a meios mecânicos. Utilizou-se apenas uma ficha de inspeção em papel e equipamentos complementares de medição, tais como uma régua e uma fita métrica. A observação efetuada serviu de base à determinação do Índice de Qualidade (IQ), o qual foi utilizado para medir a qualidade dos pavimentos do trecho estudado.

O subsistema de avaliação da qualidade utilizado é uma versão adaptada do que é usado no Estado do Nevada, nos Estados Unidos da América, anteriormente aplicado à cidade de Lisboa em 1999 (Picado-Santos *et al.*, 2004). A adaptação consistiu na modificação de coeficientes de modo a que o sistema pudesse ser aplicado à rede nacional. Para determinar a evolução dos IQ ao longo dos anos foram usadas duas metodologias diferentes. O método da AASTHO, um método determinístico, que tem em conta o tráfego de pesados, e que foi aplicado em zonas onde este tipo de tráfego era considerável, e o método baseado em cadeias de Markov, um método probabilístico, usado em zonas onde o tráfego de pesados era pouco significativo. Por último, a metodologia utilizada no cálculo dos custos de conservação foi baseada num nível mínimo de qualidade (NMQ), com uma taxa de desconto igual a 2,5% para ter em conta o valor do dinheiro no tempo.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação desenvolve-se ao longo de cinco capítulos, incluindo este primeiro capítulo, no qual se enquadra o tema, se definem os objetivos e a metodologia, e se descreve a organização do trabalho.

No Capítulo 2 são apresentados diversos Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) utilizados em todo o mundo, faz-se um resenha das patologias de pavimentos habitualmente consideradas nos Catálogos de Degradações, e são descritos os parâmetros que geralmente são usados na avaliação dos pavimentos. Faz-se ainda referência aos dados que em geral são considerados nos diversos SGP e a forma como é feita a referência e identificação dos trechos observados. Por fim, descreve-se o modo como se efetua a caracterização dos diferentes tipos de via, o cadastro dos pavimentos e, ainda, a caracterização do tráfego e das condições climáticas.

No Capítulo 3 apresentam-se o Sistema de Avaliação da Qualidade (SAQ) e os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) que são utilizados no caso de estudo. A abordagem que é feita inclui também uma descrição de Modelos de Previsão do Comportamento dos Pavimentos utilizados por todo o Mundo, sendo apresentados também os que se aplicaram nesta dissertação. Apresenta-se ainda o modo como são avaliados os Custos de Conservação no âmbito deste trabalho.

No Capítulo 4 apresenta-se a aplicação prática de um caso de estudo efetuado num trecho, com cerca de 11 km de extensão, da rede rodoviária da cidade de Coimbra. O estudo consistiu em fazer a inspeção do itinerário selecionado, efetuando o levantamento dos parâmetros de estado, empregar um Sistema de Avaliação da Qualidade e aplicar modelos de previsão de comportamento para um horizonte de dez anos, de modo a determinar os custos de conservação envolvidos para manter os trechos da rede acima do nível mínimo de qualidade estabelecido. Apresenta-se ainda a análise de sensibilidade associada a alguns parâmetros referentes aos trechos inspecionados e considerados no estudo.

No Capítulo 5 é apresentada uma síntese do trabalho elaborado e das principais conclusões, apontando-se algumas propostas de trabalhos futuros.

2 SISTEMA DE GESTÃO DE PAVIMENTOS

2.1 Generalidades

Um Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) pode adotar a forma apresentada na Figura 2.1, permitindo ao gestor da rede obter dados que permitam determinar estratégias de conservação mais económicas (Meneses, 2006), para manter sempre que possível, os pavimentos rodoviários em bom estado.

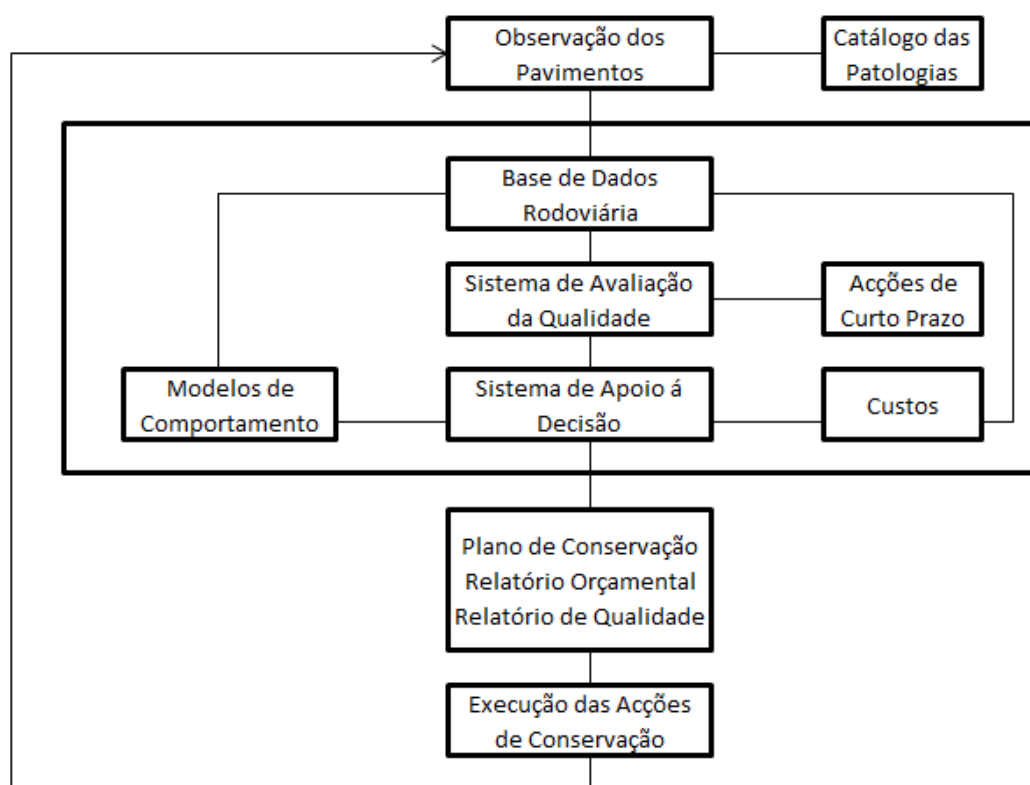


Figura 2.1 Estrutura geral de um SGP [adaptado de (Meneses, 2006)]

Um SGP pode dividir-se em três principais grupos: uma Base de Dados Rodoviária, BDR, local onde é armazenada toda a informação relativa aos trechos da rede; um Sistema de Avaliação da Qualidade, SAQ, através da análise e cálculo de vários parâmetros de estado que permitem determinar um índice global de qualidade; um Sistema de Apoio à Decisão, SAD. Os três subsistemas referidos permitem obter um programa de conservação, um relatório orçamental e um relatório da evolução previsível do estado dos pavimentos.

Um resumo das principais características de vários SGP é apresentado no Quadro 2.1, adaptado de (Ferreira, 2001).

Quadro 2.1 Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (adaptado de Ferreira, 2001)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|------------------------|-------------------------|---|---|--|--|---|---|
| HDM-4 Banco Mundial | Rede e projeto | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Condições de drenagem • Custos unitários • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Aderência • Textura • Drenagem | Modelos determinísticos, traduzindo-se em expressões resultantes de estudos feitos em vários países, com grande quantidade de dados. | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações são definidas pelo tipo e data de aplicação. | São escolhidas as estratégias, considerando os valores do VAL e da TIR, de modo a garantir um nível de qualidade mínimo dos pavimentos. |
| Estado do Arizona | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • História dos pavimentos • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fendilhamento • Irregularidade longitudinal | Modelo probabilístico, com modelação do estado dos pavimentos através das cadeias de <i>Markov</i> . | Considera apenas os custos de administração. | As ações são definidas pelo tipo e data de aplicação. Considera apenas seis ações de conservação. | Minimização dos custos de administração. Utiliza um modelo de programação linear. |
| Estado de Nevada | Rede nacional e projeto | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Aderência • Deflexão (só para a gestão a nível de projeto). | Modelos determinísticos para cada parâmetro de estado. | Considera apenas os custos de administração | As ações são definidas pelo tipo e data de aplicação. | Minimização dos custos de administração. Permite selecionar a melhor estratégia de conservação de entre algumas definidas <i>a priori</i> . |
| Estado de Washington | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • História dos pavimentos • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise global:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais: <ul style="list-style-type: none"> –deformações –pele de crocodilo –fendilhamento longitudinal –fendilhamento transversal | Modelos determinísticos. Curvas de evolução da qualidade dos pavimentos, obtidas por aplicação da regressão múltipla aos dados existentes. | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações são definidas pelo tipo, sequência e data de aplicação. | Consiste na escolha da estratégia que minimiza os custos de conservação, de modo a garantir um nível mínimo de qualidade. |

Quadro 2.1 – Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (cont.)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|
| Estado do Ontário e Canadá | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Classe funcional das vias • Condições climáticas • Obras de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência • Deflexão | Modelos determinísticos para os parâmetros <i>Reading Comfort Index</i> (RCI) e <i>Distress Manifestation Index</i> (DMI). | Considera apenas os custos de administração. | As ações de conservação são estabelecidas para cada secção da rede através de uma grelha de decisão. | É escolhido um conjunto de estratégias, que levam à menor relação Eficiência/Custo para um determinado orçamento anual. Permite ainda definir as ações de conservação por minimização dos custos ou maximização dos benefícios. |
| Estado do Ohio | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Orçamentos disponíveis • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Aderência | Modelos determinísticos | Considera apenas os custos de administração. | As ações são definidas pelo tipo e data de aplicação. | Minimização dos custos de administração. Permite selecionar a melhor estratégia de conservação de entre algumas definidas à priori. |
| EP Portugal (Ferreira e Picado-Santos, 2005; Picado-Santos et al., 2005) | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação | <p>Análise global:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Reparações • Rodeiras • Irregularidade longitudinal | Modelo determinístico | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações de conservação são definidas em função do valor do IQ | Minimização dos custos |

Quadro 2.1 – Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (cont.)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|------------------|-------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| BRISA Portugal | Rede de Autoestradas | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referência • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação • Etc. | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência • Textura • Deflexão | Modelos determinísticos de outros SGP que serão calibrados à medida que exista informação suficiente. | Considera os custos de administração. | As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado. | É escolhido um conjunto de estratégias, que levam à relação Benefício/Custo mais favorável. Considera também prioridades de intervenção e níveis mínimos de intervenção. |
| HAPMS Inglaterra | Rede nacional de autoestradas | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referência • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência • Textura • Deflexão | Modelos determinísticos para cada parâmetro. | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado. | Estabelecem-se prioridades de intervenção através de um indicador do benefício relativo às várias intervenções. |
| UKPMS Inglaterra | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referência • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Rodeiras • Deflexão (vida residual) | Modelos determinísticos. | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes (acidentes e atrasos devido aos trabalhos de conservação). | As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado (matriz de decisão). | Estabelecem-se prioridades de intervenção através de um indicador económico calculado para cada intervenção considerando os custos resultantes da sua imediata execução ou de uma execução posterior. |

Quadro 2.1 – Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (cont.)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|----------------|------------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| GiRR França | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação • Acidentes • Sinalização | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência • Deflexão | <p>Modelo probabilístico com probabilidades de transição de estado obtidas a partir de modelos determinísticos.</p> | <p>Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes.</p> | <p>As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado (matriz de decisão).</p> | <p>Estabelecem-se prioridades de intervenção através da combinação dos parâmetros de estado, de forma global (nota estrutural e funcional) ou de forma detalhada (valor dos vários parâmetros de estado).</p> |
| RoSy PMS | Rede nacional /regional /municipal | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência • Deflexão | <p>Modelos determinísticos para cada parâmetro.</p> | <p>Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes (custos de operação dos veículos em função do IR).</p> | <p>As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado.</p> | <p>São escolhidas as melhores estratégias considerando os Custos Totais, a preços correntes, durante o período de planeamento, a Taxa Interna de Rendibilidade ou a Relação Benefício/Custo.</p> |
| HIPS Finlândia | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Orçamentos disponíveis • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Rodeiras • Irregularidade longitudinal • Deflexão | <p>Modelo probabilístico, com modelação do estado dos pavimentos através das cadeias de <i>Markov</i>.</p> | <p>Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes.</p> | <p>As ações de conservação (agrupadas em oito grupos) são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado.</p> | <p>Define as ações de conservação por minimização dos custos totais (custos de administração e custos para os utentes).</p> |

Quadro 2.1 – Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (cont.)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|-----------------|--|--|--|---|--|---|---|
| Alemanha | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Classe funcional das vias • Condições climáticas • Obras de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Aderência | Em desenvolvimento. | Em desenvolvimento. | Em desenvolvimento. | Em desenvolvimento. |
| Suécia | Rede nacional Nível estratégico/ rede/ projeto | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Orçamentos disponíveis • Ações de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Irregularidade longitudinal • Rodeiras • Textura • Deflexão | Modelo probabilístico (nível estratégico) e modelos determinísticos para a irregularidade longitudinal e as rodeiras (nível da rede). | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado. | Define as ações de conservação por minimização dos custos totais (custos de administração e custos para os utentes). |
| HIMS Inglaterra | Rede regional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Condições climáticas • Custos unitários • Ações de conservação • Obras de conservação | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Estado das bermas • Irregularidade longitudinal • Deflexão | Modelos determinísticos. | São considerados os custos das várias ações de conservação. | As ações de conservação são definidas em função dos valores dos parâmetros de estado. | Estabelecem-se prioridades de intervenção em função do estado dos pavimentos e por comparação dos custos associados a cada intervenção. |

Quadro 2.1 – Resumo das principais características dos Sistemas de Gestão de Pavimentos (cont.)

| Sistema | Nível de gestão | Base de dados | Avaliação da qualidade | Previsão do comportamento | Custos | Ações de conservação | Programação |
|---------------------|------------------------------------|---|--|--|--|--|---|
| VEJMAN Dinamarca | Rede nacional | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Custos unitários • Ações de conservação • Restrições orçamentais • Planos de intervenção • Etc. | <p>Análise paramétrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Deflexão (quando as degradações indicam deficiente capacidade de suporte). | Modelos determinísticos. | Apenas considera os custos de administração. | As ações de conservação são definidas para cada secção da rede. | Estabelecem-se prioridades de intervenção em função do estado dos pavimentos e por comparação dos custos associados a cada intervenção. |
| ORAGE França | Rede nacional, municipal ou urbana | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Classe funcional das vias • Condições climáticas • Obras de conservação • Etc. | <p>Análise global:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Estado dos passeios e lancis • Deflexão | Faz a comparação, ano a ano, das notas médias e da distribuição das notas. | O sistema VUO4 não considera os custos. | O sistema VUO4 não considera ações de conservação. Estas serão definidas posteriormente. | O sistema VUO4 não considera a otimização. |
| SIGPAV Portugal | Rede municipal | <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da rede • Identificação e referenciação • História dos pavimentos • Avaliação da qualidade • Tráfego • Classe funcional das vias • Condições climáticas • Obras de conservação • Etc. | <p>Análise mista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degradações superficiais • Reparações • Rodeiras • Irregularidade longitudinal • ... | Modelo probabilístico, com modelação do estado dos pavimentos através das cadeias de <i>Markov</i> ou modelos determinísticos para cada parâmetro. | Considera os custos de administração e parte dos custos para os utentes. | As ações de conservação são definidas para cada secção da rede. | Define as ações de conservação por minimização dos custos ou maximização dos benefícios. |

2.2 Patologias nos Pavimentos

Antes de aplicar diretamente um SGP é necessário recolher dados relativos ao estados de conservação dos trechos da rede para inserir na respetiva bases de dados.

É necessário dispor dum catálogo de patologias com o objetivo de formar técnicos para a observação dos pavimentos e para reduzir a subjetividade nessa mesma observação do estado superficial, garantindo uma maior homogeneidade dos dados observados.

Os principais fatores ativos que conduzem ao aparecimento de degradações em pavimentos rodoviários são as ações do tráfego e as condições climáticas. A sucessiva repetição destas ações originam alterações às suas características iniciais, provocando degradações.

Há também fatores passivos que originam patologias no pavimento, tais como as espessuras insuficientes das camadas, material utilizado com características inadequadas e deficiente qualidade de construção.

Nos Quadros 2.2, 2.3 e 2.4 (Branco *et al*, 2008) sintetizam-se as famílias de patologias que podem considerar-se para os vários tipos de pavimentos, flexíveis, semirrígidos e rígidos.

Quadro 2.2 Famílias e tipos de degradações em pavimentos flexíveis [adaptado de (Branco *et al*, 2008)]

| Pavimentos flexíveis | | | |
|---|-------------------------|----------------|-------|
| Deformações | Abatimento | Longitudinal | Eixo |
| | | Transversal | Berma |
| | Ondulação | | |
| | Deformações localizadas | | |
| | Rodeiras | Grande raio | |
| Fendilhamento | Fendas | Pequeno Raio | |
| | | Fadiga | |
| | | Longitudinais | Eixo |
| | Pele de crocodilo | Transversais | Berma |
| | | Parabólicas | |
| | | Malha fina | |
| Desagregação da camada de desgaste | Desagregação | Malha larga | |
| | | Cabeça de gato | |
| | Pelada | | |
| | Ninhos (covas) | | |
| Movimento de materiais | Exsudação | | |
| | Subida de finos | | |

As degradações que mais contribuem para uma significativa descida na qualidade dos pavimentos são as deformações permanentes e o fendilhamento por fadiga (Minhoto, 2005).

Quadro 2.3 Famílias e tipos de patologias de pavimentos rígidos [adaptado de (Branco *et al*, 2008)]

| Pavimentos rígidos | |
|--------------------------|-------------------------|
| Fendilhamento das lajes | Fadiga |
| | Retração |
| | Fenómenos térmicos |
| Desagregação superficial | Desagregação das juntas |
| | Desagregação na laje |

Quadro 2.4 Famílias e tipos de patologias de pavimentos semirrígidos [adaptado de (Branco *et al*, 2008)]

| Pavimentos semirrígidos | |
|--|----------|
| Fendilhamento | Fadiga |
| | Retração |
| Perda de coesão da camada de betão pobre | |
| Degradação da interface | |

2.3 Observação de Pavimentos

2.3.1 Técnicas de observação

Através da observação de pavimentos é possível fazer uma análise dos parâmetros de estado, os quais servem para caracterizar o estado funcional e estrutural dos pavimentos.

Para a recolha dos valores dos parâmetros referidos, a metodologia de observação poderá ser de três tipos (Pereira, 1988): periódica, que incide na avaliação permanente dos pavimentos e no acompanhamento da sua evolução; patológica, na sequência da anterior, é utilizada para avaliações mais aprofundadas em zonas da rede que assim o requeiram; observação particular, que é apenas usada em casos particulares, como, por exemplo, no caso da utilização dos dados em trabalhos de investigação. Normalmente a frequência de observação adotada no âmbito dos sistemas de gestão para a auscultação periódica dos pavimentos é de 2 anos.

A avaliação da qualidade dos pavimentos procura ter em conta a relação entre o estado do pavimento, a capacidade estrutural do mesmo e o conforto dos utentes. Este processo de avaliação compreende duas fases fundamentais (Pereira *et al.*, 1999):

1. A observação ou auscultação de pavimentos;
2. O tratamento dos dados obtidos, com vista à produção de informação.

A observação dos pavimentos tem em vista alguns objetivos, tais como:

1. Verificar a conformidade das características de um pavimento com as especificações;
2. Permitir a programação de ações de conservação;
3. Verificar e aperfeiçoar os métodos de dimensionamento;
4. Fornecer dados para a melhoria das técnicas de construção e manutenção;
5. Fornecer dados para o estabelecimento de modelos de previsão do comportamento dos pavimentos.

Geralmente os parâmetros avaliados são usados para medir:

1. A capacidade estrutural;
2. O estado superficial;
3. A irregularidade longitudinal e transversal;
4. O atrito.

Capacidade estrutural

As técnicas usadas para a avaliação da capacidade estrutural mais divulgadas baseiam-se na aplicação de cargas estáticas ou quase estáticas, ou na aplicação de cargas dinâmicas. No primeiro grupo de técnicas podem referir-se o ensaio de carga com Viga Benkelman (ensaio pontual, de realização lenta) e o Defletógrafo Flash (medição “quase” em contínuo). A avaliação da capacidade estrutural com carga dinâmica faz-se habitualmente através de ensaios com Defletómetro de Impacto (FWD - *Falling Weight Deflectometer*).

Estado Superficial

O estado superficial é o mais preponderante na avaliação da qualidade dos pavimentos, pois permite identificar e classificar os vários tipos de degradações observáveis à superfície dos pavimentos e, assim, inferir sobre a qualidade geral do pavimento.

A identificação e respetiva classificação das degradações podem ser feitas de duas maneiras. Observação visual, com registo da observação do estado do pavimento e posterior tratamento, ou através de equipamento fotográfico ou de vídeo (Picado-Santos *et al.*, 2006).

A observação visual pode ser feita por um operador a pé, ou num veículo a baixa velocidade, com equipamento apropriado para o registo das degradações ao longo de toda a extensão do trecho. A informação obtida é inserida em formulários específicos, ou através de um equipamento, como é o caso do VIZIROAD que se mostra na Figura 2.2. Este equipamento dispõe de um computador com um Software apropriado para aquisição de informação, complementado por dois teclados, no qual cada tecla corresponde a um determinado tipo e gravidade de degradação, sendo ativada pelo observador ao longo do trajeto de levantamento, na posição ou no trecho em que se observa uma determinada patologia.



Figura 2.2 Equipamento VIZIROAD (IGM, 2010)

O problema destes métodos de observação relaciona-se com a subjetividade e heterogeneidade do levantamento das degradações, isto é, depende do operador que faz a análise. De forma a reduzir esses problemas e a aumentar o grau de fiabilidade da observação,

é necessário aferir as equipas de levantamento, recorrendo a trechos nos quais se possa fazer a formação das equipas com base num catálogo de degradações. Este procedimento permite obter valores mais homogéneos para inserir na base de dados, de modo a poder utilizá-los mais tarde no SAQ.

Recorrendo a equipamentos fotográficos ou de vídeo, como é o GERPHO (*Groupe d'Examen Routier par Photographie*) desenvolvido pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*), podem analisar-se em laboratório imagens registadas sem a necessidade da observação direta. Desta forma, dispõe-se de mais tempo para identificar corretamente o tipo de degradações presentes e a sua gravidade em cada trecho, proporcionando assim dados mais fiáveis para inserir na base de dados do SGP. Como se pode observar na Figura 2.3, este equipamento consiste num veículo equipado com uma câmara fotográfica de saída contínua, com bastante resolução, que se encontra montada na parte superior do veículo num suporte metálico, de forma a permitir fotografar o pavimento na posição vertical, a uma velocidade de 60 km/h (Pinto, 2003).



Figura 2.3 GERPHO (esq.^a); pormenor do equipamento fotográfico (dir.^a) [adaptado de (Capitão, 2012)]

Em 2010 as Estradas de Portugal (EP) adquiriram um dispositivo automático de inspeção de pavimentos rodoviários, um perfilómetro laser. Este sistema, instalado numa viatura, consiste numa viga de alumínio instalada na parte da frente equipada com 14 sensores lasers, como se pode ver na Figura 2.4. A existência destes lasers permite que se efetuem o levantamento do perfil da superfície do pavimento ao longo de alinhamentos paralelos ao sentido da deslocação do veículo.



Figura 2.4 Perfilómetro laser (esq.^a); pormenor do equipamento de registo (dir.^a) [adaptado de (Capitão, 2012)]

Este equipamento permite de forma rápida, eficiente e fiável, analisar e caracterizar a superfície do pavimento, a uma velocidade de até 90 km/h, o que apresenta uma grande vantagem para a EP, tendo em conta que contém uma extensão de 14 000 km de estradas a seu encargo (Horta *et al.*, 2012). Na Figura 2.5 verifica-se que a EP conseguiu estender o levantamento a toda a rede quando passou a dispor do equipamento, o que não acontecia até 2011.

| | 2009 | 2010 | 2011 | | 2012 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | Visual | Visual | Visual | Perfilómetro | Perfilómetro |
| Rede Classificada (≈10.000 km) | 5.000 km 50% | | 2.500 km 25% | 5.000 km 50% | 10.000 km 100% |
| | | 5.000 km 50% | | | |
| Rede Desclassificada (≈4.000 km) | 1.000 km 25% | | | 2.000 km 50% | 4.000 km 100% |
| | | 1.000 km 25% | 2.000 km 50% | | |
| Totais de inspeção | 6.000 km | 6.000 km | 4.500 km | 7.000 km | 14.000 km |
| | | | 11.500 km | | |

Figura 2.5 Transição entre inspeções visuais e mecânicas entre 2009 e 2012 [adaptado de (Horta *et al.*, 2012)]

Este equipamento é capaz de medir os diversos desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal, permitindo o cálculo de indicadores da irregularidade da superfície do pavimento, como o IRI – *International Roughness Index*, uma medida usada para avaliar a irregularidade longitudinal do pavimento.

Tal como já foi referido este equipamento permite determinar o perfil transversal da via percorrida e, com isto, o cálculo da profundidade das rodeiras. Para além destas degradações, o perfilómetro laser da EP permite ainda a obtenção da macrotextura superficial do pavimento e ainda de um conjunto de parâmetros geométricos da via, tais como a inclinação transversal e longitudinal (Horta, *et al.*, 2012).

Irregularidade longitudinal e transversal

A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros de estado avaliados e que caracteriza o perfil longitudinal de um pavimento. Esta pode ser analisada sob dois aspetos (Branco *et al.*, 2008):

1. Geométrico;
2. Efeitos físicos provocados pela irregularidade.

Entre o perfil construído na construção de pavimentos e o perfil de projeto existe sempre um desvio. Esse desvio representa a nomeada irregularidade geométrica da superfície do pavimento (Pereira & Miranda, 1999). Os efeitos físicos que são provocados pela irregularidade incluem os defeitos da superfície do pavimento que provocam vibrações nos veículos.

O IRI representa o valor acumulado do movimento da suspensão do veículo de ensaio quando sujeito às solicitações provocadas pelos defeitos do pavimento, dividido pela distância percorrida (m/km) e pode ser, tal como já foi referido, determinado com o perfilómetro laser.

Outro equipamento que permite a observação da irregularidade longitudinal é o APL, analisador do perfil longitudinal, desenvolvido pelo LCPC francês, representado na Figura 2.6.



Figura 2.6 Analisador do Perfil Longitudinal (APL) (Capitão, 2012)

Relativamente à observação da irregularidade transversal, os equipamentos de referência simples podem ser uma régua de 3 metros, em que é colocada manualmente sobre o pavimento. Os resultados dessa medição dependem da escolha do local e das condições de colocação da régua. Este processo apresenta um rendimento muito reduzido.

Atrito

A definição de atrito está associada à resistência ao movimento entre duas superfícies em contacto. No caso das estradas, o atrito é a força desenvolvida entre o pneu e a superfície do pavimento, sendo bastante importante porque contribui para a segurança de circulação dos veículos, influenciando os custos de circulação, o fator velocidade de circulação e o número de acidentes, particularmente em condições de superfície molhada (Fernandes, 2010; Branco *et al.*, 2008). É o atrito que possibilita ao veículo em circulação manter a trajetória desejada, reduzindo também a distância de travagem (Branco *et al.*, 2006).

Os dois parâmetros de avaliação do atrito são: o coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e o coeficiente de atrito transversal (CAT). O primeiro influencia sobretudo a distância de paragem, e o segundo avalia a segurança de circulação em curva ou nas mudanças bruscas de direção (Sardão, 2012). Ambos os parâmetros têm importância, mas é o coeficiente de atrito transversal que tem maior influência ao nível de acidentes e da velocidade de circulação (Fernandes, 2010).

Os fatores que podem influenciar o atrito são:

1. Textura do pavimento e velocidade de circulação;
2. Propriedades dos agregados;
3. Drenagem superficial;
4. Condições atmosféricas;
5. Tráfego;
6. Irregularidade superficial;
7. Outros fatores.

Os métodos de avaliação do atrito podem classificar-se em três grupos:

1. Medição pontual;
2. Medição do atrito longitudinal em contínuo;
3. Medição do atrito transversal em contínuo (CAT).

Na Figura 2.7 está representado o Pêndulo Britânico utilizado para a avaliação pontual do atrito. Foi desenvolvido pelo *United States National Bureau of Standards* e posteriormente aperfeiçoado pelo *British Road Research Laboratory* com o intuito de proceder a ensaios de resistência à derrapagem (Sardão, 2012).

O *Grip-Tester*, representado na Figura 2.8, é utilizado para medir o atrito longitudinal em contínuo. A roda de medição é parcialmente bloqueada com uma taxa de deslizamento constante igual a 15% face à rotação das restantes rodas do aparelho. No veículo que puxa o

equipamento existe um depósito para assegurar o fornecimento da água necessária para molhar a superfície do pavimento na zona de contacto com a roda de ensaio (Sardão, 2012).

O equipamento geralmente utilizado para avaliação do CAT é o *Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine* – SCRIM. Na medição deste coeficiente é utilizada uma velocidade constante e um equipamento munido de uma roda de ensaio oblíqua em relação ao sentido do deslocamento e com rotação livre (Sardão, 2012).



Figura 2.7 Equipamento de medição pontual do atrito (Sardão, 2012)



Figura 2.8 Equipamento de medição do atrito longitudinal em contínuo (Sardão, 2012)

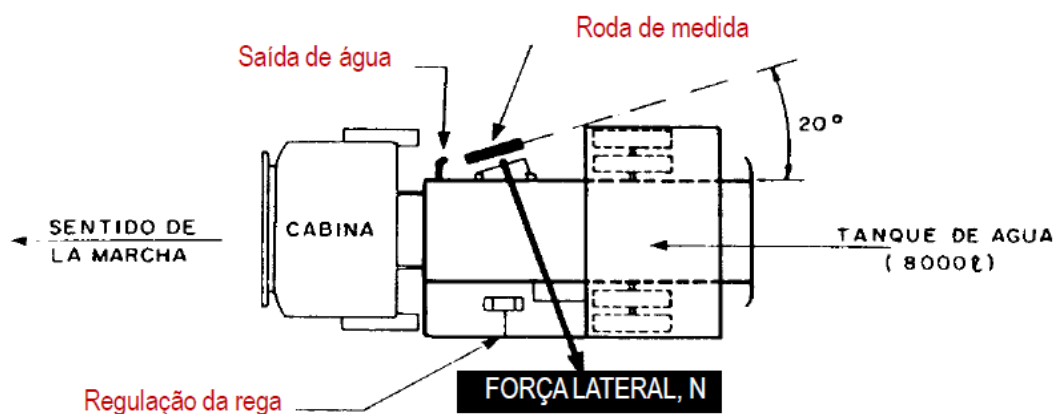


Figura 2.9 Equipamento de medição do coeficiente de atrito transversal em contínuo (Capitão, 2012)

2.3.2 Referenciação e identificação dos trechos

Para que os parâmetros de estado inseridos na base de dados, assim como toda a informação relativa a cada trecho da rede rodoviária, mantenham coerência ao longo do tempo é necessária uma identificação única de cada segmento da rede. Assim, sempre que necessário, é possível fazer corresponder a cada trecho os dados observados e a informação produzida.

Por um lado, deve estabelecer-se um sistema de referência e, por outro lado, deve utilizar-se um método de referenciação coerente. Num sistema de referência são utilizados procedimentos de modo a adquirir, armazenar e ter acesso ao registo e localização de pontos e trechos rodoviários. Os métodos de referenciação são técnicas utilizadas para identificar um ponto ou trecho de uma estrada (Meneses, 2006).

As alterações na rede ao longo do tempo não devem afetar significativamente o sistema de referência, que deve manter a sua precisão e a sua validade temporal. Sendo desejável que sempre que necessário o sistema de referenciação deva permitir suprimir trechos existentes, alterar características de trechos já existentes e ainda adicionar novos trechos. Deve ser um sistema de simples utilização.

No Quadro 2.5 são apresentados grupos de dados considerados em diversos sistemas de gestão de pavimentos.

Quadro 2.5 Conjuntos de dados considerados em bases de dados rodoviárias [adaptado de (Santos, 2002)]

| Sistema | Grupo de dados |
|---------------------------------------|---|
| Sistema PEMM (Dinamarca) | Geometria da rede; Identificação e referenciação; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Condições climáticas; Caracterização dos materiais; Dados de custos unitários; Ações de conservação. |
| Sistema HIPS (Finlândia) | Geometria da rede; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Condições climáticas; Dados de custos unitários; Orçamentos disponíveis; Ações de conservação. |
| Sistema HIMS (Reino Unido) | Geometria da rede; Identificação e referenciação; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Condições climáticas; Dados de custos unitários; Ações de conservação; Obras de conservação. |

Quadro 2.5 Conjuntos de dados considerados em bases de dados rodoviárias [adaptado de (Santos, 2002)] (cont.)

| Sistema | Grupo de dados |
|--|--|
| Sistema SIMS (San António - EUA) | Geometria da rede, incluindo as coordenadas das intersecções; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Dados de custos unitários; Ações de conservação; Obras; Outros. |
| WSPMS (Washington - EUA) | Geometria da rede; História dos pavimentos (construção e conservação) Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Ações de conservação. |
| Sistema VEJMAN (Dinamarca) | Geometria da rede; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Dados de custos unitários; Ações de conservação; Restrições orçamentais; Planos de intervenção. |
| Sistema ORAGE (França) | Geometria da rede; Identificação e referenciação; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Classificação funcional das vias; Condições climáticas; Obras de conservação; Outros. |
| Sistema EP (Portugal) | Geometria da rede; Identificação e referenciação; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Condições climáticas; Dados de custos unitários; Ações de conservação; Obras de conservação; Outros. |
| SIGPAV (Portugal) | Identificação e referenciação; História dos pavimentos (estrutura, geometria do perfil transversal, drenagem, condições climáticas); Dados de caracterização do tráfego; Classificação funcional das vias; Dados de custos de construção e conservação; Avaliação da qualidade; Dados complementares (acidentes, passagens para peões, outros); Ficheiros de saída. |

Quadro 2.5 Conjuntos de dados considerados em bases de dados rodoviárias [adaptado de (Santos, 2002)] (cont.)

| Sistema | Grupo de dados |
|---|---|
| HDM – 4 (Banco Mundial) | Geometria da rede; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Condições climáticas; Dados de custos unitários; Ações de conservação; Dados referentes a acidentes; Efeitos Ambientais; Produtividade; Recursos. |
| Sistema Genérico (Macedo, A.L., 1988) (Portugal) | Geometria da rede; Identificação e referência; Estrutura do pavimento; Avaliação da qualidade; Dados de caracterização do tráfego; Dados de custos unitários; Características de drenagem; Dados referentes a acidentes; Recursos (materiais, pessoal, equipamentos, instalações, etc.). |
| Sistema Genérico (Pereira, P., Miranda, V., 1999) (Portugal) | Geometria da rede (referência, geometria do perfil transversal, estrutura e fundação do pavimento, sistema de drenagem, condições climáticas); Avaliação da qualidade (capacidade de suporte, estado superficial, irregularidade doo perfil do pavimento, atrito transversal); Dados de caracterização do tráfego (TMDA, taxa de crescimento, % de veículos pesados, nº de veículos por classe de veículos, cargas por eixo); Dados de construção e conservação; Dados de custos. |

2.4 Base de Dados Rodoviária

2.4.1 Considerações iniciais

Uma Base de Dados Rodoviária é o suporte para um correto funcionamento de um sistema de gestão de pavimentos. Numa base de dados é possível armazenar, tratar, atualizar e disponibilizar informação sobre a rede rodoviária em meios práticos que possibilitam o acesso por parte de utilizadores com diversas perspetivas (Macedo, 1988).

De forma a organizar melhor a informação, a base de dados deve ser constituída principalmente pelos grupos de dados que se indicam no Quadro 2.6.

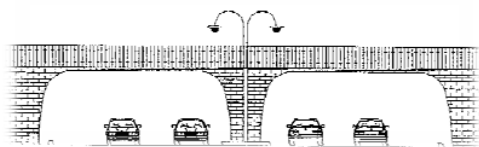
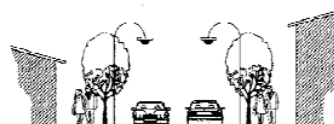
Sendo um dos objetivos dos sistemas de gestão a avaliação da qualidade dos pavimentos da rede, a base de dados deverá servir também para fornecer a informação necessária para efetuar a respetiva avaliação e, ainda, conter o resultado dessa avaliação e disponibilizá-lo para ser tido em conta no sistema de apoio à decisão.

Quadro 2.6 Grupo de dados que constituem a Base de Dados Rodoviária (Ferreira A. , 2006)

| Grupos de Dados | Dados |
|---|--|
| Identificação e referência | Localização de pontos de referência Localização dos trechos da rede |
| Classificação das vias | Classe funcional de cada trecho |
| História dos pavimentos | Caracterização da estrutura do pavimento e respetiva fundação Caracterização da geometria do perfil transversal Caracterização do sistema de drenagem |
| Caracterização do tráfego | Tráfego médio diário anual Tráfego médio diário anual de pesados Volume de tráfego de ligeiro na hora de ponta Volume de tráfego de pesados na hora de ponta Classe de tráfego |
| Caracterização das condições climáticas | Temperaturas Precipitações Coeficiente ambiental |
| Obras de construção e conservação | Identificação e localização das obras Identificação dos empreiteiros responsáveis pelas diversas obras Tipos de trabalhos realizados Quantidades utilizadas Custos unitários e globais |
| Ações de conservação | Descrição das ações de conservação Custos unitários |
| Avaliação da qualidade dos trechos rodoviários | Fendilhamento Pele de crocodilo Covas Peladas Reparações Rodeiras Irregularidade longitudinal Atrito transversal Deflexão Índice global de qualidade |
| Dados resultantes da aplicação do SGP | Avaliação da qualidade dos trechos rodoviários Programa de conservação da rede Pesquisas multicritério Histogramas Saídas cartográficas com possível associação de imagens reais Relatórios Estatísticas |

2.4.2 Caracterização Funcional dos Diferentes Tipos de Vias

As diferentes vias da rede podem ser classificadas em vias estruturantes e vias locais. Por sua vez, as vias estruturantes podem ser vias coletoras (ou arteriais) ou vias distribuidoras principais. As vias locais podem dividir-se em vias distribuidoras locais (ou secundárias) ou vias de acesso local (Figura 2.10).

Vias ArteriaisVelocidades $\geq 80\text{km/h}$ **Vias Distribuidoras Locais**Velocidades $\approx 30\text{-}40\text{km/h}$ **Vias Distribuidoras Principais**Velocidades $\approx 50\text{km/h}$ **Vias de Acesso Local**Velocidades $\approx 20\text{-}30\text{km/h}$ Figura 2.10. Diferentes Tipos de Vias (Seco *et al.*, 2006).**2.4.2.1 Vias Coletoras**

De entre as vias estruturantes, as vias coletoras, ou arteriais, representam a classe mais vocacionada para o serviço das deslocações de média e longa dimensão de ligação entre zonas urbanas. Este tipo de vias devem ser dimensionadas e geridas de modo a garantir elevados níveis de serviço para a circulação motorizada, sendo caracterizadas por adequados níveis de fluidez, rapidez e segurança dos fluxos motorizados em circulação.

Segundo (Seco *et al.*, 2006) este tipo de vias caracteriza-se por:

1. Estar dedicada à circulação de veículos motorizados
2. Ter soluções funcionais e geométricas que evitam problemas de congestionamento e que permitam a circulação a velocidades significativas, tendencialmente superiores a 80 km/h.
3. Ser proibido o estacionamento ao longo da via, embora, em casos pontuais possa ser necessário admitir estacionamento que deverá, sempre, ser do tipo longitudinal.
4. Não aceitar a existência de trajetos pedonais adjacentes (nas vias mais importantes), devendo este ser feito em atravessamentos desnivelados. Nas vias menos importantes poderá aceitar-se em casos pontuais alguns atravessamentos, ainda que limitados, e deverão ser sempre regulados por sinalização luminosa.
5. Cruzamentos desnivelados, impedindo desta forma a penalização das suas características de fluidez e rapidez dos fluxos principais de tráfego.

2.4.2.2 Vias Distribuidoras Principais

Esta classe de vias representa as que têm como função principal fazer a ligação das vias coletoras às redes locais ou, onde não se justifica a existência de vias coletoras, a ligação entre espaços de média importância.

Tal como nas vias coletoras, estas também devem adotar soluções geométricas que evitem problemas de congestionamento e que permitam a circulação a velocidades adequadas,

garantindo, assim, bons níveis de segurança e, pelo menos, razoáveis níveis de fluidez e rapidez dos fluxos motorizados.

Na generalidade dos casos, as velocidades adequadas são na ordem dos 50 km/h, isto porque normalmente os trajetos percorridos nestas vias não são muito extensos e geralmente atravessam zonas urbanas. Porém, poderão adotar-se velocidades superiores quando estas vias forem utilizadas para ligar zonas suburbanas não servidas por via coletoras.

Segundo (Seco *et al.*, 2006) este tipo de vias caracteriza-se por:

1. Não haver proibição da circulação de veículos motorizados.
2. Ser permitido o estacionamento, tendo apenas especial cuidado com o afastamento de cruzamentos de modo a proteger o desempenho destes e a garantir razoáveis condições de escoamento e segurança do tráfego ao longo das vias.
3. Ser permitida a travessia de peões através de pontos de atravessamento pedonal formais de nível, ainda que em número limitado. Estes atravessamentos deverão ser feitos através de passadeiras semaforizadas, ou quando estas acontecem junto a elementos de acalmia de tráfego, como são as rotundas, ou quando os fluxos de tráfego forem moderados, poderão ser usadas passadeiras simples.
4. Garantir, nos cruzamentos de nível, níveis necessários de capacidade rodoviária, bem como a segurança e conforto para os peões.
5. Existirem medidas de acalmia de tráfego, desde que não ponham em causa a fluidez do tráfego.

2.4.2.3 Vias Distribuidoras Locais

As vias distribuidoras locais correspondem a uma classe de vias que tem como objetivo garantir a ligação entre as vias estruturantes e as vias locais.

Estas vias estão geralmente associadas a velocidades moderadas limitadas entre 30 e 40 km/h, o que permite razoáveis níveis de fluidez e garante muito bons níveis de segurança aos peões.

Segundo (Seco *et al.*, 2006) este tipo de vias caracteriza-se por:

1. Uma circulação de tráfego motorizado e não motorizado perfeitamente normal.
2. Existir estacionamento, quer ao longo da via, quer na perpendicular e, ainda, sem problemas em relação à distância dos cruzamentos.
3. Existir um número mais acentuado de passadeiras, ainda que com alguma limitação.
4. Existirem mecanismos de acalmia de tráfego como a presença de lombas, permitindo assim uma maior segurança para os peões.

2.4.2.4 Vias de Acesso Local

Este tipo de vias dá prioridade aos peões, ou seja, são dimensionadas para condições mínimas de fluidez de tráfego através de velocidade muito moderadas, na ordem de 20 a 30 km/h, onde os problemas de capacidade das vias não se deverão colocar. Destinam-se apenas a servir o acesso direto aos espaços adjacentes e a movimentos pedonais. Assim, este tipo de vias visa preocupar-se em oferecer muito bons níveis de segurança e conforto aos peões.

Segundo (Seco *et al.*, 2006) este tipo de vias caracteriza-se por:

1. O acesso aos terrenos adjacentes ser livre.
2. O estacionamento, tal como nas vias distribuidoras locais, poder ser feito de várias formas, desde que não ponham em causa atividades lúdicas ou sociais importantes.
3. Não se justificar a existência de atravessamentos pedonais, uma vez que toda a rua será um espaço de partilha entre o automóvel e o peão, sempre com prioridade para o peão.

2.4.3 Cadastro dos pavimentos

É importante que na base de dados estejam também inseridos dados relativos à história dos pavimentos, essencialmente no que diz respeito a:

1. Caracterização da estrutura do pavimento e respetiva fundação;
2. Caracterização da geometria do perfil transversal;
3. Caracterização do sistema de drenagem.

Os dados relativos à caracterização da estrutura dos pavimentos e respetiva fundação deverão conter informação sobre a constituição do pavimento inicialmente construído e sobre as alterações que este sofreu ao longo do tempo devido às intervenções de conservação.

Os dados que deverão ser registados, tanto relativos à construção inicial como os associados às ações de conservação são:

1. Identificação do trecho;
2. Comprimento do trecho;
3. Ordem das camadas;
4. Espessura das camadas;
5. Tipo de material que constitui cada camada;
6. Data de construção/intervenção.

Os dados referentes à caracterização da geometria do perfil transversal devem conter informação relativa à(s) faixa(s) de rodagem, às bermas e aos passeios da rede rodoviária. Para isso considera-se importante registar:

1. Número de identificação do trecho;
2. Largura das bermas ou passeios;
3. Largura das faixas de rodagem;
4. Largura dos separadores, caso existam.

A caracterização do sistema de drenagem deve também ser incluída, designadamente os seguintes aspetos:

1. Drenagem superficial;
2. Drenagem subterrânea.

Quanto à drenagem superficial é importante registar informação relativa à inclinação transversal das faixas de rodagem, às inclinações transversais das bermas, à caracterização

dos taludes, juntamente com as valetas e ainda as características dos aquedutos. Já no que diz respeito à drenagem subterrânea os dados importantes a registar são a existência ou não de drenos e a sua constituição.

2.4.4 Caracterização do tráfego

Para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas é considerado o efeito do tráfego de veículos pesados.

Segundo o MACOPAV, para efeitos de dimensionamento de pavimentos, considera-se o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido de circulação, na via mais solicitada por esses veículos $(TMDA)_p$.

O período de dimensionamento é um certo número de anos para o qual um pavimento deve assegurar a circulação do tráfego em dadas condições, considerando-se as seguintes variáveis:

1. O tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura;
2. O período de dimensionamento;
3. A taxa média de crescimento anual de veículos pesados, no período de dimensionamento;
4. A distribuição do tráfego pelas vias existentes num dado sentido.

No Quadro 2.8 apresentam-se os elementos relativos às várias classes de tráfego, com indicação do número acumulado de eixos padrão de 80 kN e de 130 kN a considerar, respetivamente, no caso de pavimentos flexíveis ou semirrígidos.

Quadro 2.7. Classes e elementos relativos de tráfego (JAE, 1995)

| Classe | $(TMDA)_p$ | Taxa de crescimento médio (t) | Pavimentos flexíveis | | Pavimentos semirrígidos | |
|-----------|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | Fator de agressividade (α) | N_{80}^{dim} (20anos) | Fator de agressividade (α) | N_{130}^{dim} (20anos) |
| T7 | < 50 | | Estudo específico | | | |
| T6 | 50 - 150 | 3 | 2 | 2×10^6 | 0,5 | 5×10^5 |
| T5 | 150 - 300 | | 3 | 8×10^6 | 0,6 | 2×10^6 |
| T4 | 300 - 500 | 4 | 4 | 2×10^7 | 0,7 | 4×10^6 |
| T3 | 500 - 800 | | 4,5 | 4×10^7 | 0,8 | 7×10^6 |
| T2 | 800 - 1200 | 5 | 5 | 7×10^7 | 0,9 | 10^7 |
| T1 | 1200 - 2000 | | 5,5 | 10^8 | 1 | 2×10^7 |
| T0 | > 2000 | | Estudo específico | | | |

Assim, deverá registar-se na base de dados a classe de tráfego atribuída aos trechos da via, para que em eventuais intervenções seja possível aceder aos dados em que se baseou o dimensionamento do pavimento.

2.4.5 Caracterização das condições climáticas

Nos pavimentos rodoviários flexíveis, é basicamente a combinação de dois tipos de ações, temperatura e tráfego, que tem como efeito a perda de características essenciais ao cumprimento para que foram dimensionados (Branco, *et al.*, 2008).

Numa mistura betuminosa o seu módulo de deformabilidade é muito dependente da temperatura a que se encontra em serviço, daí se designar por temperatura de serviço.

Para efeitos de dimensionamento das camadas betuminosas, que são determinantes no comportamento de um pavimento flexível, a evolução desta temperatura deve ser conhecida. Para isso é então considerada uma temperatura de serviço equivalente anual, que será obtida em função da espessura do pavimento e de uma temperatura do ar equivalente anual, que não é mais do que a temperatura média mensal do ar para o mês representativo do ano.

2.5 Síntese

Ao longo deste capítulo, dedicado à apresentação dos Sistemas de Gestão de Pavimentos, descreveu-se a estrutura geral de um sistema deste tipo e expuseram-se as características dos diversos SGP usados internacionalmente.

Fez-se uma resenha sobre a classificação dos diversos tipos de patologias cuja observação é essencial no âmbito da observação de pavimentos. Além disso, descreveu-se o modo como o levantamento deve ser feito e referiu-se a importância da referenciação da informação sobre os trechos da rede.

Por último, apresentaram-se alguns princípios da organização de uma base de dados rodoviária a elaborar como suporte a um SGP.

3 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE E MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO

3.1 Sistemas de Avaliação de Qualidade

A avaliação do estado dos pavimentos é indispensável para que seja feita uma gestão eficaz de uma rede rodoviária de um determinado município. Essa avaliação permite obter as condições dos pavimentos à data do levantamento e estimar a evolução do estado de conservação no período de análise.

A entidade gestora da rede fica em condições de identificar os trechos da rede que apresentam um estado de deterioração abaixo do nível de qualidade que se pretende oferecer aos utentes.

A avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários inclui duas fases principais. Na primeira procede-se à observação dos pavimentos, registando os parâmetros que caracterizam o estado de conservação dos pavimentos. Na segunda recorre-se a uma metodologia de avaliação da qualidade global dos pavimentos. O objetivo desta fase é obter uma classificação que traduza a qualidade do pavimento no momento da medição dos parâmetros, podendo, desta forma, comparar-se o estado de conservação de pavimentos de trechos diferentes da rede.

A avaliação dos pavimentos pode ser feita tendo em conta dois tipos de características (Ferreira, s.d.):

1. A avaliação estrutural;
2. A avaliação funcional.

A avaliação estrutural tem como objetivo determinar o estado estrutural do pavimento, isto é, a sua capacidade de suporte, tendo em conta o tráfego e as condições climáticas. A avaliação funcional tem por base as exigências dos utentes, procurando-se classificar a qualidade do pavimento de acordo com o conforto e segurança oferecido pelo pavimento.

A nível municipal, os parâmetros mais utilizados são os que caracterizam as degradações superficiais dos pavimentos, o tráfego e, em alguns casos, a capacidade de suporte. Em geral, as degradações superficiais, a capacidade de suporte e, em parte, a irregularidade longitudinal são associados à avaliação estrutural do pavimento. Já o atrito transversal, a irregularidade longitudinal e, em certa medida, as degradações superficiais, estão associados à definição da avaliação funcional das vias.

3.2 Dados da Avaliação da Qualidade dos Pavimentos

As ações de conservação são decididas, tendo por base a análise da informação contida nos dados da avaliação da qualidade dos pavimentos e, eventualmente, outros dados relevantes existentes.

No Quadro 3.1 adaptado de (Santos, 2002) são apresentados os dados considerados nas bases de dados rodoviárias de diversos SGP e propostos por autores portugueses, para a realização da avaliação da qualidade dos pavimentos.

Quadro 3.1 Dados de avaliação da qualidade dos pavimentos adotados por diversos sistemas (Santos, 2002)

| Sistema | Dados de avaliação da qualidade dos pavimentos |
|---|--|
| Sistema PEMM (Dinamarca) | Degradações superficiais; Irregularidade longitudinal; Deflexão; Irregularidade longitudinal; Deflexão. |
| Sistema HIPS (Finlândia) | Fendilhamento; Rodeiras; Reparações. |
| Sistema HIMS (Reino Unido) | Degradações superficiais; Irregularidade longitudinal; Deflexão; Atrito transversal; Estado das bermas. |
| Sistema SIMS (San António - EUA) | Degradações superficiais (fendilhamento, pele de crocodilo, deformações, rodeiras, covas); Tráfego; Comportamento da base; Drenagem; Qualidade de circulação. |
| WSPMS (Washington - EUA) | Degradações superficiais (fendilhamento longitudinal, fendilhamento transversal, pele de crocodilo, deformações, reparações); Irregularidade longitudinal; Aderência transversal. |
| Sistema VEJMAN (Dinamarca) | Degradações superficiais; Deflexão (em casos pontuais, quando as degradações indicam deficiente capacidade de suporte). |
| Sistema ORAGE (França) | Degradações superficiais; Deflexão; Tráfego; Estado dos passeios; Estado das valetas e lancis. |
| Sistema EP (Portugal) | Tráfego; Geometria da rede; Identificação e referenciação; História dos pavimentos; Avaliação da qualidade; Condições climáticas; Custos unitários; Ações e obras de conservação. |
| SIGPAV (Portugal) | Degradações superficiais (fendilhamento, pele de crocodilo, deformações, rodeiras, reparações, deformações em cubos de granito); Deflexão; Tráfego. |

Quadro 3.1 Dados de avaliação da qualidade dos pavimentos adotados por diversos sistemas (Santos, 2002) (cont.)

| Sistema | Dados de avaliação da qualidade dos pavimentos |
|---|--|
| HDM - 4 (Banco Mundial) | Degradações superficiais (fendilhamento, rodeiras, covas); Irregularidade longitudinal; Tráfego; Condições climáticas. |
| Sistema Genérico (Macedo, A.L., 1988) (Portugal) | Capacidade estrutural; Comportamento funcional (irregularidade longitudinal, irregularidade transversal, fendilhamento, rodeiras); Degradações superficiais de ruína; Resistência à derrapagem. |
| Sistema Genérico (Pereira, P., Miranda, V., 1999) (Portugal) | Avaliação da capacidade de suporte dos pavimentos; Avaliação do estado superficial dos pavimentos; Avaliação da irregularidade do perfil dos pavimentos; Avaliação do atrito transversal. |

3.3 Avaliação da qualidade

A avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários pode fazer-se segundo três tipos diferentes de metodologias (Branco *et al.*, 2008):

1. Análise global;
2. Análise paramétrica;
3. Análise mista.

3.3.1 Análise global

Numa análise global, com a utilização dos parâmetros de estado, cada um com determinado peso, estes são agregados de modo a definir uma nota global representativa do estado dos pavimentos (Ferreira, s.d.).

Este tipo de avaliação de qualidade pode apresentar algumas vantagens e desvantagens, podendo apontar-se as seguintes vantagens (Ferreira, s.d.):

1. Facilita a classificação dos pavimentos através de uma única nota atribuída a cada trecho de pavimento;
2. Permite uma representação gráfica clara e eficiente do estado dos pavimentos da rede rodoviária, muito útil para os agentes de decisão;
3. Permite facilmente relacionar a qualidade dos pavimentos com o conforto e segurança (por exemplo, através do IQ) utilizado pela *American Association of States Highway Officials*;
4. Simplifica o desenvolvimento de modelos de previsão do comportamento dos pavimentos, embora se possa questionar a sua validade.

As desvantagens da análise global podem ser (Ferreira, s.d.):

1. A mesma nota global pode representar realidades totalmente diferentes, porque os parâmetros podem compensar-se entre si;
2. Não é fácil definir os coeficientes de ponderação a atribuir a cada parâmetro;
3. Nos métodos existentes, geralmente baseados em indicadores do estado superficial, o parâmetro irregularidade longitudinal é habitualmente preponderante em relação aos outros.

3.3.2 Análise paramétrica

Numa análise paramétrica, a avaliação consiste na definição de classes para cada um dos parâmetros medidos ou observados, em função das consequências previsíveis para os utentes ou para o pavimento.

Apesar de ser uma análise muito exaustiva e desagregada, permite o conhecimento das causas específicas que originaram cada estado do pavimento e ainda uma definição mais correta do tipo de intervenção a realizar nos pavimentos.

3.3.3 Análise mista

Neste tipo de análise combinam-se as diferentes classes dos diversos parâmetros de estado adotados, definindo-se um índice de qualidade para cada pavimento através da utilização de grelhas de dupla ou tripla entrada.

Tal como a análise paramétrica apresenta a desvantagem de ser muito exaustiva e desagregada. Porém, tenta eliminar os inconvenientes da análise global, ao mesmo tempo que tenta manter, tanto quanto possível, as vantagens da análise global e da análise paramétrica.

3.4 Sistemas de Apoio à Decisão

Através de modelos de otimização, é possível os Sistemas de Apoio à Decisão, SAD, contribuírem para a definição de um programa de conservação, um relatório orçamental e um relatório da evolução do estado dos pavimentos. Estes tipos de modelos, nas suas versões mais elaboradas, servem-se de modelos de previsão do comportamento e de minimização de custos.

Num programa de conservação deve incluir-se informação sobre os trechos rodoviários que devem ser sujeitos a ações de conservação, que tipo de ação de conservação deve ser aplicada a cada trecho e quando deve ser executada, garantindo, deste modo, que a rede rodoviária fique acima de determinados níveis mínimos de qualidade desejados em cada ano do período de planeamento.

Para a execução do programa de conservação a informação necessária sobre o orçamento anual deverá estar contida no relatório orçamental.

O relatório da evolução do estado dos pavimentos deve conter informação sobre o estado previsível dos pavimentos em cada ano de período de planeamento se for executado o programa de conservação.

Os diversos sistemas de apoio à decisão têm como objetivos a minimização dos custos, tendo em conta, por um lado, as restrições de qualidade dos pavimentos e, por outro lado, as restrições orçamentais, embora por vezes ambos as restrições sejam incompatíveis. Os SAD podem ainda procurar a maximização da qualidade dos pavimentos, sujeitos a diversas restrições como as restrições orçamentais.

3.5 Modelos de Previsão do Comportamento dos Pavimentos

Os modelos de previsão do comportamento dos pavimentos podem ser utilizados para efetuar uma previsão do comportamento futuro dos pavimentos. Para essa previsão, um modelo pode ter em conta o estado atual desses pavimentos, os fatores de degradação e os efeitos resultantes das ações de conservação.

Considerando os princípios associados aos modelos para a explicação dos fenómenos de degradação dos pavimentos, estes podem ser classificados como modelos probabilísticos ou determinísticos. Os modelos probabilísticos consideram as probabilidades de transição de um estado de conservação para outro. Os modelos determinísticos são modelos empíricos, mecanicistas e empírico-mecanicistas. Baseiam-se em expressões que servem de base à determinação de parâmetros de qualidade do pavimento em função do tráfego, ou do tempo, etc.

No Quadro 3.2 faz-se um resumo de modelos de previsão do comportamento dos pavimentos.

Quadro 3.2 Modelos de previsão do comportamento dos pavimentos (Ferreira, 2001)

| SGP ou Estudo | Nível | Modelo | Técnica |
|-----------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|
| HDM-4 Banco Mundial | Rede e Projeto | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo | Regressão |
| UKPMS Reino Unido | Rede Nacional | Determinístico | Regressão |
| BELMAN Dinamarca | Rede Nacional e Municipal | Determinístico | Regressão |
| WSPMS Washington EUA | Rede Estatal e Projeto | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo | Regressão |
| Suécia | Rede | Determinístico: relativo | Regressão |
| RoSyPMS | Rede Nacional e Municipal | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo | Regressão |
| NevadaPMS EUA | Rede Estatal | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo | Regressão |
| Estudo C-SHRP Canadá | Projeto | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo/absoluto | Regressão + Met. Bayesiana |
| SouthDakotaPMS EUA | Rede Estatal | Determinístico: Empírico-mecanicista relativo | Regressão + Met. Bayesiana |
| ArizonaPMS EUA | Rede Estatal | Probabilístico | Markov homogéneo |
| OklahomaPMS EUA | Rede Estatal | Probabilístico | Markov homogéneo |
| KansasPMS EUA | Rede Estatal | Probabilístico | Markov homogéneo |
| AlaskaPMS EUA | Rede Estatal | Probabilístico | Markov homogéneo |

Quadro 3.2 Modelos de previsão do comportamento dos pavimentos (Ferreira, 2001) (cont.)

| SGP ou Estudo | Nível | Modelo | Técnica |
|----------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------|
| MicroPAVER EUA | Rede Estatal | Probabilístico | Markov homogéneo |
| EP Portugal | Rede Nacional | Determinístico | Regressão |
| HIPS Finlândia | Rede Nacional | Probabilístico | Markov homogéneo |
| GiRR França | Rede Nacional | Probabilístico | Markov homogéneo |
| HPMS Hungria | Rede Nacional | Probabilístico | Markov homogéneo |
| SIGPAV Portugal | Rede Municipal | Probabilístico ou Determinístico | Markov homog. ou Regressão |
| Estudo Manitoba Canadá | Projeto | Probabilístico | Semi-Markov |
| Estudo Ontário Canadá | Rede Nacional | Probabilístico | Markov não homogéneo |
| Estudo Belgrado Jugoslávia | Rede Nacional | Probabilístico | Markov não homogéneo |

3.6 Custos

Na gestão da conservação de pavimentos, os custos associados têm duas grandes componentes principais: os custos da administração rodoviária e os custos dos utentes, englobando cada um determinado conjunto de componentes de custos a seguir definidos (Branco *et al.*, 2008).

Custos para a Administração Rodoviária

Os custos da administração rodoviária englobam todos os custos relativos a (Costa, 2008):

- Custos de Projeto;
- Custos de Construção;
- Custos de Conservação;
- Valor Residual;

Custos para o Utente da Estrada

Em relação aos custos para o utente, devem considerar-se o (Costa, 2008):

- Custo de Operações dos Veículos;
- Custo do Tempo de Percurso;
- Custo do tempo de percurso devido aos trabalhos de conservação
- Custo dos Acidentes;
- Custo do Desconforto.

Este conjunto de custos é de resolução mais difícil que o grupo dos custos para a administração rodoviária, estando todos, em graus diferentes, dependentes do estado do pavimento (Branco, *et al.*, 2008).

Em função da estratégia de conservação adotada pela entidade gestora, os custos totais e as suas componentes podem variar de forma significativa. De facto, a administração pode adotar

abordagens corretiva, corretiva-preventiva e corretiva-preventiva mas considerando os custos dos utentes. Isso influencia a evolução do estado de conservação do pavimento ao longo do tempo, bem como os custos envolvidos.

A abordagem corretiva é definida apenas pelo NMQ, ou seja, as ações de conservação são ativadas porque o pavimento atingiu um valor mínimo de qualidade previamente definido. A abordagem corretiva-preventiva tem como objetivo tentar minimizar os custos de conservação dos pavimentos. Desta forma, otimiza-se o desempenho da administração na conservação da rede. Por último, uma abordagem corretiva-preventiva, mas considerando também os custos de utentes e o valor residual dos pavimentos, minimiza os custos totais.

Para o cálculo dos custos, a AASTHO recomenda o método da análise a preços constantes, método mais usado pelos departamentos de transportes nos EUA. A análise a preços constantes consiste no cálculo dos custos e benefícios de estratégias alternativas em euros constantes, isto é, os euros que são necessários no momento da análise para obter bens e serviços numa data futura. Este método é utilizado no cálculo dos custos durante o período de planeamento, permitindo a comparação de investimentos realizados ao longo do tempo.

Numa análise da sensibilidade da avaliação económica aos fatores de custo, segundo (Branco, *et al.*, 2008), de um modo geral os fatores a considerar são:

- O Tráfego;
- O Período de Análise;
- O Custo de conservação;
- Os Custos do Utente;
- Taxa de atualização

Nos quadros 3.3 e 3.4 mostra-se o efeito do tráfego sobre o período ótimo para realizar trabalhos de conservação periódica e o efeito da consideração dos custos dos utentes nesse período, respetivamente.

Quadro 3.3 Sensibilidade do tráfego [adaptado de (Branco, *et al.*, 2008)]

| Capacidade de suporte da fundação (CBR) | Nº equivalente de eixos de 80 kN | Taxa de crescimento do tráfego (%) | Período ótimo de intervenção (anos) |
|---|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | 5 x 10 ⁵ | 2 | 10 |
| | | 6 | 12 |
| | | 10 | 13 |
| | 2 x 10 ⁶ | 2 | 19 |
| | | 6 | 18 |
| | | 10 | 25 |
| 11 | 5 x 10 ⁵ | 2 | 10 |
| | | 6 | 10 |
| | | 10 | 10 |
| | 2 x 10 ⁶ | 2 | 10 |
| | | 6 | 11 |
| | | 10 | 14 |

Quadro 3.4 Efeito dos custos dos utentes [adaptado de (Branco, *et al.*, 2008)]

| Capacidade de suporte da fundação (CBR) | Nº equivalente de eixos de 80 kN | Consideração dos custos dos utentes | Período ótimo de intervenção (anos) |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | 5 x 10 ⁵ | Sim | 9 |
| | | Não | 9 |
| | 2 x 10 ⁶ | Sim | 20 |
| | | Não | 15 |
| 11 | 5 x 10 ⁵ | Sim | 10 |
| | | Não | 10 |
| | 2 x 10 ⁶ | Sim | 17 |
| | | Não | 14 |

Para estradas de tráfego elevado não é económico adotar-se a construção por etapas, com intervenções frequentes, dificultando o nível de serviço, aumentando assim o custo dos utentes (Branco, *et al.*, 2008).

Para estradas de tráfego elevado os custos dos utentes são muito relevantes, sendo por vezes o fator determinante na decisão de projeto, Nestes casos o encerramento das vias, devido a ações de conservação, ao aumentar o tempo de percurso, pode assumir custos tão elevados como a própria intervenção de conservação (Branco, *et al.*, 2008).

Conclui-se deste modo que devem-se adotar pavimentos muito resistentes, com previsão de um resultado em intervenções muito espaçadas no tempo (Branco, *et al.*, 2008).

3.7 Síntese

Neste capítulo fez-se a apresentação dos parâmetros que são considerados em diversos SAQ utilizados internacionalmente. Além disso, mostrou-se que esses parâmetros podem ser utilizados de forma separada ou em conjunto para avaliar a qualidade dos pavimentos no âmbito dum SGP, evidenciando as vantagens e os inconvenientes de cada um dos tipos de procedimentos.

Foram ainda apresentados os objetivos da inclusão de Sistemas de Apoio à Decisão nos SGP e fez-se referência aos Modelos de Previsão de Comportamento dos pavimentos.

Por último, referiram-se os diversos tipos de custos considerados no âmbito dos SGP.

4 CASO DE ESTUDO: PAVIMENTOS DA REDE RODOVIÁRIA DE COIMBRA

4.1 Considerações Iniciais

É cada vez mais importante dispor de eficientes sistemas de gestão de pavimentos, devido aos baixos orçamentos disponíveis para as infraestruturas rodoviárias. Aqueles sistemas permitem determinar qual a melhor altura para atuar em determinado pavimento, embora mantendo sempre uma política de realização de conservações curativas-preventivas, permitindo assim reduzir os custos associados a atuações de conservação.

De modo a adaptar os custos de intervenção aos orçamentos disponíveis surgiu a necessidade de intervenções mais frequentes nos pavimentos, o que permite também prolongar o seu tempo de vida útil (Cheng *et al.*, 2011).

Na Figura 4.1 comparam-se, de forma qualitativa, a variação do índice de qualidade dos pavimentos ao longo do tempo, quando se adotam medidas de conservação preventiva ou se fazem intervenções mais profundas e espaçadas no tempo, verificando-se que no primeiro caso as ações de conservação são mais frequentes que no segundo, o que permite manter o estado dos pavimentos num nível mais elevado ao longo da sua vida, prolongando-se esta.

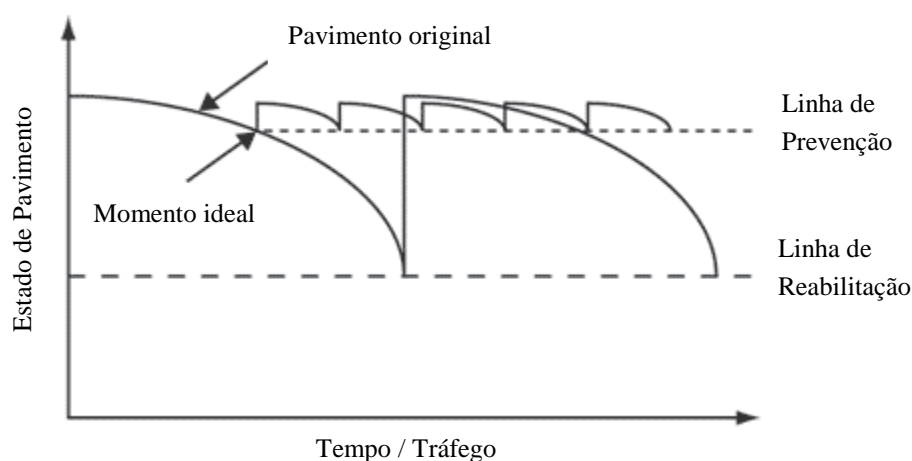


Figura 4.1 Efeito da conservação preventiva ao longo do tempo [adaptado de (Cheng *et al.*, 2011)]

Resulta do exposto que as entidades gestoras, como os municípios, deverão atuar preventivamente, abandonando a estratégia habitual de realização de intervenções de custo mais elevado, como é o exemplo de reabilitações mais profundas, efetuadas para eliminar patologias com gravidade mais elevada.

A redução de custos, quer para a administração, quer para os utentes dos pavimentos, é também um benefício de uma correta gestão da conservação de pavimentos. As intervenções de carácter preventivo, por serem realizadas em tempo mais reduzido em comparação com os casos de reabilitação ou reconstrução, reduzem a exposição ao risco dos trabalhadores e os inconvenientes e custos para os utentes. Quanto à superfície pavimento, esta não se degrada tão rapidamente quando é seguida uma estratégia de conservação preventiva, mantendo-se assim as condições de drenagem, o que contribui para uma maior segurança dos utentes da via.

Acresce que, nos dias de hoje, há cada vez maior necessidade de atuar de forma sustentável, ou seja, sem consumir recursos que ponham em causa as gerações futuras e, por isso, pode concluir-se que conservar de maneira preventiva é mais sustentável do que reabilitar ou reconstruir. Como o tempo gasto numa ação de conservação mais ligeira é muito mais reduzido, o consumo de energia é também menor.

4.2 Base de Dados Rodoviária

Relativamente à base de dados rodoviária de Coimbra, não se dispunha de informação suficiente. Deste modo, optou-se por proceder à recolha de elementos para elaborar uma base de dados suficiente para a caracterização do estado atual dos pavimentos nos trechos selecionados. A recolha da informação permitiu o cálculo do Índice de Qualidade (IQ) dos trechos escolhidos e uma previsão desse mesmo estado para um período de 10 anos. Para a avaliação do estado dos pavimentos através dos valores de IQ foram consideradas as estruturas dos pavimentos existentes e as espessuras de todas as camadas constituintes dessas estruturas, assim como o módulo de deformabilidade (M_r) das fundações dos pavimentos.

A constituição das estruturas dos pavimentos e as espessuras das respetivas camadas foram obtidas através dos serviços técnicos da Câmara Municipal de Coimbra. Os valores dos módulos de deformabilidade (M_r) foram estimados, tendo em conta os valores típicos dos materiais constituintes e o estado atual de conservação dos pavimentos. As patologias foram levantadas por observação direta dos trechos para a realização deste trabalho.

Outra informação importante para o estudo da evolução do estado de conservação é a relativa ao Tráfego Médio Diário de Anual de pesados ($TMDA_p$) previsto para cada trecho da rede. Ora, para o conhecimento da evolução futura do tráfego é necessário conhecer o $TMDA_p$ atual. Para isso, recorreu-se à informação disponibilizada pela Metro-Mondego SA, relativa a contagens efetuadas em alguns pontos da rede. Esta informação foi complementada com dados recolhidos nos horários das carreiras de transportes coletivos dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC), de modo a estimar com maior rigor o tráfego de pesados. Em alguns casos, além do tráfego de autocarros, contabilizou-se um acréscimo de vinte por cento para aquele valor, de modo a ter em conta, por um lado, o tráfego relativo a cargas e descargas de estabelecimentos comerciais e, por outro lado, o tráfego associado aos serviços de recolha de resíduos sólidos urbanos (pela empresa ERSUC).

4.3 A importância do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no caso de estudo

Nos últimos anos a utilização dos SIG nas mais diversas áreas tem vindo a acentuar-se de forma importante. O mesmo acontece para a Gestão de Sistemas de Avaliação de Pavimentos.

Trata-se de uma tecnologia que auxilia e agiliza procedimentos de planeamento, de gestão e de tomada de decisão (Naruo, 2003), possibilitando a criação de informações instantâneas, ao nível do planeamento estratégico, para a escolha de alternativas.

Após a criação de uma base de dados, a inserção da mesma em SIG tem diversas vantagens. Torna-se possível a junção ou edição de dados, permitindo exibir visualmente os resultados de consultas à base de dados, estatísticas, gráficos, efetuar análises de gestão de pavimentos visualizando as condições da rede através da dinâmica da codificação de cores dos diversos trechos rodoviários (Ibraheem & Falih, 2011), (Silva, 1998).

A utilização da ferramenta SIG permite efetuar um melhor planeamento, por exemplo no âmbito da gestão de pavimentos, poupando tempo, garantindo análises mais fiáveis e com melhor qualidade, através de recursos gráficos que ajudam a manter na tomada de decisão.

4.4 Sistema de Avaliação da Qualidade (SAQ)

4.4.1 Dados para a avaliação da qualidade dos pavimentos

A avaliação da qualidade dos trechos selecionados foi feita manualmente, percorrendo todo o percurso a pé, com a ajuda das seguintes ferramentas e materiais:

- Fita métrica com 25 metros;
- Régua com 2 metros;
- Régua com 0,20 metros;
- Ficha de observação de pavimentos (Figura 4.2);
- Tabela de patologias;
- Colete refletor e capacete de proteção.

FICHA DE OBSERVAÇÃO

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|--|----|---------------------------------------|----|---------------|----|---------------|----|----|-----|
| Nome do observador: | | Trecho n.º: | | Data da observação:/...../..... | | | | | | | |
| Estrada: | | Data de construção:/...../..... | | Estrutura do pavimento: | | Material | | Espessura (m) | | | |
| Classe da estrada: | | Data da última reabilitação:/...../..... | | Desgaste | | Regularização | | | | | |
| Classe de tráfego: | | TMDA: | | | | Base | | | | | |
| Comprimento médio do trecho: | | TMDAp: | | Sub-base | | | | | | | |
| Largura média do trecho: | | | | | | Leito do pav. | | CBR= % | | | |
| Distância (m) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Fendilhamento | | | | | | | | | | | |
| Pele de crocodilo | | | | | | | | | | | |
| Covas | | | | | | | | | | | |
| Peladas | | | | | | | | | | | |
| Def. localizadas | | | | | | | | | | | |
| Rodeiras | | | | | | | | | | | |
| Reparações | | | | | | | | | | | |
| Irregularidade | | | | | | | | | | | |
| Aderência | | | | | | | | | | | |

Figura 4.2 Ficha de observação de pavimentos [adaptado de (Meneses, 2006)]

Toda a informação recolhida foi posteriormente carregada numa folha em Microsoft Excel previamente preparada, de forma a efetuar uma avaliação da qualidade dos pavimentos.

Para a avaliação da qualidade dos pavimentos dos trechos estudados foi utilizada uma metodologia baseada no subsistema de avaliação da qualidade utilizado no Estado do Nevada, Estados Unidos da América, e aplicado à cidade de Lisboa em 1999 com a modificação de coeficientes de modo a que o sistema pudesse ser aplicado à rede nacional (Picado-Santos *et al.*, 2004).

A fórmula (4.1) foi inicialmente usada no Estado do Nevada (Picado-Santos *et al.*, 2004):

$$IQ = 5 \times e^{(-0,0002598 \times IRI)/4} - \frac{0,002139}{4} \times R^2 - 7 \times 0,03 \times (C + S + P)^{0,5} \quad (4.1)$$

A adaptação da equação à cidade de Lisboa resultou na expressão (4.2) (Picado-Santos, 2011):

$$IQ = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI} - 0,002139 \times R^2 - 0,10 \times (C + S + P)^{0,5} \quad (4.2)$$

Nota: (C+S+P) ≤ 100%

Onde:

IQ – é o índice da qualidade que varia de 0 a 5 (o mesmo que PSI – *Present Serviceability Index*);

IRI – é a irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km);

R – é a profundidade média das rodeiras (mm);

C – é a área com fendilhamento e pele de crocodilo ($m^2/100m^2$, em %);

S – é a área com degradação superficial de materiais como o conjunto das “deteriorações superficiais” e as covas ($m^2/100m^2$, em %);

P – é a área com reparações ($m^2/100m^2$, em %).






Para um correto preenchimento dos parâmetros C, S e P da fórmula (4.2), foram tidas em conta as regras de classificação indicadas no Quadro 4.1 (Picado-Santos, 2011).

Para efeitos de cálculo do IRI, não sendo possível recorrer a equipamentos que façam o levantamento mecânico do pavimento para o determinar, é possível fazer uma estimativa daquele indicador através dos parâmetros do Quadro 4.1, determinando desta forma três intervalos possíveis, como se pode ver no Quadro 4.2 (Picado-Santos, 2011).

Para uma melhor compreensão do Quadro 4.2 apresentado, mostra-se um pequeno exemplo ilustrativo na Figura 4.3. A figura mostra um trecho de uma estrada com 200 metros de comprimento e 7 de largura.

Neste exemplo existem 100m afetados por fendilhamento do tipo 2, 20m afetados por fendilhamento do tipo 3, 30m afetados de peladas do tipo 2, 50m afetados de rodeiras do tipo 1, 100m afetados de rodeiras do tipo 2 e 50m afetados de rodeiras do tipo 3. Assim, a restante extensão em cada patologia terá o nível de gravidade 1 (o mínimo considerado na metodologia).

Quadro 4.1 Catálogo de Patologias [adaptado de (Picado-Santos, 2011)]

| Degradação | Gravidade | Descrição do Nível de Gravidade | Exemplo | Área afetada * |
|---|-----------|--|--|----------------|
| Rodeiras | 1 | Profundidade máxima da rodeira inferior a 10mm |  | 5mm |
| | 2 | Profundidade máxima da rodeira entre 10 e 30 mm | | 20mm |
| | 3 | Profundidade máxima da rodeira superior a 30 mm | | 30mm |
| Fendilhamento | 1 | Fenda isolada |  | i) |
| | 2 | Fendas longitudinais ou transversais abertas e/ou ramificadas | | ii) |
| | 3 | Pele de crocodilo | | iii) |
| Peladas, Desagregação superficial, Exsudação de betume, Polimento dos agregados, Deformações localizadas | 1 | Anomalia com largura inferior a 30 cm |  | i) |
| | 2 | Anomalia com largura entre 30 e 100 cm | | ii) |
| | 3 | Anomalia com largura superior a 100 cm | | iii) |
| Covas (Ninhos) | 1 | Profundidade máxima da cavidade inferior a 2cm |  | i) |
| | 2 | Profundidade máxima da cavidade entre 2 e 4 cm | | ii) |
| | 3 | Profundidade máxima da cavidade superior a 4cm ou várias covas de qualquer largura na mesma secção transversal | | iii) |
| Reparações | 1 | Reparações bem executadas |  | 1/4 x iii) |
| | 2 | Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas | | 1/2 x iii) |
| | 3 | Reparações mal executadas | | iii) |

* Valor adotado para efeitos de cálculo da qualidade

i) 0,5 x comprimento afetado

ii) 2,0 x comprimento afetado

iii) Largura do trecho x comprimento afetado

Quadro 4.2 Valores de IRI (Picado-Santos, 2011)

| Degradação | Intervalo | Condição | Nível | IRI |
|--|-----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------|
| Fendilhamento Rodeiras Peladas, Desagregação sup., exsudação, etc. | $\leq 1,25$ | \sphericalangle | 1 | Tipo 1 IRI=700mm/km |
| Fendilhamento Rodeiras Peladas, Desagregação sup., exsudação, etc. | $>1,25$ e $\leq 2,25$ | | | Tipo 2 IRI=2000mm/km |
| Fendilhamento Rodeiras Peladas, Desagregação sup., exsudação, etc. | $>2,25$ | $=$ $=$ \sphericalangle | 3 3 2 | Tipo 3 IRI=3500mm/km |

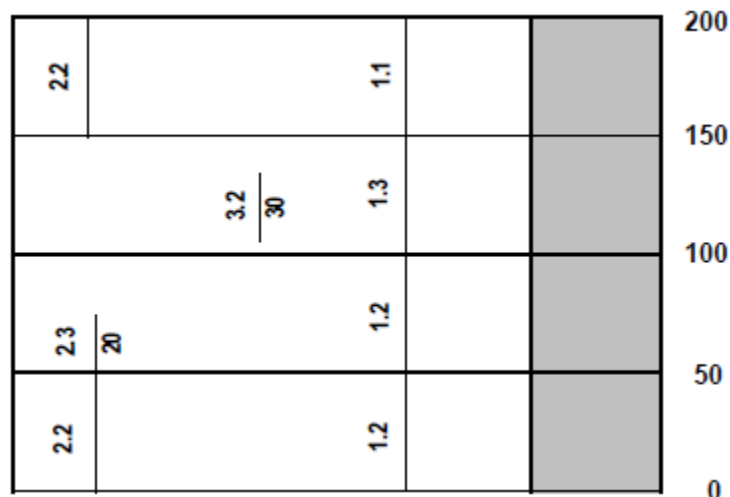


Figura 4.3 Exemplo de cálculo do IRI (Picado-Santos, 2011)

O cálculo do IRI efetua-se da seguinte forma:

$$\text{Fendilhamento} = \frac{2 \times 100 + 3 \times 20 + 1 \times 80}{200} = 1,70 \Rightarrow 1,25 < 1,70 \leq 2,25 \Rightarrow \text{tipo2} \quad (4.3)$$

$$\text{Rodeiras} = \frac{2 \times 100 + 3 \times 50 + 1 \times 50}{200} = 2,0 \Rightarrow 1,25 < 2,0 \leq 2,25 = > \text{tipo2} \quad (4.4)$$

$$\text{Peladas} = \frac{2 \times 30 + 1 \times 170}{200} = 1,2 \Rightarrow 1,2 \leq 1,25 \Rightarrow \text{tipo1} \quad (4.5)$$

O valor do IRI é decidido com base nas regras indicadas no Quadro 4.2, considerando o caso mais gravoso. Portanto, neste caso o IRI é tomado como sendo do tipo 2, ou seja, com um valor de 2000 mm/km.

4.4.2 Aplicação do SAQ ao caso de estudo

De modo a não aumentar muito o esforço de levantamento, utilizou-se um conjunto de trechos que não cobre toda a rede da cidade de Coimbra. Selecionou-se um itinerário que inclui algumas vias estruturantes e, por isso, com algum tráfego de pesados, embora noutros casos o

tráfego de pesados seja pouco significativo. O itinerário selecionado tem cerca de 11 km de extensão.

O processo de levantamento das patologias foi relativamente simples mas algo moroso, por ter sido feito manualmente. Com este caso de estudo, pretendia-se também mostrar que é possível aplicar na prática a metodologia seguida, mesmo não dispondo de meios especializados.

Foram considerados cinco níveis de qualidade correspondentes aos intervalos do índice de qualidade indicados no Quadro 4.3 (Paterson, 1987).

Quadro 4.3 Limites do IQ [adaptado de (Paterson, 1987)]

| Índice de Qualidade | Classificação |
|---------------------|---------------|
| 4-5 | Muito Bom |
| 3-4 | Bom |
| 2-3 | Medíocre |
| 1-2 | Mau |
| 0-1 | Muito Mau |

As ruas constituintes do trajeto são as seguintes: Rua do Brasil, Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira, Rua João de Deus Ramos, Rua Carolina Michaelis, Rua Sacadura Cabral, Avenida António Portugal, Rua Afrânio Peixoto, Rua Dr. Afonso Romão, Circular Interna, Circular Externa, Rua Padrão, N111-1, Avenida Cidade Aeminium, Avenida Emídio Navarro, Avenida da Lousã e Avenida Cónego Urbano Duarte. A observação dos pavimentos no itinerário foi feita por esta ordem, percorrendo um circuito fechado. Na Figura 4.4 é possível ver-se o itinerário estudado, estando ainda assinalado o local onde se iniciou a observação.

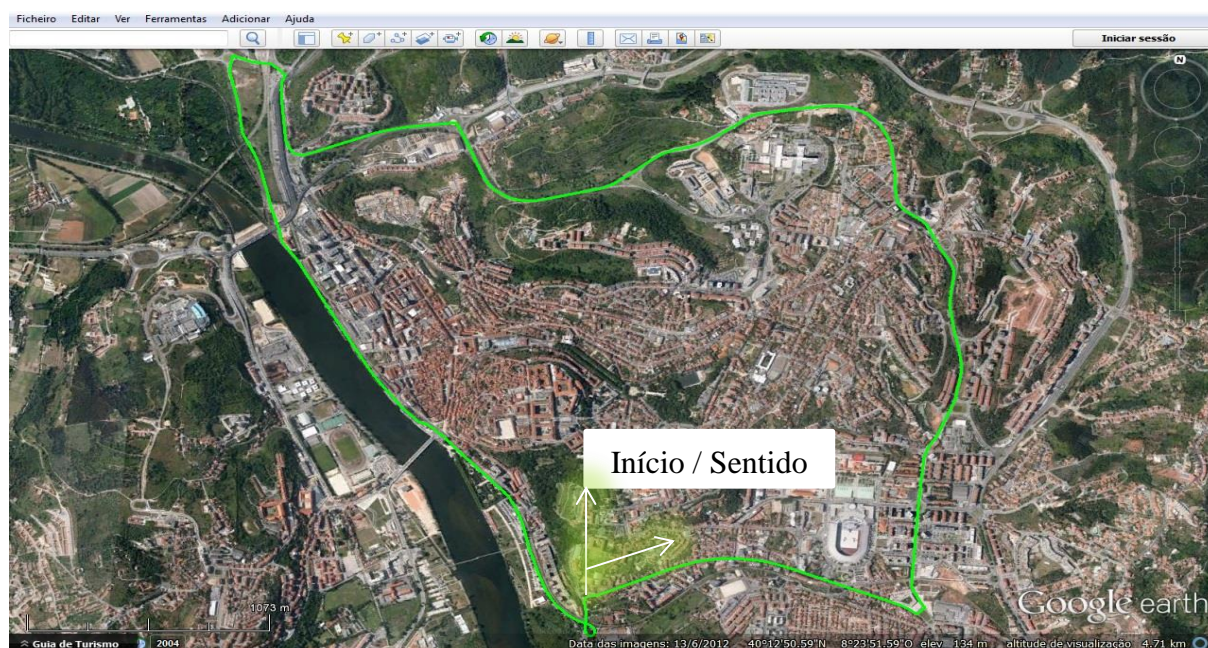


Figura 4.4 Mapa de localização do circuito selecionado para análise

Como a observação do circuito foi feita a pé, possibilitou visualizar de uma forma mais detalhada as patologias existentes e ainda efetuar as medições de acordo com as regras indicadas no Quadro 4.1.

Nos vários quadros apresentados no Apêndice I é possível observar toda a informação recolhida através da observação e os correspondentes valores de IQ para cada trecho. No Quadro 4.4 mostra-se apenas um resumo de todos os quadros presentes no referido Apêndice.

Quadro 4.4 Índices de Qualidade do circuito definido

| Segmento | Comprimento (m) | IRI (mm/m) | IQ Trecho | IQ Estrada |
|--------------------------------------|-----------------|------------|-----------|------------|
| Rua do Brasil I | 500 | 2000 | 2,520 | |
| Rua do Brasil II | 500 | 2000 | 2,155 | 2,889 |
| Rua do Brasil III | 556 | 700 | 3,882 | |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 286 | 700 | 3,989 | 3,989 |
| Rua João de Deus Ramos | 190 | 2000 | 2,377 | 2,377 |
| Rua Carolina Michaelis | 249 | 2000 | 2,476 | 2,476 |
| Rua Sacadura Cabral | 239 | 2000 | 0,987 | 0,987 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 500 | 2000 | 2,473 | |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 582 | 2000 | 2,542 | 2,510 |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 500 | 700 | 4,083 | |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 582 | 2000 | 1,695 | 2,799 |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 558 | 2000 | 1,725 | 1,725 |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 558 | 2000 | 1,150 | 1,150 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 140 | 2000 | 2,421 | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 242 | 700 | 4,072 | 2,403 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 574 | 2000 | 1,694 | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 140 | 2000 | 2,279 | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 242 | 700 | 4,106 | 2,813 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 574 | 2000 | 2,398 | |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 500 | 700 | 4,078 | |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 511 | 700 | 4,111 | 4,095 |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 500 | 700 | 3,888 | |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 511 | 700 | 4,169 | 4,030 |
| Circular Externa de Coimbra | 500 | 700 | 4,136 | |
| Circular Externa de Coimbra II | 169 | 700 | 3,482 | 3,971 |
| Rua Padrão (S-N) | 422 | 2000 | 2,391 | 2,391 |
| Rua Padrão (N-S) | 422 | 2000 | 2,390 | 2,390 |
| N111-1 | 229 | 2000 | 2,726 | 2,726 |
| Avenida Cidade Aeminium I | 500 | 700 | 3,897 | |
| Avenida Cidade Aeminium II | 500 | 2000 | 2,618 | |
| Avenida Cidade Aeminium III | 500 | 2000 | 1,412 | 2,070 |
| Avenida Cidade Aeminium IV | 500 | 2000 | 0,284 | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 150 | 2000 | 2,295 | |
| Avenida Emídio Navarro I | 448 | 2000 | 2,638 | 2,638 |
| Avenida Lousã I | 500 | 700 | 3,945 | |
| Avenida Lousã II | 225 | 2000 | 2,371 | 3,457 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 198 | 2000 | 2,407 | 2,407 |

Todas as vias foram divididas em trechos de 500 metros, com exceção dos casos em que o último trecho era inferior a 100 metros. Nestas situações considerou-se o último trecho em conjunto com o anterior, como é o caso, por exemplo, da Rua do Brasil, a qual tem dois trechos com 500 metros e o último tem 556 metros (resultante de 500+56).

Após a determinação dos valores do Índice de Qualidade, foi possível carregar a informação em ArcGis, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado, de modo a obter mapas

coloridos com os diversos níveis de qualidade a que se chegou. Nas Figuras 4.5 e 4.6 mostram-se, a título de exemplo, respetivamente, os IQ do ano zero e do ano dez. O primeiro mapa refere-se à determinação do IQ a partir dos dados de observação efetuados no âmbito desta dissertação. O segundo mapa corresponde à previsão do IQ no final do período de análise considerado, utilizando metodologias a descrever mais adiante.

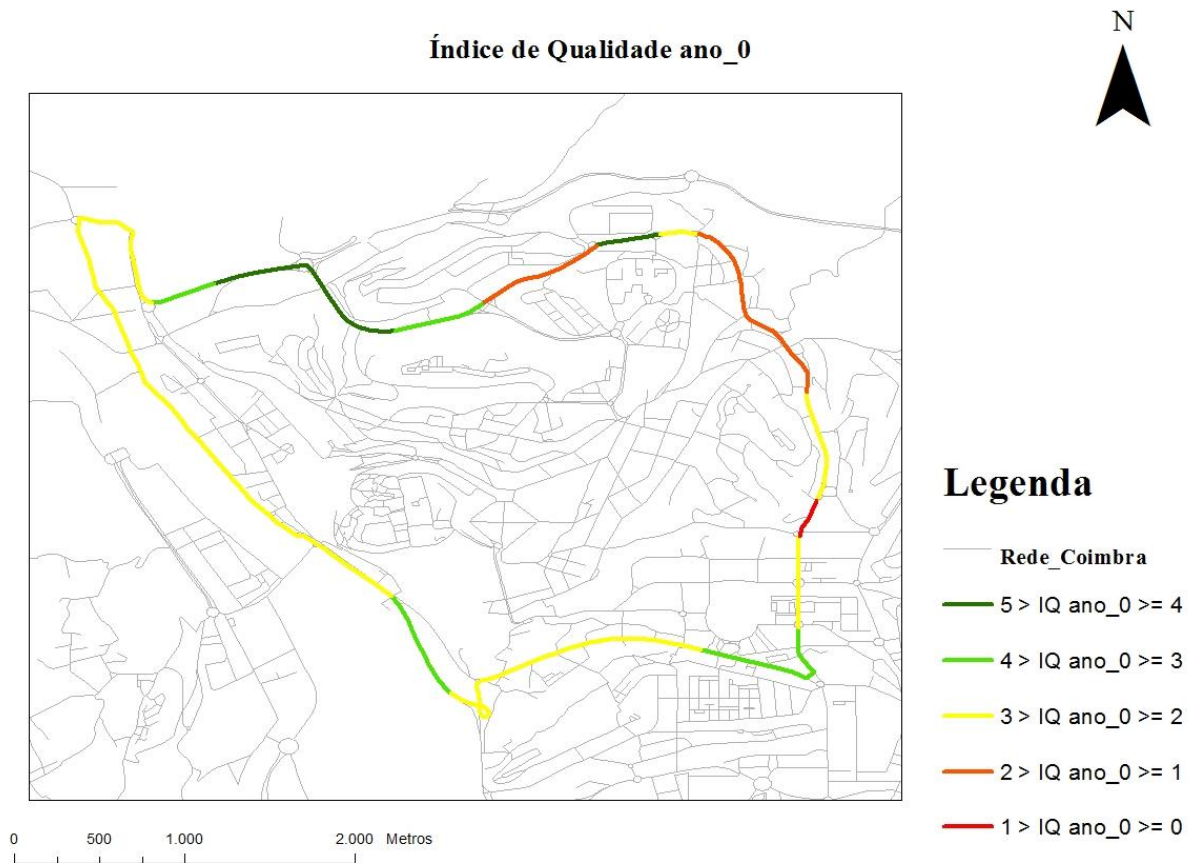


Figura 4.5 Imagem representativa do IQ no ano 0

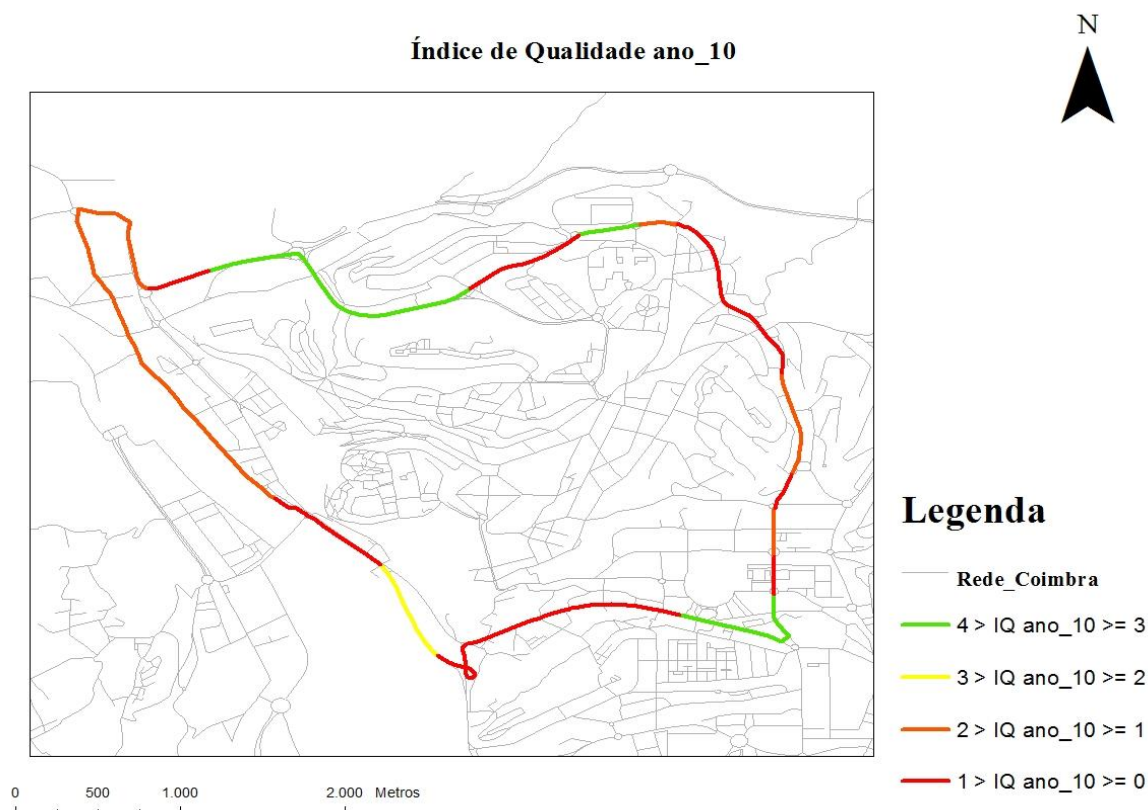


Figura 4.6 Imagem representativa do IQ no ano 10 (sem intervenções)

4.5 Sistema de Apoio à Decisão

4.5.1 Evolução do Índice de Qualidade (IQ) Efetuada pelo Método da AASHTO

A previsão da evolução do IQ no tempo reveste-se de bastante incerteza. Por essa razão, é habitual utilizar modelos que permitam inferir como evoluirá o estado dos pavimentos no futuro, quer nas situações em que são previsíveis ações de conservação, quer quando não se prevê intervir, deixando degradar os pavimentos.

As previsões dos valores do IQ, foram obtidas, para os casos de trechos com tráfego de pesados assinalável, através da fórmula (4.6) da AASHTO (AASHTO, 1993) e para os casos de ruas sem tráfego de pesados, através de cadeias de Markov (Rayya *et al.*, 2014).

A fórmula da AASHTO é um modelo determinístico no qual se utilizam as expressões (4.6) a (4.10):

$$\log_{10}(N_{80t}^{Dim}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN_t + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta IQ}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_t + 1)^{5,19}}} \quad (4.6)$$

$$+ 2,32 \times \log_{10}(M_{Rt}) - 8,07$$

$$SN_t = \sum_{n=1}^N H_{nt} \times C_n^e \times C_n^d \quad (4.7)$$

$$COV_t = 0,39904 - 0,03871 \times IQ_t + 0,00709 \times IQ_t^2 - 0,00042 \times IQ_t^3 \quad (4.8)$$

$$V_{T+1} = C_{rehab} \times \frac{IQ_{T+1} - 2,5}{IQ_{rehab} - 2,5} \quad (4.9)$$

$$N_{80t}^{Dim} = 365 \times TMDA_p \times \frac{(1 + tc)^{Y_t} - 1}{tc} \times \alpha \quad (4.10)$$

Onde:

N_{80t}^{Dim} é número acumulado de eixos padrão de 80 kN, no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação;

Z_R é o desvio padrão da regressão;

S_0 é o erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos;
 SN_t é o número estrutural do pavimento no ano t e é obtido através da equação (4.7);

ΔIQ_t é a diferença entre o valor do IQ no ano da construção ou da última reabilitação e o IQ no ano t;

M_{r_t} é o módulo de deformabilidade do solo de fundação no ano t (psi);

H_{nt} é a espessura da camada n no ano t (mm);

C_n^e é o coeficiente estrutural da camada n;

C_n^d é o coeficiente de drenagem da camada n;

COV_t são os custos de operação dos veículos no ano t (€/km/veículo);

IQ_t é o índice de qualidade do pavimento no ano t;

V_{T+1} é o valor residual do pavimento no ano t+1;

C_{rehab} é o custo da última ação de reabilitação aplicada ao pavimento (€);

IQ_{T+1} é o valor do IQ do pavimento no ano t+1;

IQ_{rehab} é o valor do IQ posterior à aplicação da última ação de reabilitação aplicada ao pavimento;

$TMDA_p$ é o tráfego médio diário anual de veículos pesados, no ano de abertura, ou no ano seguinte à última reabilitação, por sentido e na via mais solicitada;

tc é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado;

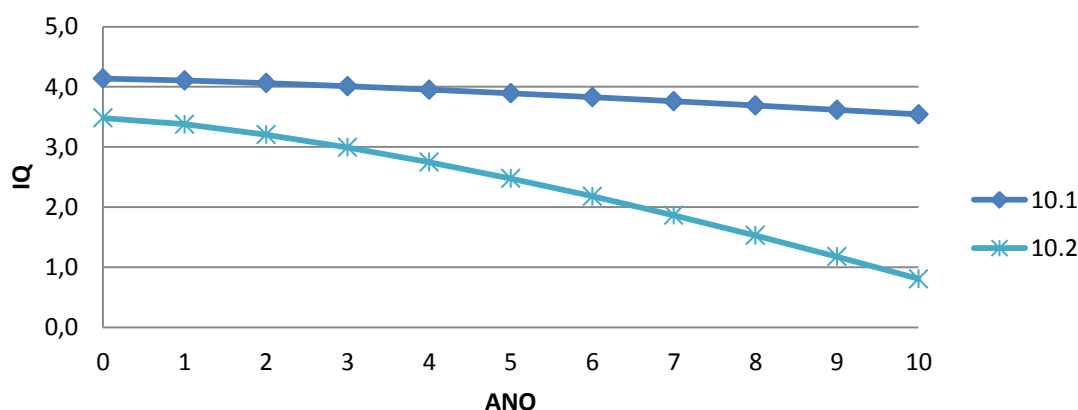
Y_t é a idade do pavimento desde a construção ou da última reabilitação (anos).

Através da equação (4.6) a previsão para os índices de qualidade de cada trecho foi feita para um período de dez anos, por um processo manual e relativamente simples, utilizando apenas uma folha de Excel.

A metodologia que se seguiu descreve-se a seguir de forma resumida. Após ter determinado o IQ do ano zero (o ano referente ao levantamento efetuado), determinou-se o N_{80t}^{Dim} dos anos seguintes, de dois em dois anos, considerando uma taxa de crescimento de tráfego igual a zero. Note-se que, em meio urbano, em zonas consolidadas, não é de prever um crescimento assinalável do tráfego ao longo do tempo. No caso em análise, o tráfego de pesados é praticamente o correspondente a cargas e descargas, recolha de resíduos sólidos e transportes coletivos.

Para a avaliação futura do IQ num ano n , considerou-se o incremento de tráfego do ano zero até ao ano n , para o qual se pretendia fazer a avaliação. Substituiu-se na equação (4.6) o valor do tráfego referente ao ano n e utilizaram-se os restantes dados caracterizadores do pavimento (adiante sintetizados no Quadro 4.11). Tendo apenas como incógnita a variação do IQ (ΔIQ), determinou-se o valor desta variação do ano zero para o ano n . Deduzindo ao IQ do ano zero o valor de (ΔIQ), obteve-se o IQ no ano n . Utilizou-se a metodologia descrita para todos os 10 anos do período de análise. Na Figura 4.7 ilustra-se um exemplo da evolução do IQ nos 10 anos após o levantamento inicial, utilizando a metodologia que se descreveu. A totalidade dos dados considerados para aplicação da fórmula da AASHTO é apresentada no Apêndice I e os resultados a que se chegou para os 10 anos apresenta-se no Apêndice II.

Tome-se um exemplo em que o tráfego de um ano $n=1$, traduzido em eixos-padrão de 80 kN, é de 3×10^5 . Substituindo esse valor na expressão (4.6) e mantendo os restantes parâmetros inalterados, obter-se-ia uma variação do índice de qualidade $\Delta IQ = 0,425$. Se o IQ inicial fosse de 3,5, obter-se-ia um IQ no ano $n=1$ de 3,075.



10.1 – Trecho I da Circular Externa; 10.2 – Trecho II da Circular Externa

Figura 4.7 Exemplo da evolução do IQ, na Circular Externa, nos 10 anos (sem intervenções)

De modo a verificar se a consideração de taxas de crescimento de tráfego diferentes de zero conduziria a resultados muito diferentes, fez-se uma pequena análise de sensibilidade, considerando taxas de variação diferentes. Para isso realizou-se um estudo da variação do IQ,

através da expressão (4.6), para três situações diferentes. A primeira com uma taxa anual de crescimento negativa igual a -0,5%, a segunda com uma taxa de 0% e uma última situação em que a taxa de crescimento anual seria positiva, com valor igual a 0,5%. O resultado desta análise de sensibilidade, aplicada à rua do Brasil, encontra-se ilustrado nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10, fazendo corresponder a legenda das figuras a:

- 1.1 – Trecho I da Rua do Brasil
- 1.2 – Trecho II da Rua do Brasil
- 1.3 – Trecho III da Rua do Brasil

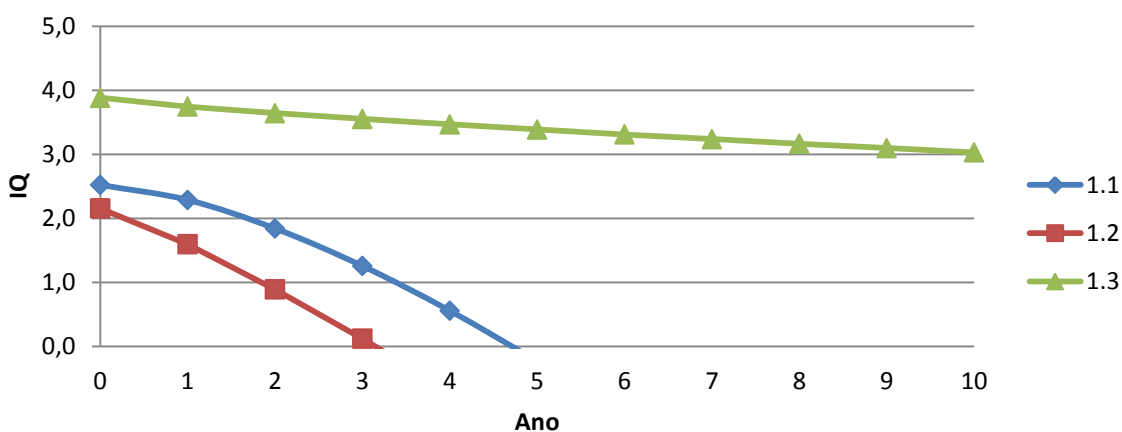


Figura 4.8 Variação do IQ considerando uma taxa de crescimento anual do tráfego de -0,5%

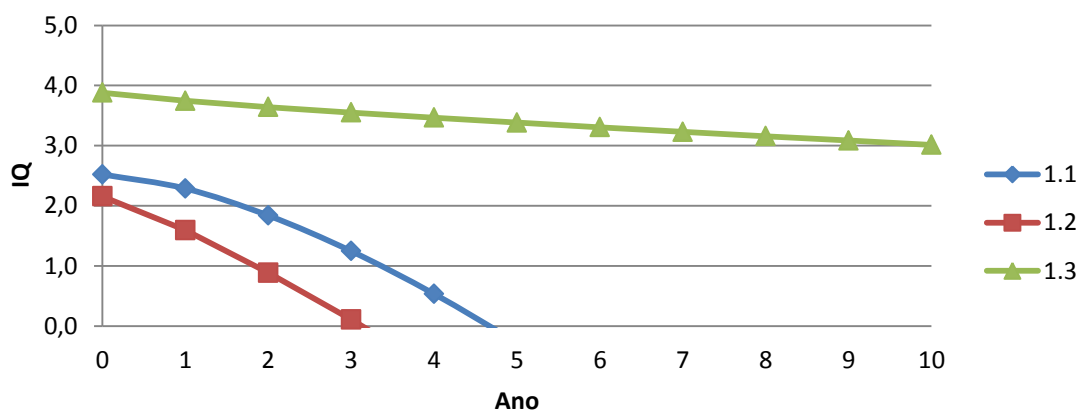


Figura 4.9 Variação do IQ considerando uma taxa de crescimento anual do tráfego de 0%

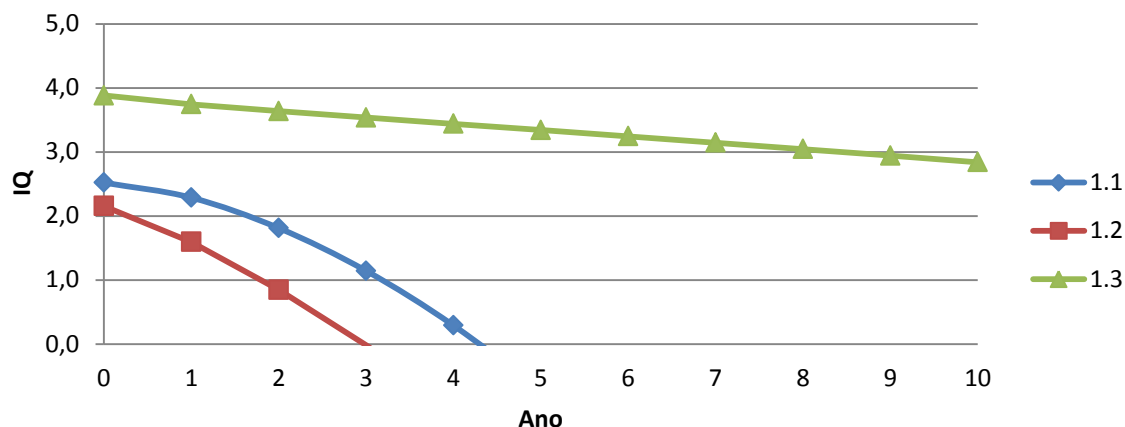


Figura 4.10 Variação do IQ considerando uma taxa de crescimento anual do tráfego de 0,5%

Como pode verificar-se pelas figuras 4.8 a 4.10, os valores conduzem a resultados idênticos, pelo que se decidiu utilizar para efeitos de cálculo uma taxa de crescimento igual a zero.

4.5.2 Evolução do Índice de Qualidade Efetuada Através de Cadeias de Markov (Rayya *et al.*, 2014).

Aplicou-se também um método probabilístico, conhecido por cadeias de Markov, adaptando o processo descrito por (Rayya *et al.*, 2014). A metodologia baseia-se no conceito de que os estados anteriores dos pavimentos são irrelevantes para os estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido.

Tendo em conta a escassez de informação histórica dos pavimentos analisados, e após a observação efetuada para conhecer melhor o seu estado atual, no gráfico da Figura 4.11 mostra-se o resultado da aplicação de cadeias de Markov, para a previsão do IQ para 10 anos, considerando a inexistência de qualquer tipo de intervenção.

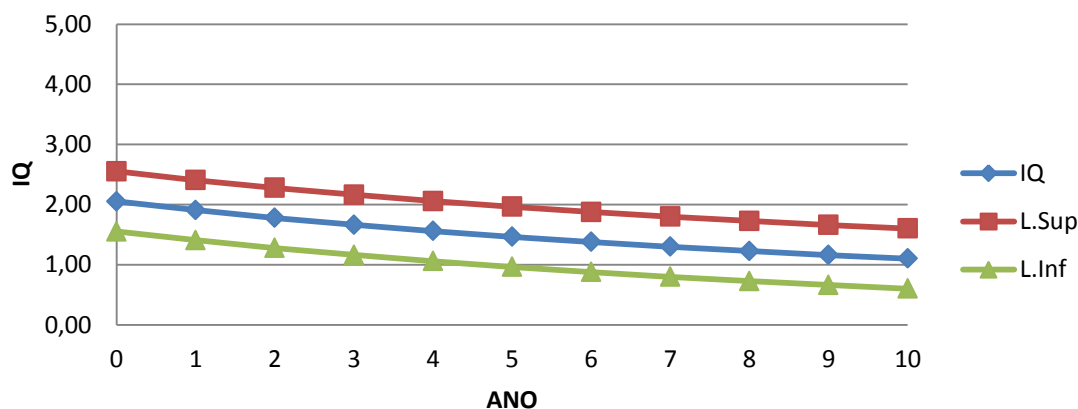


Figura 4.11 IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

Para determinar a variação que pode observar-se no gráfico de variação do índice de qualidade, é necessário determinar previamente, o número de estados, o vetor de estado, a definição de ciclos de serviço e a matriz de probabilidade de transição (Rayya *et al.*, 2014).

O número de estados são as quantidades/qualidades de classificação que são atribuídas a cada trecho após a avaliação visual feita. No caso em estudo, consideraram-se 5 estados, estabelecidos de forma qualitativa, para os quais se estabeleceu uma correspondência com os valores de IQ:

- IQ: 5-4 – Muito Bom (MB)
- IQ: 4-3 – Bom (B)
- IQ: 3-2 – Medíocre (Med)
- IQ: 2-1 – Mau (M)
- IQ: 1-0 – Muito Mau (MM).

O vetor estado indica a probabilidade de um trecho estar em cada um dos estados em cada ano previsto. Estes vetores têm de satisfazer as seguintes condições (Rayya, *et al.*, 2014):

1. A soma das entradas de uma linha deve ser igual a um;
2. Todas as entradas devem ser não-negativas.

Considerou-se períodos de um ano para a definição de ciclos de serviço, isto é, cada ano corresponde a um estado de índice de qualidade (IQ). Devido aos pavimentos analisados não serem novos, as previsões efetuadas foram até dez anos, com intervalos de um ano.

A matriz de probabilidade de transição é usada para prever o estado de conservação futuro dos pavimentos através da probabilidade de transição de um estado para o seguinte. Um segmento de pavimento é modelado no seu início de vida como estando em estado quase perfeito, deteriorando-se nos anos seguintes por estar submetido a diversos fatores de degradação. As probabilidades de transição são armazenadas numa matriz, na qual as linhas representam o estado presente e as colunas o estado futuro. Os elementos individuais da matriz são referidos usando a notação P_{ij} , onde i indica a fila e j indica a coluna do elemento de matriz. A matriz de probabilidades de transição (MPT) pode apresentar em geral a forma apresentada no Quadro 4.5 (matriz de 5 x 5) (Rayya, *et al.*, 2014).

Quadro 4.5 Matriz de Probabilidades de Transição Base [adaptado de (Rayya *et al.*, 2014)]

| | Para (j) | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| De (i) | 1 | P_{11} | P_{12} | 0 | 0 | 0 | |
| | 2 | 0 | P_{22} | P_{23} | 0 | 0 | |
| | 3 | 0 | 0 | P_{33} | P_{34} | 0 | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | P_{44} | P_{45} | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | $P_{55} = P_{nn} = 1$ | |

Esta matriz contém todas as informações necessárias para modelar o processo entre os estados de conservação do pavimento.

As probabilidades de transição, P_{ij} (P_{12} , P_{23} , P_{34} , P_{45}), indicam a probabilidade de uma parte da rede no estado de conservação i passar para o estado j num ciclo de serviço. As probabilidades de transição, P_{ii} (P_{11} , P_{22} , P_{33} e P_{44}), indicam a proporção de rede que fica no estado i em cada ciclo de serviço.

As condições que se aplicam ao processo para simular a deterioração do pavimento são as seguintes (Rayya, *et al.*, 2014):

1. Todas as entradas devem ser não-negativas;
2. Não é permitido que o estado de um segmento se deteriore mais de um estado num ciclo de serviço. Assim, P_{13} , P_{14} , P_{15} , P_{24} , P_{25} , P_{35} são zeros. Por isso, apenas dois valores necessitam de ser determinados na prática para definir toda a matriz, P_{ii} e P_{ij} ;
3. A soma das entradas em cada linha deve ser igual a um ($P_{ij} = 1 - P_{ii}$) ou ($P_{ii} = 1 - P_{ij}$);
4. $P_{ij} = 0$ para $i > j$, significando a convicção de que as estradas não pode melhorar o seu estado sem antes receber uma ação de conservação. Por isso, P_{21} , P_{31} , P_{32} , etc, são zeros;
5. A valor de 1 na última linha da matriz, ou seja, $P_{nn} = 1$, significa um estado permanente. Isso implica que o pavimento atingiu o seu pior estado e não pode transitar desse estado, indicando um estado de reconstrução.

Nas cadeias estacionárias (homogéneas), a taxa de deterioração do pavimento considera-se constante ao longo do tempo. Nestes casos o processo de deterioração da rede pode ser modelada de acordo com as probabilidades de uma única matriz. Se a taxa de deterioração variar ao longo do tempo, o processo pode ser modelado usando diferentes matrizes para diferentes intervalos de tempo. Para o caso de estudo desta dissertação, o processo de deterioração é tomado como estacionário.

Têm sido utilizadas diferentes técnicas para desenvolver matrizes de probabilidade de transição, sendo o método mais comum o de otimização baseado em regressões. Este método envolve a conversão de um modelo de regressão determinístico num modelo de cadeia de Markov usando uma função de otimização não linear (Rayya *et al.*, 2014). Outra técnica envolve a utilização de opiniões de especialistas, quando não estão disponíveis dados históricos confiáveis. Uma terceira técnica comum é o método de contagem de proporções (Kamalesh, 2009) através da observação a partir de séries temporais de dados históricos (cobrindo todas as condições possíveis na rede), do modo como uma rede de estradas se degrada com o tempo. Neste método, a probabilidade de transição da condição do pavimento do estado i para o estado j pode ser estimada utilizando a expressão (4.11):

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (4.11)$$

Onde:

n_{ij} = número (ou comprimento total) de troços em transição do estado i para o estado j dentro de um determinado período de tempo, ou seja, num ciclo de serviço que pode ser de um ou dois anos;

n_i = o número total (ou comprimento total) de seções no estado i antes da transição.

Tome-se um exemplo em que são adotados 5 estados de conservação, estabelecidos de forma qualitativa, correspondendo aos intervalos de IQ que se indicam a seguir: 1-0 Muito Mau; 2-1 Mau; 3-2 Medíocre; 4-3 Bom e 5-4 Muito Bom.

Admitindo que o comprimento total avaliado seria de 2500 metros, onde apenas, 100 metros se encontrava num estado considerado Muito Bom, 1250 metros num estado Bom, 950 metros num estado Medíocre, 150 metros num estado Mau e 50 metros num estado Muito Mau. Assim, utilizando a expressão (4.11), a determinação do vetor inicial faz-se da seguinte maneira:

Para o estado Muito Bom:

$$\frac{100}{2500} = 0,04$$

Para o estado Bom:

$$\frac{1250}{2500} = 0,50$$

Para os restantes estados o cálculo faz-se da mesma forma, obtendo-se um vetor estado inicial igual a: $X(2014) = [0,04; 0,50; 0,38; 0,06; 0,02]$.

Para a matriz de probabilidade de transição (MPT) adota-se, por exemplo, a matriz usada no caso de estudo Australiano (Rayya *et al.*, 2014), sendo a apresentada no Quadro 4.6:

Quadro 4.6 Matriz de Probabilidades de Transição usada no exemplo de aplicação (Rayya *et al.*, 2014)

| | Muito Bom | Bom | Medíocre | Mau | Muito Mau |
|-----------|-----------|------|----------|------|-----------|
| Muito Bom | 0,85 | 0,15 | 0 | 0 | 0 |
| Bom | 0 | 0,64 | 0,36 | 0 | 0 |
| Medíocre | 0 | 0 | 0,37 | 0,63 | 0 |
| Mau | 0 | 0 | 0 | 0,60 | 0,40 |
| Muito Mau | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

O processo de degradação do pavimento é modelado pela multiplicação do vetor inicial pela matriz de probabilidade de transição. O vetor estado no estágio 1 é obtido multiplicando o vetor de estado inicial pela MPT. O vetor estado no estágio 2 é determinado pela multiplicação do vetor de estado do estágio 1 pela MPT, e assim por diante (Rayya *et al.*, 2014).

- A distribuição de probabilidade dos estados no processo de degradação num determinado momento é dada, por exemplo, para $t=1$, por: $X(1) = X(0) \times \text{MPT}^1$

- A distribuição de probabilidade dos estados no processo de degradação para $t=2$ é calculado por: $X(2) = X(1) \times \text{MPT} = X(0) \times \text{MPT}^2$
- A distribuição de probabilidade dos estados no processo de degradação para o momento t pode ser, portanto, calculada por: $X(t) = X(t-1) \times \text{MPT} = X(0) \times \text{MPT}^t$

Onde,

$X(0)$ = distribuição de estado no instante 0, isto é, no ponto de partida ou vetor inicial;

MPT^t = MPT elevada à potência de t , sendo este o tempo decorrido em anos.

Usando o vetor inicial, correspondente ao ano de 2014 e a MPT do Quadro 4.6, os modelos de Markov foram desenvolvidos para a rede do exemplo ao longo de um período de 10 anos, ou seja, 10 estádios com 1 ano de ciclo de serviço, como é demonstrado no Quadro 4.7. Uma representação gráfica dos modelos de Markov de cada estado de condição é mostrado na Figura 4.12 usando um gráfico de barras. O estado da rede em qualquer ano pode ser previsto através da leitura do gráfico e as proporções esperadas de comprimento da rede em cada um dos cinco estados de conservação (Rayya, *et al.*, 2014).

Quadro 4.7 Cadeias de Markov para uma rede utilizando um vetor inicial para o ano de 2014

| Vetor inicial = | | | 0,04 | 0,50 | 0,38 | 0,06 | 0,02 |
|--------------------------------|-------|---------|------|------|------|------|------|
| | | De/Para | MB | B | Med | M | MM |
| MPT | | MB | 0,85 | 0,15 | 0 | 0 | 0 |
| | | B | 0 | 0,64 | 0,36 | 0 | 0 |
| | | Med | 0 | 0 | 0,37 | 0,63 | 0 |
| | | M | 0 | 0 | 0 | 0,60 | 0,40 |
| | | MM | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Vetores dos diferentes estados | | | | | | | |
| Ano | Tempo | Estado | MB | B | Med | M | MM |
| 2014 | 0 | 0 | 0,04 | 0,50 | 0,38 | 0,06 | 0,02 |
| 2015 | 1 | 1 | 0,03 | 0,33 | 0,32 | 0,28 | 0,04 |
| 2016 | 2 | 2 | 0,03 | 0,21 | 0,24 | 0,37 | 0,15 |
| 2017 | 3 | 3 | 0,02 | 0,14 | 0,16 | 0,37 | 0,30 |
| 2018 | 4 | 4 | 0,02 | 0,09 | 0,11 | 0,32 | 0,45 |
| 2019 | 5 | 5 | 0,02 | 0,06 | 0,08 | 0,27 | 0,58 |
| 2020 | 6 | 6 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,21 | 0,68 |
| 2021 | 7 | 7 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,16 | 0,77 |
| 2022 | 8 | 8 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,83 |
| 2023 | 9 | 9 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,88 |
| 2024 | 10 | 10 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,91 |

O primeiro e segundo parâmetros do vetor em 2015 (Estádio 1) = $X(1) = [0,03 ; 0,33 ; 0,32 ; 0,28 ; 0,04]$ são determinados da seguinte forma:

- Proporção da rede em MB estado em 2015 = $0,04 \times 0,85 + 0,50 \times 0 + 0,38 \times 0 + 0,06 \times 0 + 0,02 \times 0 = 0,03$
- Proporção da rede em B estado em 2015 = $0,04 \times 0,15 + 0,50 \times 0,64 + 0,38 \times 0 + 0,06 \times 0 + 0,02 \times 0 = 0,33$

O primeiro e segundo parâmetros do vetor em 2016 (Estado 2) = $X(2) = [0,03; 0,21; 0,24; 0,37; 0,15]$ são determinados da seguinte forma:

- Proporção da rede na condição MB em 2016 = $0,03 \times 0,85 + 0,33 \times 0 + 0,32 \times 0 + 0,28 \times 0 + 0,04 \times 0 = 0,03$
- Proporção da rede na condição B em 2016 = $0,03 \times 0,15 + 0,33 \times 0,64 + 0,32 \times 0 + 0,28 \times 0 + 0,04 \times 0 = 0,21$

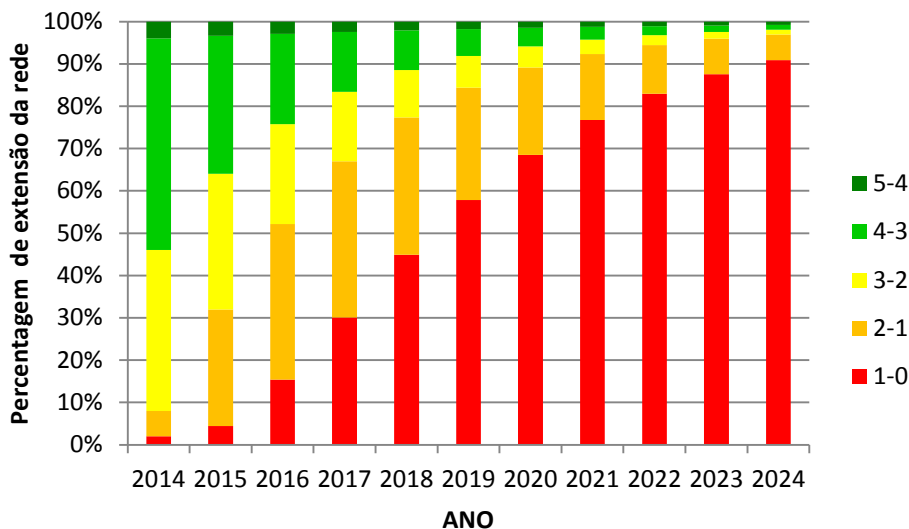


Figura 4.12 Exemplo da aplicação de modelos de Markov usando o vetor de estado inicial do ano 2014 e a MPT

Para poder prever, para qualquer segmento do pavimento, as probabilidades de estarem em qualquer um dos cinco estados de conservação, usa-se a mesma MPT, mas altera-se o vetor inicial para a situação representativa do estado após a realização de uma ação de conservação. Neste exemplo considera-se o estado de Muito Bom = $[1; 0; 0; 0; 0]$. Os resultados a que se chegou são os apresentados no Quadro 4.8. Nas Figuras 4.13 e 4.14 são apresentados dois gráficos que mostram, respetivamente, a previsão da degradação do pavimento considerado no exemplo e a previsão da evolução do seu estado de conservação utilizando, como vetor inicial, $X(0) = [1; 0; 0; 0; 0]$.

Quadro 4.8 Modelos de Markov utilizando o vetor de estado inicial, a MPT e a média do IQ que caracteriza o estado de conservação (WAC)

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tempo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Estado | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-4 | 1,00 | 0,85 | 0,72 | 0,61 | 0,52 | 0,44 | 0,38 | 0,32 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
| 4-3 | 0,00 | 0,15 | 0,22 | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 |
| 3-2 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,09 |
| 2-1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,18 |
| 1-0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,17 | 0,24 | 0,32 | 0,39 |
| WAC | 4,50 | 4,35 | 4,17 | 3,95 | 3,69 | 3,40 | 3,11 | 2,82 | 2,55 | 2,29 | 2,06 |
| L.Sup | 5,00 | 4,85 | 4,67 | 4,45 | 4,19 | 3,90 | 3,61 | 3,32 | 3,05 | 2,79 | 2,56 |
| L.Inf | 4,00 | 3,85 | 3,67 | 3,45 | 3,19 | 2,90 | 2,61 | 2,32 | 2,05 | 1,79 | 1,56 |

Os modelos de Markov podem ser apresentados em termos do valor médio ponderado do estado de conservação (WAC) em qualquer ano, ou seja, os valores médios dos intervalos de IQ ponderados pelas probabilidades da MTP para determinado ano.

Assim, os valores médios para os 5 estados de conservação considerados são os seguintes: MB = 4,5 (média entre 4 e 5); B = 3,5 (média entre 3 e 4); Med = 2,5 (média entre 2 e 3); M = 1,5 (média entre 1 e 2); MM = 0,5 (média entre 0 e 1). Os valores de WAC são os apresentados no Quadro 4.8 e são determinados tendo em conta o vetor de estado inicial e a MPT. A título de exemplo, mostra-se o modo como se determinou o valor em 2015:

$$\text{WAC} = 0,85 \times 4,5 + 0,15 \times 3,5 + 0 \times 2,5 + 0 \times 1,5 + 0 \times 0,5 = 4,35.$$

Em vez dos valores médios de IQ podem considerar-se os mínimos (L.Inf) ou os máximos (L.Sup) do intervalos, o que permite analisar cenários de evolução do IQ mais pessimistas e mais otimistas, respetivamente.

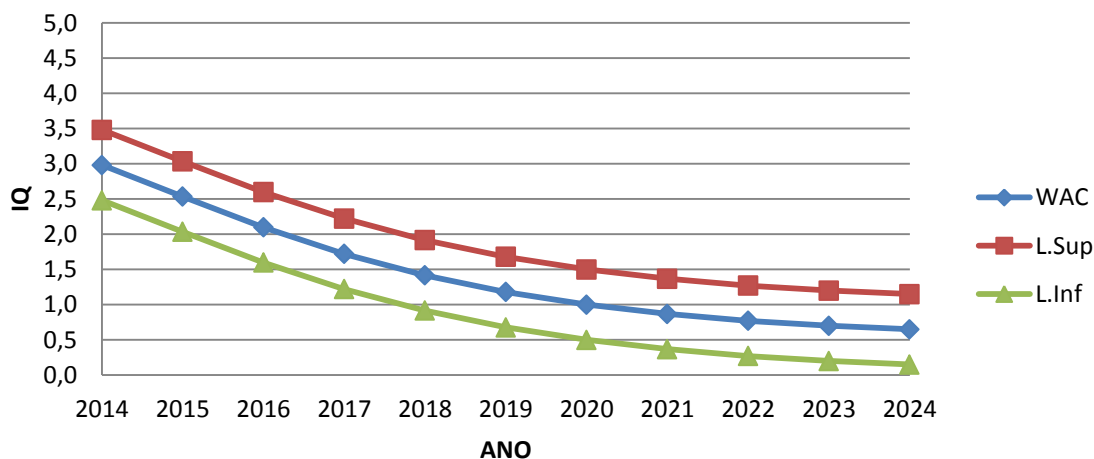


Figura 4.13 Modelos de Markov com vetor inicial $X(0) = [0,04; 0,50; 0,38; 0,06; 0,02]$ e com valores de WAC e seus respectivos limites

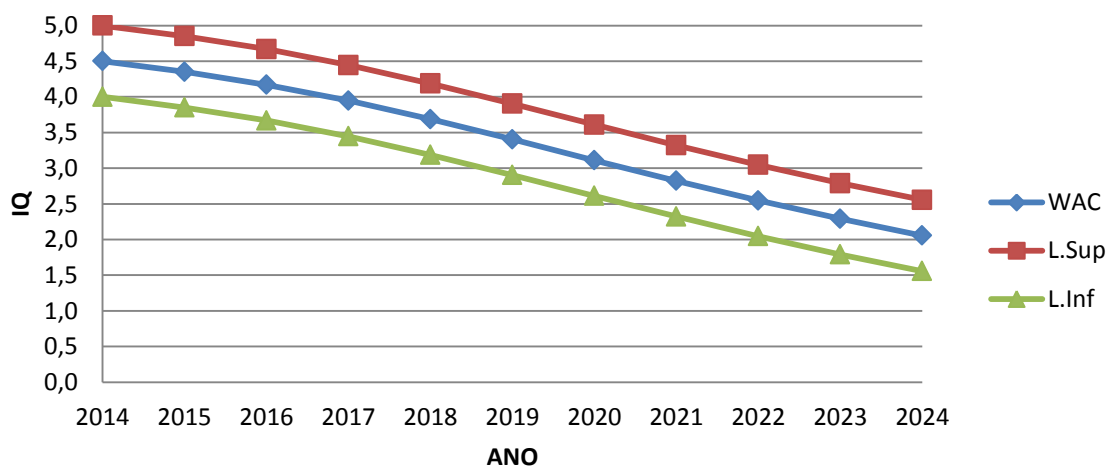


Figura 4.14 Modelos de Markov com vetor inicial $X(0) = [1; 0; 0; 0; 0]$ e com valores de WAC e seus respectivos limites

4.5.3 Avaliação de Estratégias adotado em casos com tráfego

Tal como já foi referido anteriormente, a grande maioria das ruas no itinerário em estudo tem um tráfego de pesados não desprezável, embora com valores relativamente baixos, típicos de zonas marcadamente urbanas. Para estes casos, foi utilizado o modelo de comportamento de pavimentos da AASHTO (AASHTO, 1993). O tráfego de pesados foi traduzido, ao longo do período de análise, pelo número acumulado previsível de repetições de carga do eixo padrão de 80 kN.

De acordo com o Manual de Pavimentos Português (JAE, 1995), o TMD de pesados a considerar sobre o pavimento deve ser o que solicita a via mais solicitada, tal como se indica no Quadro 4.9. No Quadro 4.10 são apresentados os valores das contagens de veículos pesados obtidos pela Metro Mondego e recolhidos com base nos horários dos SMTUC, e os valores de TMD de pesados calculados com base naqueles.

Quadro 4.9 Percentagem do tráfego na via mais solicitada [adaptado de (JAE, 1995)]

| Nº de Vias | Via mais solicitada |
|------------|---------------------|
| 1 | 100 |
| 2 | 90 |
| 3 ou mais | 80 |

Nos trechos em que se dispunha de contagens da Metro Mondego para a hora de ponta da manhã, considerou-se que os valores da hora de ponta corresponderiam a cerca de 10% do TMD. Por exemplo, para a Rua do Brasil (2 vias), obteve-se um TMD de 225 veículos pesados na via mais solicitada: $45 \times 0,5 / 0,1 = 225$.

Nos restantes trechos, nos quais predominava o tráfego de autocarros de transporte público, considerou-se uma percentagem idêntica. Nestes casos a estimativa do tráfego de pesados foi efetuada a partir dos horários das carreiras dos SMTUC com itinerários coincidentes com os trechos analisados. Além disso, considerou-se um acréscimo de 20% para o TMD resultante, de modo a considerar o tráfego de veículos pesados relativo a cargas e descargas, recolha de resíduos sólidos, etc. Por exemplo, para a Rua João de Deus Ramos (4 vias), calculou-se um valor de TMD de 113 veículos pesados: $21 \times 0,45 \times 1,2 / 0,1 = 113,4$.

Quadro 4.10 Valores de TMD com base em valores obtidos através da Metro Mondego e SMTUC

| | V. Horário de Pesados Metro Mondego | V. Horário de Pesados SMTUC | TMD |
|-------------------------------------|--|--------------------------------|-------|
| Rua do Brasil | 45 | | 225 |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | | 6 | 32,4 |
| Rua João de Deus Ramos | | 21 | 113,4 |
| Rua Carolina Michaelis | | 21 | 113,4 |
| Rua Sacadura Cabral | | 14 | 84 |
| Avenida António Portugal | 10 | | 45 |
| Rua Afrânio Peixoto | 47 | | 211,5 |
| Rua Dr. Afonso Romão | 9 | | 40,5 |
| Circular Interna de Coimbra | 24 | | 108 |
| Circular Externa de Coimbra | 19 | | 85,5 |
| Rua Padrão | 66 | | 297 |
| Avenida Emídio Navarro | 41 | | 164 |
| Avenida Lousã | 41 | | 184,5 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | | 19 | 102,6 |

Como nível mínimo de qualidade (NMQ) foi considerado o valor de 2 para o IQ e um conjunto de estratégias de conservação para o médio prazo (10 anos), considerando 5 tipos diferentes de intervenções, aos quais correspondem os custos apresentados no Quadro 4.11 (Picado-Santos, 2013).

Quadro 4.11 Níveis de intervenção e respetivos custos (Picado-Santos, 2013)

| Número | Descrição | Custo |
|--------|--|------------------------|
| 1 | Não fazer nada | 0,00 €/m ² |
| 2 | Recuperação das características superficiais | 5,18 €/m ² |
| 3 | Reabilitação leve | 12,25 €/m ² |
| 4 | Reabilitação média | 18,79 €/m ² |
| 5 | Reabilitação forte | 21,29 €/m ² |

A intervenção do tipo 1 corresponde a *Não fazer nada*, ou seja, não há qualquer ação de conservação. As restantes intervenções referem-se a ações de conservação que podem ser leves ou mais profundas, aumentando os custos das ações à medida que as intervenções têm maior impacto no estado de conservação dos pavimentos. Os valores do Quadro 4.11 correspondem, não só aos custos diretamente associados aos trabalhos referidos no Quadro 4.12, mas também a outros custos geralmente envolvidos nas ações de conservação como, por exemplo, a reposição de marcas rodoviárias. No Quadro 4.12 resumem-se as componentes dos custos associadas a cada uma das ações de conservação consideradas no estudo.

Quadro 4.12 Estrutura das intervenções e custos correspondentes (Picado-Santos, 2013)

| Número | Descrição | Custo (€/m ²) |
|---|---|---------------------------|
| 1 | Não fazer nada | 0,00 |
| 2 | Rega de colagem | 0,17 |
| | Reperfilamento na espessura média de 1cm | 0,92 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| 3 | Camada de desgaste não estrutural | 0,70 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Reperfilamento na espessura média de 2cm | 1,84 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Camada anti propagação de fendilhamento | 0,70 |
| 4 | Rega de colagem | 0,17 |
| | Reperfilamento na espessura média de 2cm | 1,84 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Camada anti propagação de fendilhamento | 0,70 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Camada de regularização em mistura betuminosa densa com 5cm | 3,30 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| Camada de desgaste em 5cm de betão betuminoso | 4,46 | |
| 5 | Rega de colagem | 0,17 |
| | Reperfilamento na espessura média de 2cm | 1,84 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Camada anti propagação de fendilhamento | 0,70 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| | Camada de base em macadame betuminoso com 10cm | 8,92 |
| | Rega de colagem | 0,17 |
| Camada de desgaste em 5cm de betão betuminoso | 4,46 | |

A aplicação de uma ação de reabilitação num pavimento faz variar o número estrutural, SN, do mesmo. O acréscimo do número estrutural varia com a espessura e o coeficiente estrutural dessa nova camada. No estudo de caso, assumiu-se que os sistemas de drenagem dos pavimentos funcionavam bem, pelo que os coeficientes de drenagem assumem o valor de 1. Os coeficientes estruturais, os quais estão diretamente relacionados com os módulos de deformabilidade das camadas, assumem diferentes valores em função do tipo de camada do pavimento. No Quadro 4.13 apresentam-se os valores dos coeficientes estruturais a considerar por cada centímetro de espessura das camadas existentes ou construídas no âmbito de ações de conservação (Meneses, 2006).

Quadro 4.13 Coeficientes estruturais (Meneses, 2006)

| Material | Descrição | C_n^e/cm |
|----------------|--|------------|
| BD | Camada de desgaste em betão betuminoso | 0,17323 |
| MB | Base betuminosa | 0,13386 |
| Semipenetração | Base granular com betuminoso | 0,09449 |
| BG | Base granular | 0,05512 |
| SBG | Sub-base granular | 0,04331 |

O valor relativo à semipenetração, metodologia já pouco utilizada mas ainda existente em pavimentos em serviço, foi determinado, de forma aproximada, considerando que a contribuição estrutural de um camada daquele tipo corresponderá a um valor intermédio entre o de uma camada granular (BG) e o de uma camada de Base Betuminosa (MB), tendo-se adotado o valor de 0,09449.

Quando não são realizadas ações de conservação ou reabilitação num pavimento o seu estado vai-se degradando, ou seja, o valor do IQ vai-se depreciando. Como o número estrutural (SN) do pavimento está diretamente relacionado com o IQ, aquele vai variando também. Assim, para cada nível de intervenção pode estabelecer-se a variação do número estrutural correspondente, tal como se mostra no Quadro 4.14.

Quadro 4.14 Variação do ΔSN com os diversos níveis de intervenção (Meneses, 2006)

| Número | Descrição | ΔSN |
|--------|--|-------------|
| 1 | Não fazer nada | 0 |
| 2 | Recuperação das características superficiais | 0,17323 |
| 3 | Reabilitação leve | 1,21261 |
| 4 | Reabilitação média | 2,07876 |
| 5 | Reabilitação forte | 2,55121 |

No primeiro ano de análise, ou seja, no ano em que se fez o levantamento (2014), e tal como se apresentou no Quadro 4.4, determinou-se o IQ. Depois, para a aplicação da fórmula da AASHTO no período de análise, utilizaram-se os parâmetros indicados no Quadro 4.14.

Vai utilizar-se o caso da Rua do Brasil para apoiar a explicação de todo o processo de cálculo. O tráfego médio diário anual de pesados na via mais solicitada ($TMDA_p$) determinado foi de 225 veículos pesados. Este valor foi obtido pela metodologia que se descreveu,

No estudo de caso, como não foi usado qualquer equipamento para a avaliação mecânica do módulo de deformabilidade (Mr) da fundação, este valor foi estimado com base no estado superficial dos pavimentos, comparando com situações idênticas em que era conhecido o Mr .

Na Figura 4.15 são apresentadas todas as estruturas de pavimentos em avaliação do trajeto em estudo.

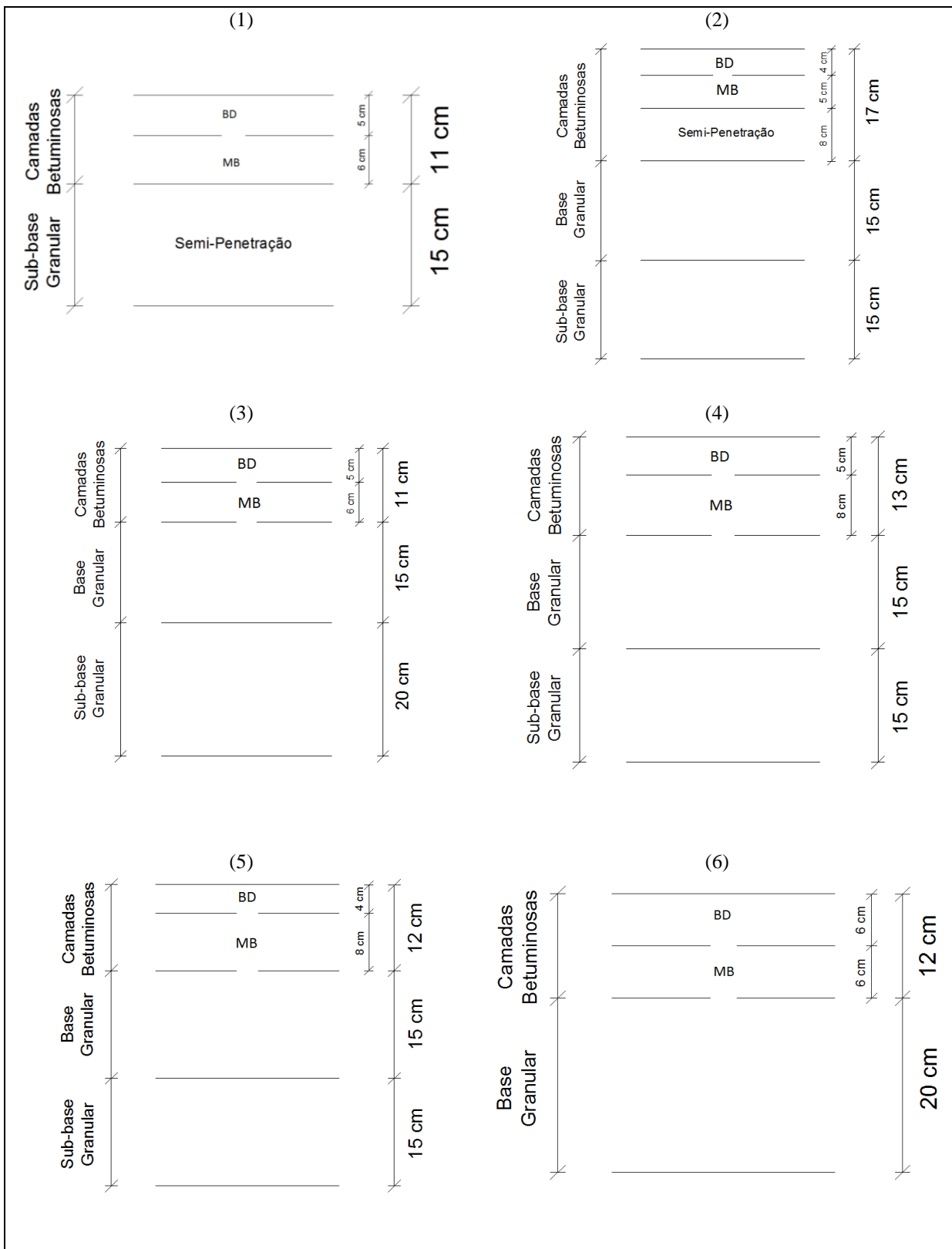


Figura 4.15 Estruturas dos pavimentos em estudo

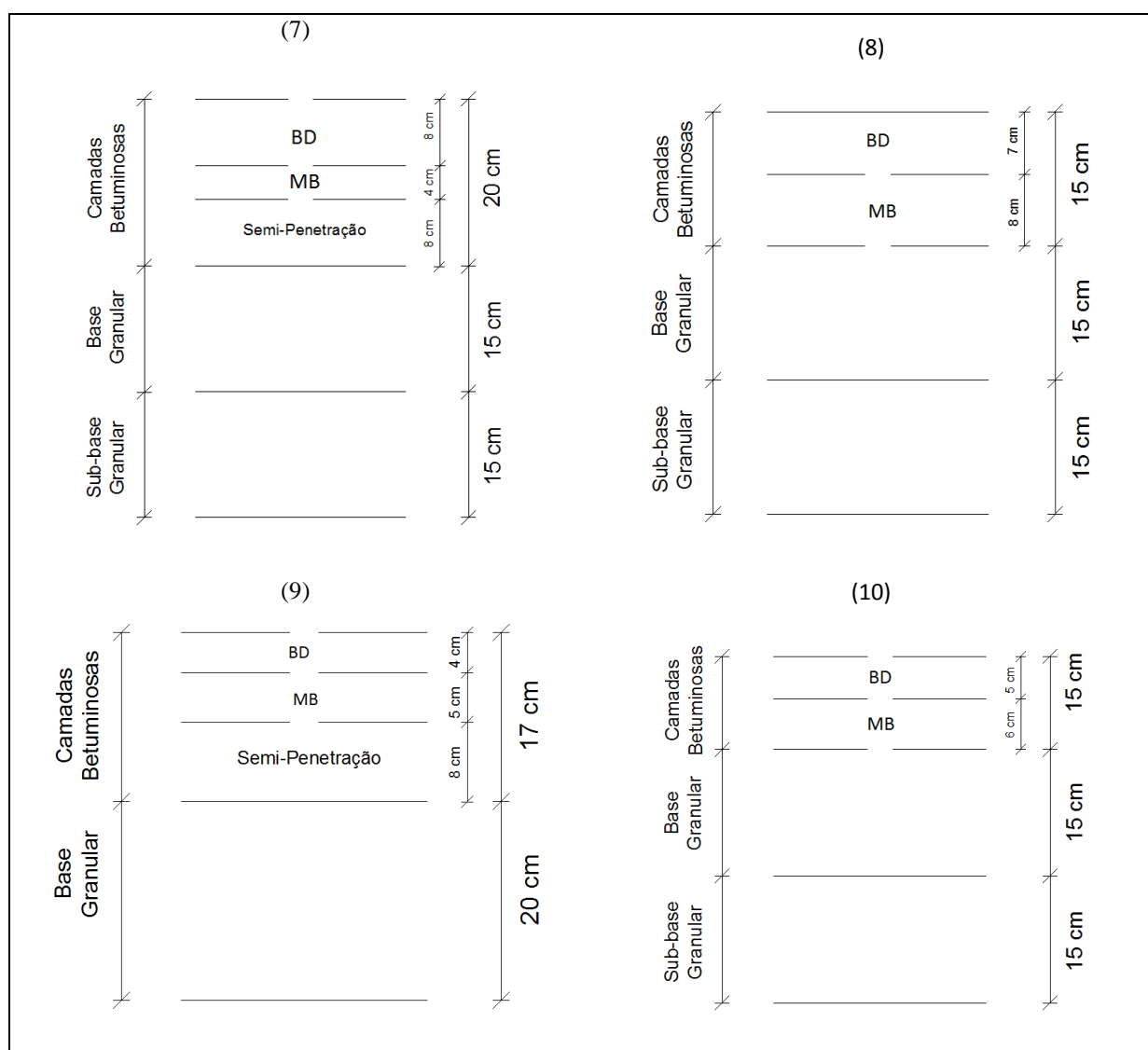


Figura 4.15 Estruturas dos pavimentos em estudo (continuação)

No Quadro 4.15 é feita a correspondência entre o número da estrutura e a rua correspondente. Com os dados referidos foi possível obter os restantes dados caracterizadores das estruturas dos pavimentos indicados no Quadro 4.15.

Quadro 4.15 Correspondência da estrutura do pavimento com a rua

| Estrutura | Rua |
|-----------|--|
| 1 | Rua do Brasil I |
| 2 | Rua do Brasil II; Rua do Brasil III |
| 3 | Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira; Rua João de Deus Ramos; Rua Carolina Michaelis; Rua Sacadura Cabral; Avenida António Portugal |
| 4 | Rua Afrânio Peixoto |
| 5 | Rua Dr. Afonso Romão; Circular Interna; |
| 6 | Circular Externa |
| 7 | Rua Padrão |
| 8 | Avenida Cidade Aeminium V |
| 9 | Avenida Emídio Navarro |
| 10 | Avenida da Lousã; Avenida Cónego Urbano Duarte |

Nos Quadros 4.16, 4.17 e 4.18 resumem-se os valores correspondentes à evolução do IQ ao longo do tempo, utilizando o modelo da AASHTO. Os valores do tráfego utilizados em cada ano, correspondem ao número acumulado de eixos padrão até esse ano, considerando uma taxa de crescimento igual a zero. Os parâmetros caracterizadores do pavimento são os indicados no Quadro 4.16. Os valores de IQ para o ano inicial (ano 0) são os calculados no Quadro 4.4.

Assim, é possível aplicar a expressão (4.6), ficando-se apenas com a incógnita ΔIQ . Por exemplo, no ano 1, o IQ é determinado fazendo a diferença entre o valor do IQ no ano zero e o valor de ΔIQ obtido.

Quadro 4.16 Valores e parâmetros necessários ao preenchimento da equação da AASHTO, para a Rua do Brasil

| Segmento | Z _r | S ₀ | SN _t | CF | RL | SN ₀ | MR (MPa) | Mr (psi) | BD | | MB | | Semipenetração | | BG | | SBG | |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-------|--------|-----------------|----------|----------|--------|---------|----|---------|----------------|---------|---------|---------|-----|---------|
| | | | | | | | | | e (cm) | C | e | C | e (cm) | C | e (cm) | C | e | e (cm) |
| Rua do Brasil I | -1,645 | 0,40 | 2,754 | 0,892 | 47,516 | 3,087 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | 15 | 0,09449 | 0,05512 | 0,04331 | | |
| Rua do Brasil II | -1,645 | 0,40 | 3,041 | 0,846 | 36,091 | 3,595 | 60 | 8702,262 | 4 | 0,17323 | 5 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua do Brasil III | -1,645 | 0,40 | 3,595 | 1,000 | 90,052 | 3,595 | 100 | 14503,77 | 4 | 0,17323 | 5 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |

Notas sobre os valores indicados no Quadro 4.16:

O fator de confiança da fórmula da AASHTO é composto por duas variáveis:

Z_r - simboliza o desvio padrão; assume o valor de -1,645 para uma fiabilidade de 95%.

S₀ - assume valores entre 0,40 e 0,50 para pavimentos flexíveis, e entre 0,35 e 0,40 para pavimentos rígidos.

$$SN_t = CF \times SN_0 \quad (4.12)$$

$$CF = 0,50 + 0,0155 \times RL - (2E - 4) \times RL^2 + (E - 6) \times RL^3 \quad (4.13)$$

$$RL = \frac{IQ_t - 1,0}{4,2 - 1,0} \times 100, (\text{Se } RL > 90\% \Rightarrow CF = 1) \quad (4.14)$$

$$SN_0 = \sum_{n=1}^{n=i} e_n \times C_n \quad (4.15)$$

Onde:

SN_t é o número estrutural do pavimento no ano t é obtido através da equação (4.12);

CF é o fator de estado;

RL é a vida remanescente de um pavimento (%).

Quadro 4.17 Aplicação da fórmula da AASHTO para os primeiros 5 anos de previsão

| Segmento | ANO 0 | | ANO 1 | | ANO 2 | | ANO 3 | | ANO 4 | | ANO 5 | | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | | | |
| Rua do Brasil I | 2,520 | 246375 | 0,234 | 2,286 | 492750 | 0,6829 | 1,8376 | 739125 | 1,2757 | 1,2448 | 985500 | 1,9875 | 0,5330 | 1231875 | 2,8034 | -0,2829 |
| Rua do Brasil II | 2,155 | 246375 | 0,560 | 1,595 | 492750 | 1,2694 | 0,8855 | 739125 | 2,0474 | 0,1075 | 985500 | 2,8741 | -0,7192 | 1231875 | 3,7390 | -1,5841 |
| Rua do Brasil III | 3,882 | 246375 | 0,137 | 3,745 | 492750 | 0,2397 | 3,6420 | 739125 | 0,3315 | 3,5502 | 985500 | 0,4172 | 3,4644 | 1231875 | 0,4988 | 3,3829 |

Por exemplo, para o segmento Rua do Brasil I:

$$IQ \text{ ano } 0 = 2,520; \Delta IQ (\text{ano } 1) = 0,234$$

$$IQ \text{ ano } 1 = 2,520 - 0,234 = 2,286$$

Quadro 4.18 Aplicação da fórmula da AASHTO para os últimos 5 anos de previsão

| Segmento | ANO 0 | | ANO 6 | | ANO 7 | | ANO 8 | | ANO 9 | | ANO 10 | | | | | |
|-------------------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | N80 | ΔIQ | IQ | | | |
| Rua do Brasil I | 2,520 | 1478250 | 3,7130 | -1,1925 | 1724625 | 4,7087 | -2,1882 | 1971000 | 5,7848 | -3,2643 | 2217375 | 6,9363 | -4,4158 | 2463750 | 8,1593 | -5,6388 |
| Rua do Brasil II | 2,155 | 1478250 | 4,6356 | -2,4807 | 1724625 | 5,5595 | -3,4045 | 1971000 | 6,5073 | -4,3524 | 2217375 | 7,4767 | -5,3217 | 2463750 | 8,4655 | -6,3106 |
| Rua do Brasil III | 3,882 | 1478250 | 0,5771 | 3,3046 | 1724625 | 0,6528 | 3,2289 | 1971000 | 0,7264 | 3,1553 | 2217375 | 0,7982 | 3,0835 | 2463750 | 0,8683 | 3,0133 |

No exemplo que se mostrou pode concluir-se que os valores do IQ obtidos para o segmento I e II atingem valores muito baixos logo nos primeiros anos de análise, o que corresponde a níveis de degradação elevados. Obviamente, os valores negativos obtidos não têm significado. Apenas se mostram para evidenciar qual seria a variação no tempo do estado do pavimento na situação de não serem realizadas quaisquer ações de conservação. Na Figura 4.16 ilustra-se o andamento da curva de variação do IQ com o tempo. Caso se estabeleça um Nível Mínimo de Qualidade (NMQ) igual a 2, o que configura uma exigência corrente, fica patente a necessidade de intervenções nos segmentos 1.1 e 1.2 logo nos primeiros anos do período de análise. Na Figura 4.16 os trechos representados são os seguintes:

- 1.1 – Trecho I da Rua do Brasil
- 1.2 – Trecho II da Rua do Brasil
- 1.3 – Trecho III da Rua do Brasil

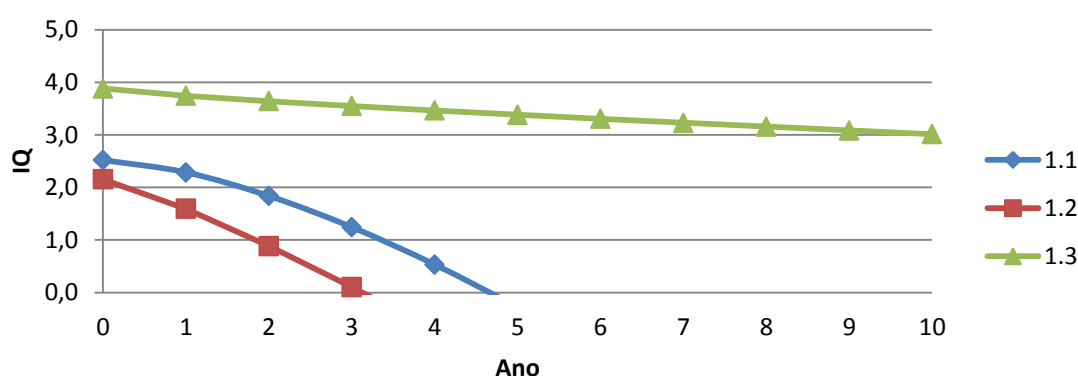


Figura 4.16 Evolução previsível do IQ para a Rua do Brasil pela aplicação do modelo da AASHTO.

De modo a manter o NMQ, torna-se necessário intervir nos trechos I e II, visto que o trecho III apresenta uma previsão para o IQ no final dos dez anos de aproximadamente 3, o que é acima do NMQ. A intervenção tem de ocorrer logo no ano 1, apesar de no trecho I o valor do IQ estar compreendido entre 2 e 2,5, no ano 2 já se encontra abaixo de 2. Nas Figuras 4.17 e 4.18 é possível observar o resultado dessas intervenções no valor do IQ. Consideraram-se intervenções designadas por *Tipo_i* (com $i = 2, 3, 4$ e 5), cuja numeração corresponde à descrição apresentada no Quadro 4.14.

As Figuras 4.17 e 4.18 representam, respectivamente, para os trechos I e II da Rua do Brasil, a evolução previsível do IQ, considerando em cada um dos trechos as intervenções indicadas, com o objetivo de melhorar o nível de qualidade dos pavimentos. Fazendo intervenções do tipo *Tipo_2* ao tipo *Tipo_5*, melhora-se o IQ para níveis entre 3 e 4, ou 4 e 5, consoante o caso, podendo decidir-se qual aplicar em função do orçamento disponível.

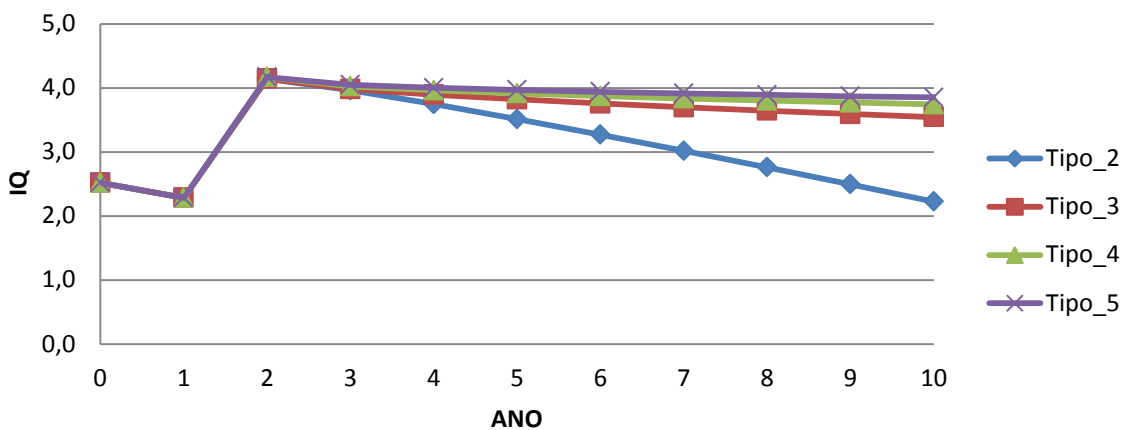


Figura 4.17 Evolução do IQ após as intervenções no trecho I da Rua do Brasil

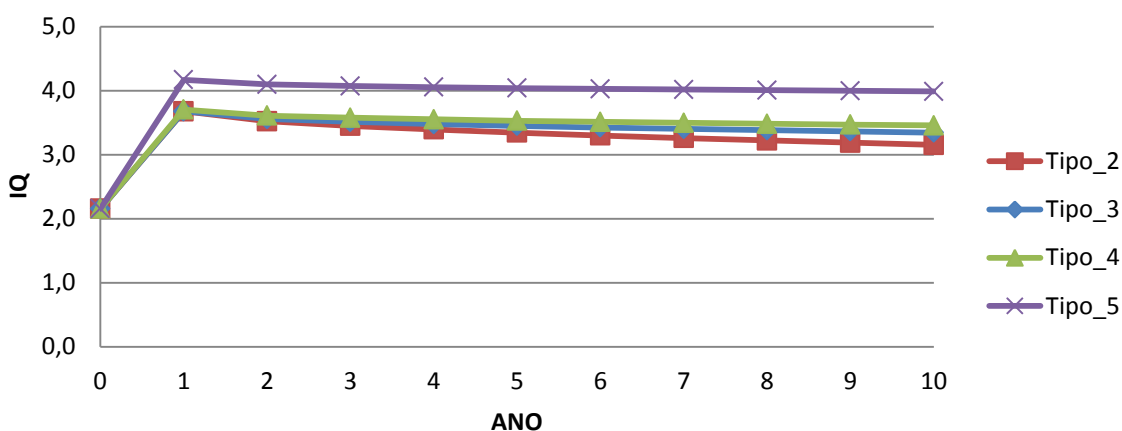


Figura 4.18 Evolução do IQ após as intervenções no trecho II da Rua do Brasil

O Quadro 4.19 identifica os tipos de intervenções considerados pertinentes para corrigir cada uma das patologias observadas.

Quadro 4.19 Tipos de Patologias & Tipos de Intervenção

| Tipo de Patologia | Tipo de Intervenção |
|-------------------|---------------------|
| Rodeiras | 5 |
| Covas | 4, 5 |
| Peladas | 3, 4, 5 |
| Reparações | 2, 3, 4, 5 |
| Fendilhamento | 2, 3, 4, 5 |

A aplicação de um intervenção do tipo 2, por exemplo, considera-se adequada para eliminar o fendilhamento e reparações identificadas na fase da observação e criação da base de dados. O mesmo tipo de intervenção não foi considerado adequado para corrigir rodeiras, covas e peladas.

A aplicação de uma intervenção do tipo 3 no âmbito da metodologia seguida tem como efeito a eliminação do fendilhamento, reparações e peladas, mantendo-se as rodeiras e as covas.

A aplicação de uma intervenção do tipo 4 tem como efeito a eliminação de quase todo o tipo de patologias consideradas, exceto as rodeiras que apenas são eliminadas com intervenções do tipo 5.

Aplicou-se a metodologia descrita para a Rua do Brasil às restantes vias para as quais o tráfego de pesados era relevante. As Figuras 4.19 a 4.26 mostram o estado previsível dos pavimentos nos finais do ano 1 (2015) e do ano 10 (2024), último ano do período de análise, após intervenções de conservação efetuadas no ano 1. No trecho assinalado a azul o tráfego de pesados não é significativo, pelo que não pode aplicar-se o método da AASHTO. Nesse caso, aplicou-se o método das cadeias de Markov, apresentando-se os resultados mais adiante.

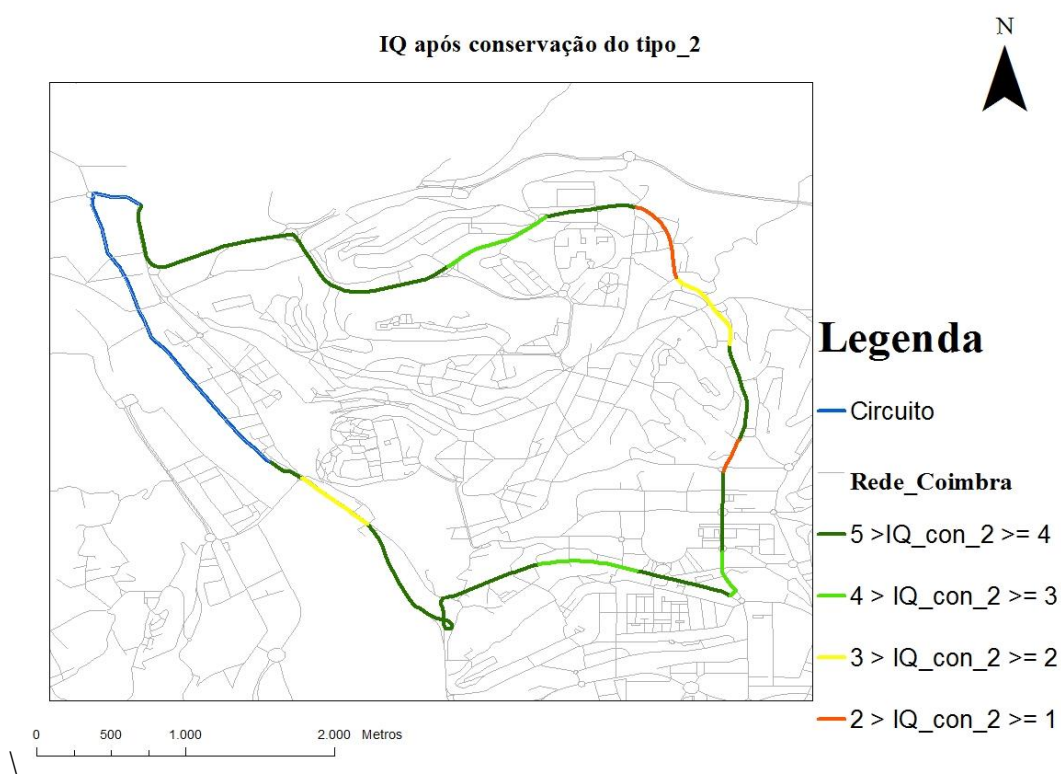


Figura 4.19 Imagem representativa do IQ logo após intervenção do tipo 2 no final do ano 1

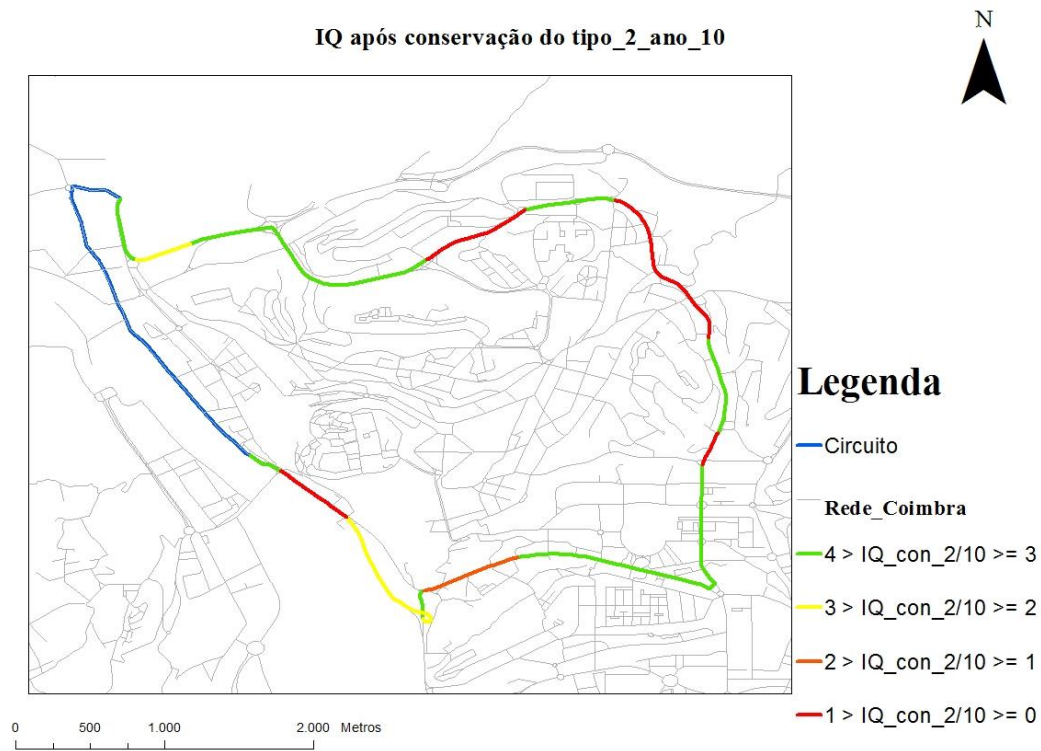


Figura 4.20 Imagem representativa do IQ no ano 10, após intervenção do tipo 2 no final do ano 1

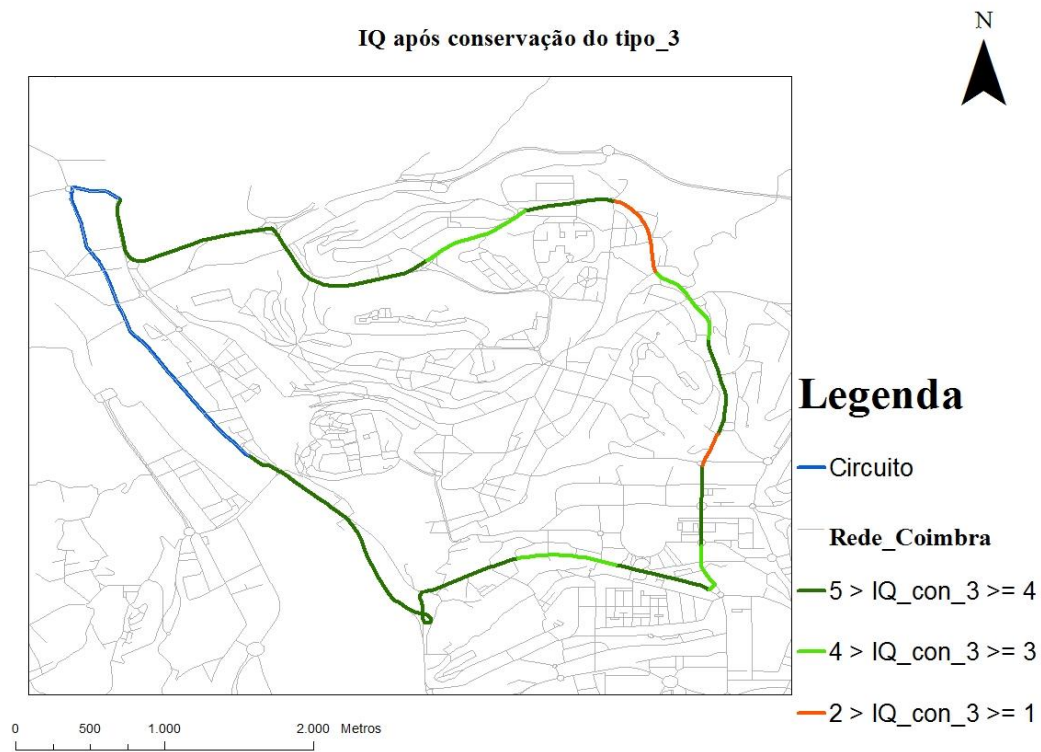


Figura 4.21 Imagem representativa do IQ logo após intervenção do tipo 3 no final do ano 1

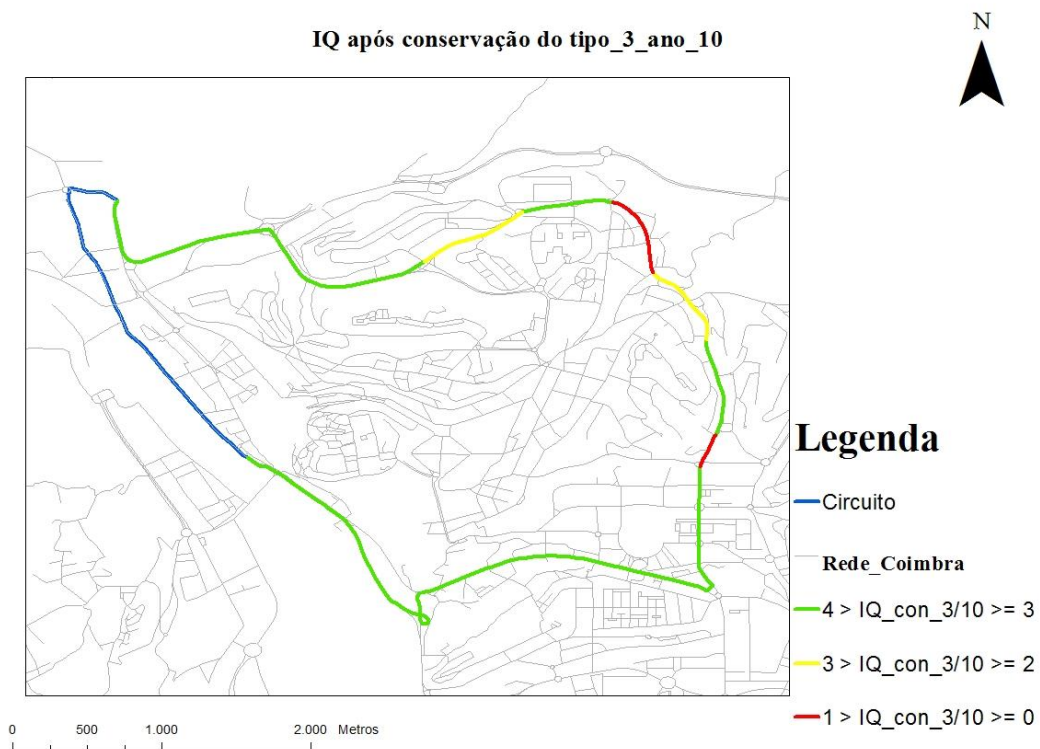


Figura 4.22 Imagem representativa do IQ no ano 10, após intervenção do tipo 3 no final do ano 1

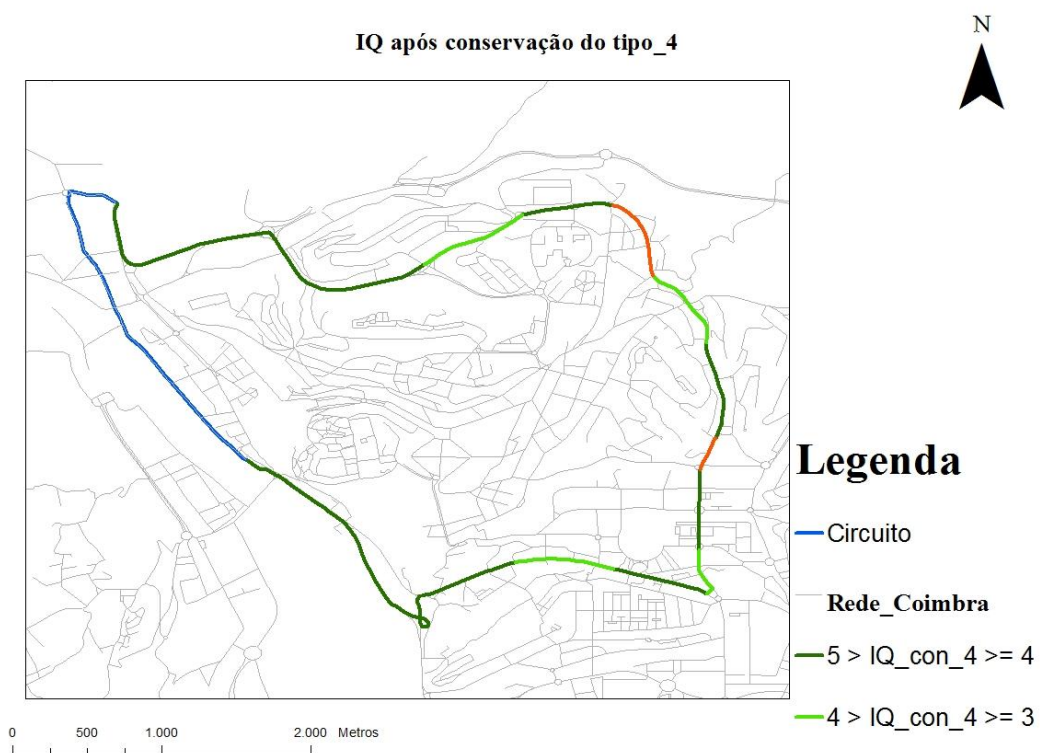


Figura 4.23 Imagem representativa do IQ logo após intervenção do tipo 4 no final do ano 1

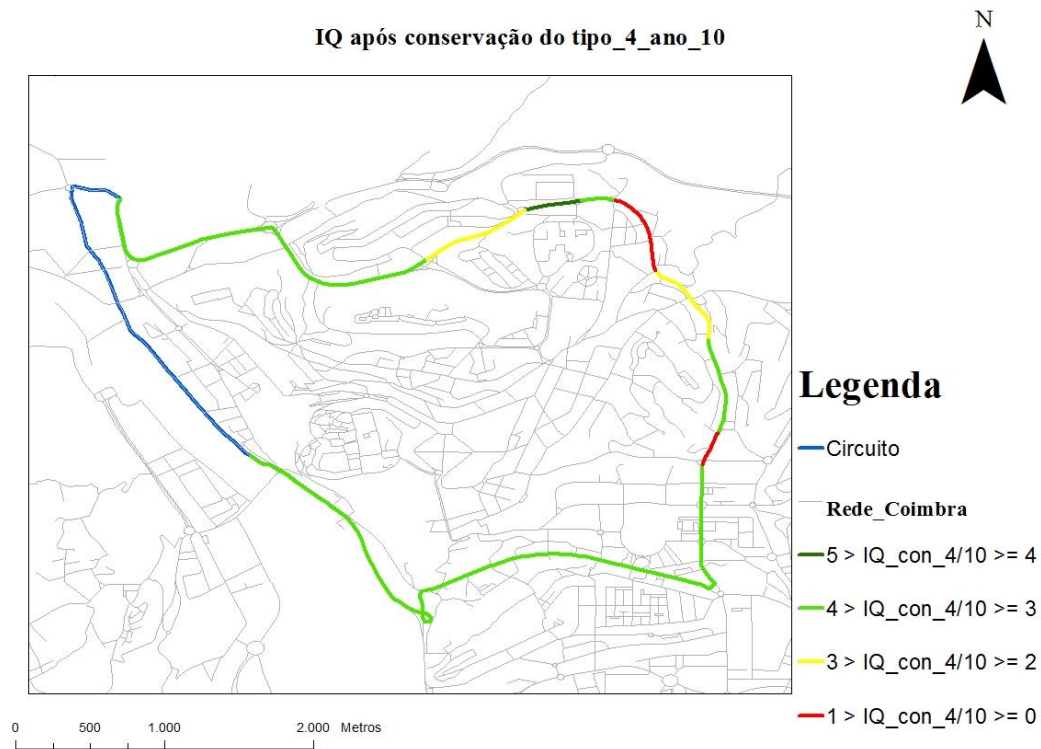


Figura 4.24 Imagem representativa do IQ no ano 10, após intervenção do tipo 4 no final do ano 1

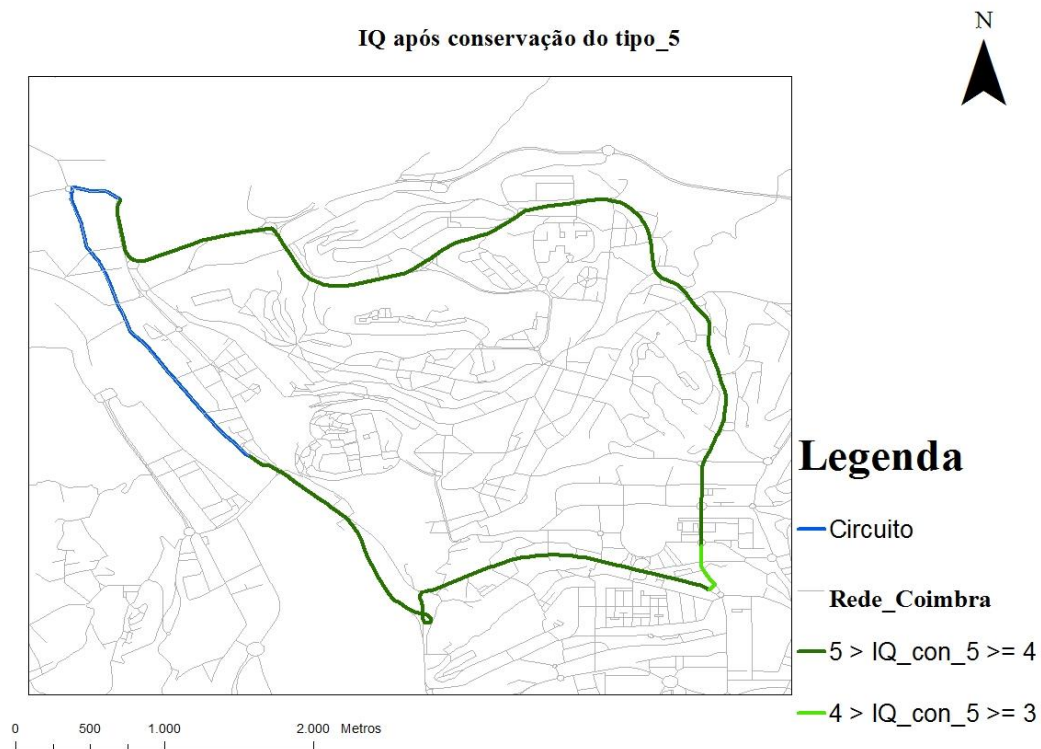


Figura 4.25 Imagem representativa do IQ logo após intervenção do tipo 5 no final do ano 1

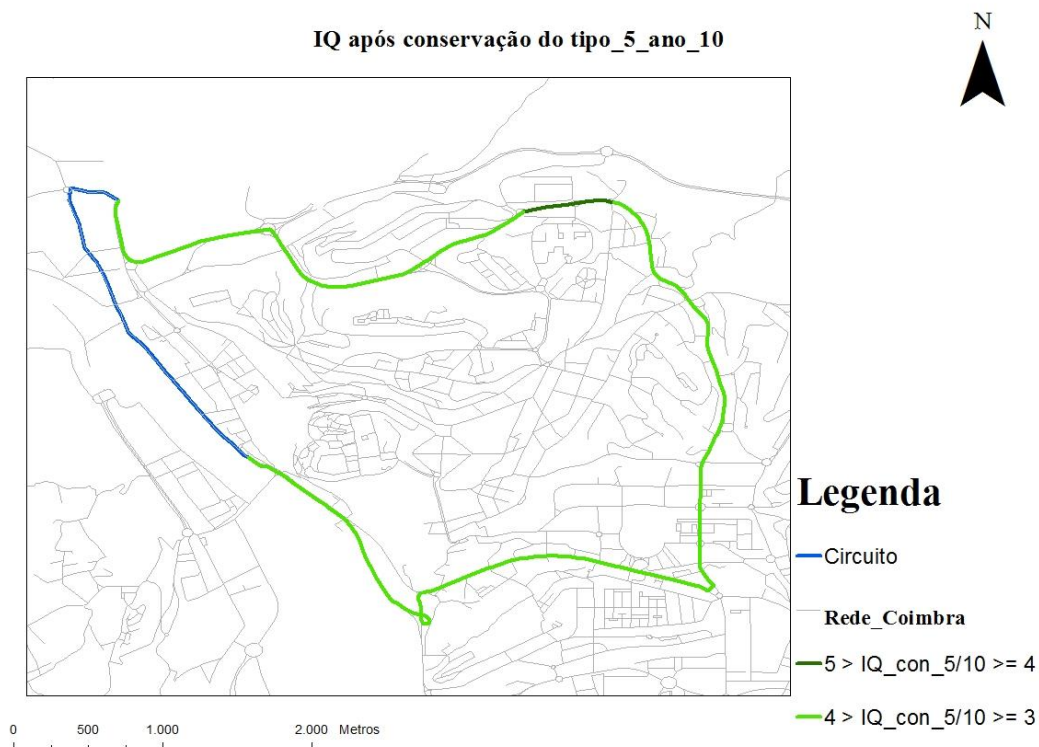


Figura 4.26 Imagem representativa do IQ no ano 10, após intervenção do tipo 5 no final do ano 1

Os mapas apresentados mostram quais os trechos que necessitam de intervenções e também a eficácia previsível dos diferentes tipos de intervenções para se conseguir alcançar os objetivos de qualidade dos pavimentos. A apreciação tem de ser complementada com a análise de custos para ser possível averiguar a compatibilidade das intervenções com o orçamento disponível. Os gráficos representados que se mostram nas figuras 4.27 a 4.29 são obtidos com o Sistema de Informação Geográfica utilizado como ferramenta.

Na Figura 4.27 representam-se as percentagens de extensão da rede com diferentes níveis de IQ no ano 0, ano de observação do estado dos pavimentos, e no ano 10, considerando que não haveria quaisquer ações de conservação durante esse período.

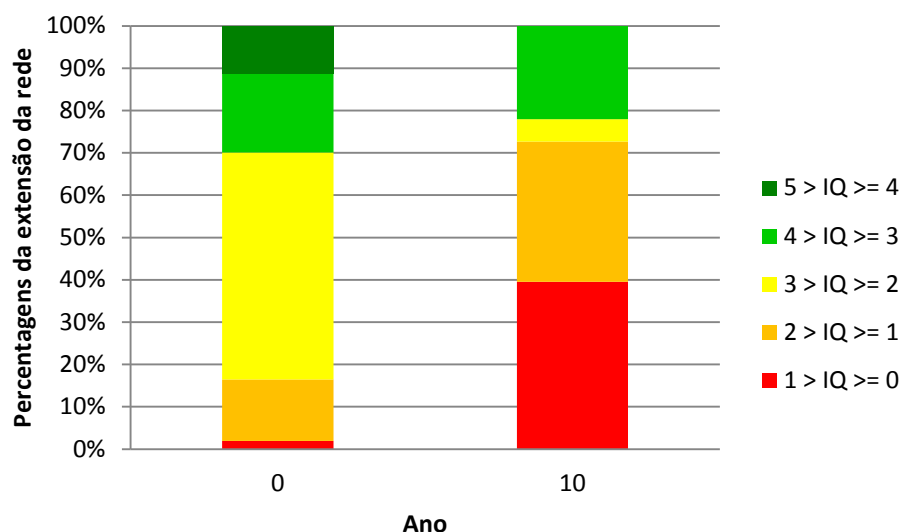


Figura 4.27 Percentagens da extensão total do circuito estudado com diferentes valores de IQ nos anos 0 e 10, sem ações de conservação

No gráfico da Figura 4.27 acima as variações observáveis entre o ano 0 e o ano 10 são bastante notórias. No ano de observação dos pavimentos (ano 0) apenas cerca de 2% da rede se encontrava no estado entre 0 e 1, ou seja, em muito mau estado, e a grande maioria, cerca de 52%, estava num estado considerado medíocre, entre 2 e 3. No final do período de 10 anos de análise, caso não se fizesse qualquer tipo de intervenção, como seria de prever, o estado da rede iria deteriorar-se bastante, sendo previsível que cerca de 40% da rede estaria com um IQ entre 0 e 1, ou seja, em muito mau estado. Apenas 4,5% da rede estaria, previsivelmente, num estado considerado medíocre, com IQ entre 2 e 3.

No Quadro 4.20 resumem-se os valores apresentados na Figura 4.27, com as percentagens da extensão total das vias com diferentes níveis de IQ.

Quadro 4.20 Percentagens do comprimento total das vias com diferentes níveis de IQ.

| | Intervalos de IQ | Comprimento (m) | Percentagem (%) |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Ano_0 | 5 > IQ >= 4 | 1253 | 11,42 |
| | 4 > IQ >= 3 | 2011 | 18,34 |
| | 3 > IQ >= 2 | 5751 | 52,43 |
| | 2 > IQ >= 1 | 1714 | 15,63 |
| | 1 > IQ >= 0 | 239 | 2,18 |
| | | 10968 | 100,00 |
| Ano_10 | 5 > IQ >= 4 | 0 | 0,00 |
| | 4 > IQ >= 3 | 2595 | 23,66 |
| | 3 > IQ >= 2 | 500 | 4,56 |
| | 2 > IQ >= 1 | 3540 | 32,28 |
| | 1 > IQ >= 0 | 4333 | 39,51 |
| | | 10968 | 100,00 |

Na Figura 4.28 representam-se as percentagens de extensão da rede com diferentes níveis de IQ no final do ano 1 (2015), ano em que se considerou a aplicação da maioria das intervenções. Na figura mostra-se a distribuição esperada do IQ quando se aplicam diferentes técnicas de conservação.

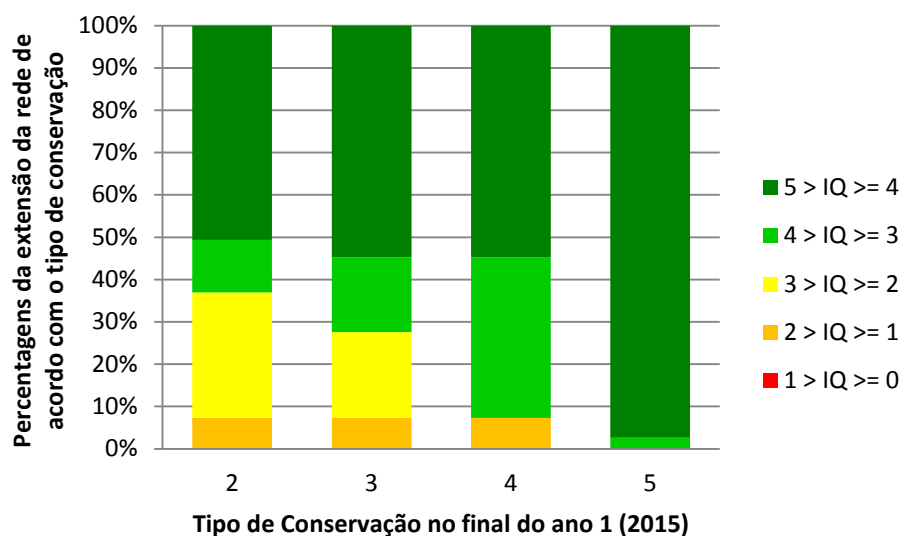


Figura 4.28 Distribuição das percentagens do comprimento total de vias com diferentes níveis de IQ no ano 1, considerando diferentes tipos de ações de conservação aplicados no final do ano 1 (2015)

Como é possível verificar na Figura 4.28, existia a possibilidade de intervir de 4 maneiras diferentes no final do ano 1 (2015). A apreciação dos 4 cenários possíveis mostra que a aplicação de uma ação de conservação do tipo 2 conduz a uma situação com cerca de 50 % da rede em muito bom estado, entre 4 e 5, ficando cerca de 30 % com um IQ entre 2 e 3. A aplicação de uma ação de conservação do tipo 3 faria aumentar a percentagem da rede no intervalo entre 4 e 5 para cerca de 55 % e diminuiria para cerca de 20 % a percentagem da rede no estado entre 2 e 3. Se a ação de conservação fosse do tipo 4, a percentagem da rede com um estado entre o nível 4 e 5 manter-se-ia igual, mas o estado entre 2 e 3 deixaria de existir. Por último, caso se aplicasse uma intervenção do tipo 5, o estado da rede ficaria muito bom e, portanto, com cerca de 97 % da rede entre o nível 4 e 5, e os restantes 3 % entre o nível 3 e 4.

No Quadro 4.21 resumem-se os valores apresentados na Figura 4.28, com as percentagens da extensão total das vias com diferentes níveis de IQ, em função do tipo de ação de conservação aplicada no ano 1.

Quadro 4.21 Distribuição das percentagens do comprimento total de vias pelos diferentes níveis de IQ (ano 1).

| Tipo de Ação de Conservação | Intervalos de IQ | Comprimento (m) | Percentagem (%) |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 2 | 5 > IQ >= 4 | 5552 | 50,62 |
| | 4 > IQ >= 3 | 1360 | 12,40 |
| | 3 > IQ >= 2 | 3259 | 29,71 |
| | 2 > IQ >= 1 | 797 | 7,27 |
| | 1 > IQ >= 0 | 0 | 0,00 |
| | | 10968 | 100,00 |
| 3 | 5 > IQ >= 4 | 6000 | 54,70 |
| | 4 > IQ >= 3 | 1942 | 17,71 |
| | 3 > IQ >= 2 | 2229 | 20,32 |
| | 2 > IQ >= 1 | 797 | 7,27 |
| | 1 > IQ >= 0 | 0 | 0,00 |
| | | 10968 | 100,00 |
| 4 | 5 > IQ >= 4 | 6000 | 54,70 |
| | 4 > IQ >= 3 | 4171 | 38,03 |
| | 3 > IQ >= 2 | 0,00 | 0,00 |
| | 2 > IQ >= 1 | 797 | 7,27 |
| | 1 > IQ >= 0 | 0 | 0,00 |
| | | 10968 | 100,00 |
| 5 | 5 > IQ >= 4 | 10682 | 97,39 |
| | 4 > IQ >= 3 | 286 | 2,61 |
| | 3 > IQ >= 2 | 0 | 0,00 |
| | 2 > IQ >= 1 | 0 | 0,00 |
| | 1 > IQ >= 0 | 0 | 0,00 |
| | | 10968 | 100,00 |

Na Figura 4.29 representam-se as percentagens de extensão da rede com diferentes níveis de IQ no final do ano 10 (2024), em função da aplicação de diversos tipos de ações de conservação aplicados no final do ano 1 (2015). As variáveis representadas no eixo horizontal têm o significado que se descreve a seguir:

- Con_2_10 – estado do pavimento no ano 10, após ter aplicado uma ação de conservação do tipo 2, no final do ano 1;
- Con_3_10 – estado do pavimento no ano 10, após ter aplicado uma ação de conservação do tipo 3, no final do ano 1;
- Con_4_10 – estado do pavimento no ano 10, após ter aplicado uma ação de conservação do tipo 4, no final do ano 1;
- Con_5_10 – estado do pavimento no ano 10, após ter aplicado uma ação de conservação do tipo 5, no final do ano 1.

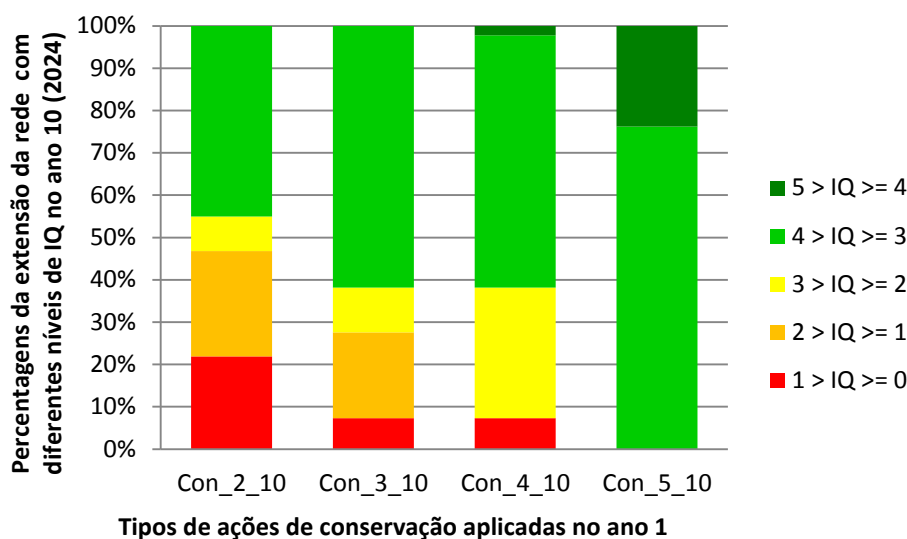


Figura 4.29 Distribuição das percentagens do comprimento total de vias com diferentes níveis IQ no ano 10, em função do tipo de ação de conservação – resultados no ano 10 (2024)

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 4.29 pode concluir-se que ao fim de dez anos, após a aplicação de uma intervenção do tipo 2, no final do ano 1, a rede encontrar-se-ia com cerca de 22% em estado muito mau, entre o nível 0 e 1, e cerca de 45% com um IQ entre 3 e 4, ou seja, em bom estado. Após a aplicação de uma intervenção do tipo 3 no final do ano 1, ao fim de dez anos, a rede estaria com cerca de 7% em estado muito mau, entre 0 e 1, e cerca de 62% em bom estado, entre 3 e 4. Caso se tivesse aplicado uma intervenção do tipo 4 no final do ano 1, ao fim de dez anos era de prever que 7% se manteriam com um IQ entre 0 e 1, baixando para 60% a percentagem de pavimentos entre 3 e 4, e haveria cerca de 2% da rede em muito bom estado, com um IQ entre 4 e 5. Por fim, se as intervenções efetuadas tivessem sido todas do tipo 5, no final de dez anos a rede estaria previsivelmente com cerca de 76% da extensão com um IQ entre 3 e 4, e com 24% em muito bom estado, com IQ entre 4 e 5.

No Quadro 4.22 resumem-se os valores apresentados na Figura 4.29, com as percentagens da extensão total de vias com diferentes níveis de IQ no ano 10, em função do tipo de ação de conservação aplicada no ano 1.

Quadro 4.22 Distribuição das percentagens do comprimento total de vias pelos diferentes níveis de IQ (ano 10)

| Tipo de Conservação | Intervalos de IQ | Comprimento (m) | Percentagem (%) |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Con_2_10 | 5 > IQ >= 4 | 0 | 0 |
| | 4 > IQ >= 3 | 4944 | 45,08 |
| | 3 > IQ >= 2 | 894 | 8,15 |
| | 2 > IQ >= 1 | 2729 | 24,88 |
| | 1 > IQ >= 0 | 2401 | 21,89 |
| | | 10968 | 100,00 |
| Con_3_10 | 5 > IQ >= 4 | 0 | 0,00 |
| | 4 > IQ >= 3 | 6786 | 61,87 |
| | 3 > IQ >= 2 | 1156 | 10,54 |
| | 2 > IQ >= 1 | 2229 | 20,32 |
| | 1 > IQ >= 0 | 797 | 7,27 |
| | | 10968 | 100,00 |
| Con_4_10 | 5 > IQ >= 4 | 242 | 2,21 |
| | 4 > IQ >= 3 | 6544 | 59,66 |
| | 3 > IQ >= 2 | 3385 | 30,86 |
| | 2 > IQ >= 1 | 0 | 0,00 |
| | 1 > IQ >= 0 | 797 | 7,27 |
| | | 10968 | 100,00 |
| Con_5_10 | 5 > IQ >= 4 | 2611 | 23,81 |
| | 4 > IQ >= 3 | 8357,00 | 76,19 |
| | 3 > IQ >= 2 | 0 | 0,00 |
| | 2 > IQ >= 1 | 0 | 0,00 |
| | 1 > IQ >= 0 | 0 | 0,00 |
| | | 10968 | 100,00 |

4.5.4 Análise de sensibilidade associada aos parâmetros adotados em casos com tráfego de pesados

Para efeitos da avaliação da qualidade dos pavimentos e da previsão da evolução das degradações ao longo do tempo, em casos com tráfego de pesados considerável, foi usada anteriormente a fórmula da AASHTO, considerando a maioria dos parâmetros com valores fixos em cada caso analisado.

No que diz respeito à ação do tráfego, são estimados a taxa de crescimento anual de pesados e o fator de agressividade dos veículos (α). Se as análises considerarem variações destes parâmetros podem conduzir a conclusões diferentes. Por isso, procedeu-se à análise do efeito da variação da taxa de crescimento anual de pesados e do coeficiente de agressividade. Considerou-se um cenário de aumento da taxa de crescimento de 0 para 5%, o que se afigura um valor extremamente exagerado, mas permite verificar a tendência do efeito do aumento da

taxa na análise. A simulação do cenário no que diz respeito ao IQ para a Rua do Brasil é apresentada na Figura 4.30.

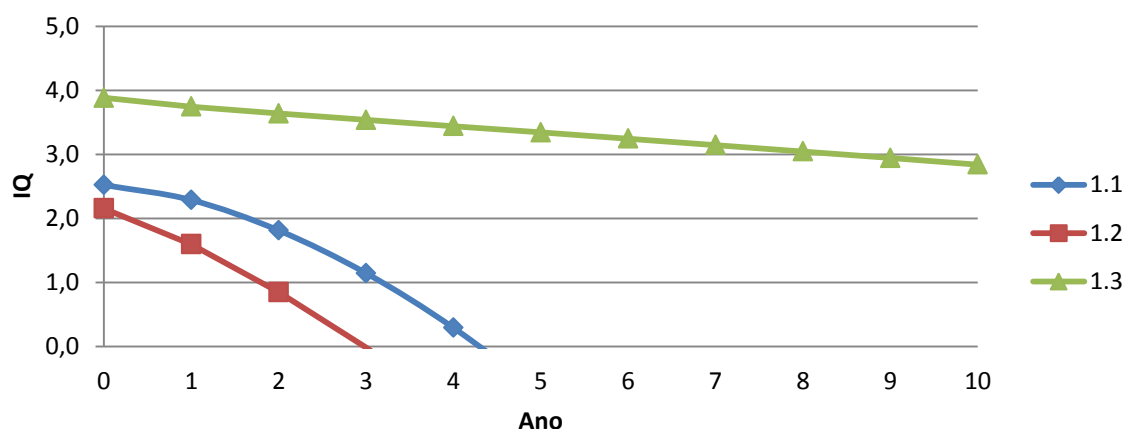


Figura 4.30 IQ determinado para a Rua do Brasil ($t_c = 5\%$)

Como se pode verificar, não há grande alteração face ao cenário da taxa de crescimento de 0%, cujo resultado se mostrou na Figura 4.9. Utilizando o trecho 3 (1.3) como exemplo, ao final de dez anos, o valor do IQ para $t_c=0\%$ é de 3,01, e para $t_c=5\%$ é de 2,84. Contudo, caso a entidade gestora definisse como NMQ o valor 3 para o nível de qualidade, então teria de intervir também neste trecho antes do final do período de análise, o que implicaria mais custos de conservação para a administração.

Comparativamente à análise da evolução do IQ ao longo do tempo apresentado na Figura 4.9, alterando o valor do coeficiente de agressividade de 3 para 2 ou 4, o que corresponde a utilizar valores do coeficiente de agressividade do MACOPAV para classes de tráfego próximas da inicialmente analisada, obtêm-se os resultados que se apresentam nas Figuras 4.31 e 4.32.

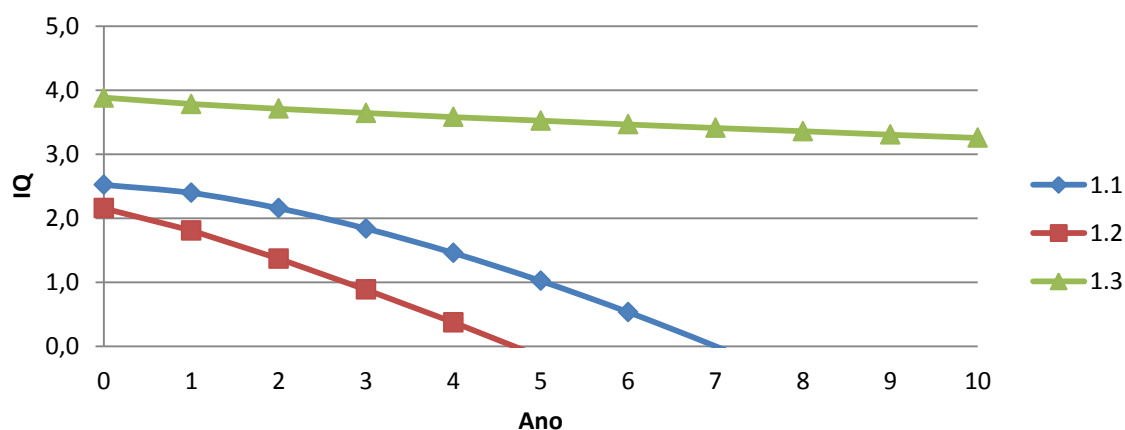


Figura 4.31 IQ determinado para a Rua do Brasil ($\alpha = 2$)

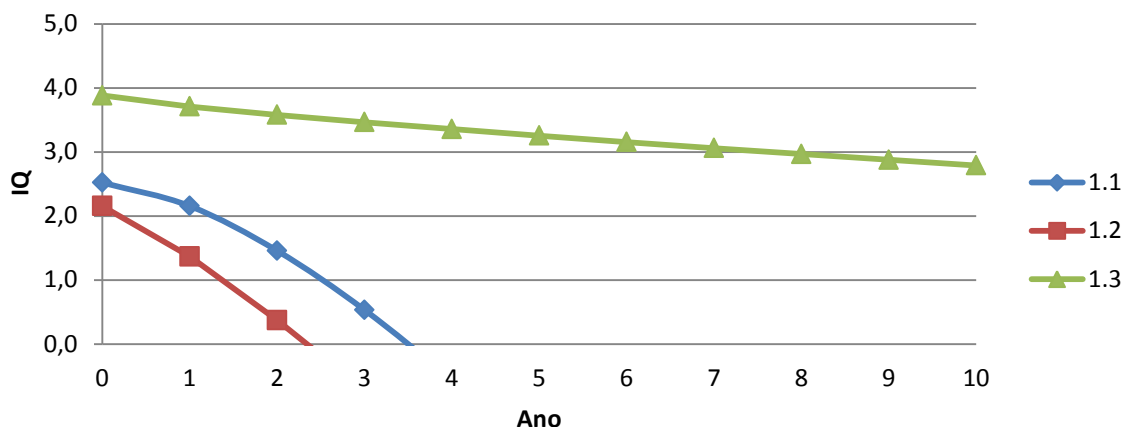


Figura 4.32 IQ determinado para a Rua do Brasil ($\alpha = 4$)

Comparando a evolução do IQ com a representada na Figura 4.9, verifica-se que a variação do fator de agressividade, para mais e para menos, dentro da gama estudada, não conduz a alterações significativas da variação do IQ ao longo do tempo. Utilizando o trecho 3 como exemplo, no final de dez anos, se o valor de α for de 3 (valor utilizado no caso de estudo), $IQ=3,01$. Se o valor de α for igual a 2, $IQ=3,25$. Se o valor de α for igual a 4, $IQ=2,79$.

4.5.5 Avaliação de Estratégias adotado em casos sem tráfego de pesados

Como se referiu, no caso em estudo, 2229 metros dos cerca de 11 mil metros da rede são solicitados por um volume de tráfego de pesados desprezável, por ser proibida a circulação de pesados nestas vias, nomeadamente na N111-1, e em grande parte da Avenida Cidade Aeminium.

Para aplicação do método das cadeiras de Markov, calculou-se o vetor de estado inicial. Este vetor corresponde às proporções da extensão da rede classificadas em cada um dos cinco estados de conservação definidos, de “muito mau” a “muito bom”. O vetor de estado inicial no caso em estudo é:

$$X(2014) = [0; 0,224; 0,327; 0,224; 0,224]$$

o qual significa que não há qualquer trecho em muito bom estado, 22,4% da extensão está em bom estado, 32,7% está em estado medíocre, 22,4% está em mau estado e 22,4% está em muito mau estado. No Quadro 4.23 apresenta-se o cálculo das percentagens para estabelecer o vetor de estado inicial.

Quadro 4.23 Trechos e respetivos níveis de IQ

| Níveis de IQ | Comprimento de trechos (m) | Percentagem do total |
|--------------|----------------------------|----------------------|
| 5-4 | 0 | 0,0 |
| 4-3 | 500 | 22,4 |
| 3-2 | 729 | 32,7 |
| 2-1 | 500 | 22,4 |
| 1-0 | 500 | 22,4 |
| | 2229 | 100,0 |

No Quadro 4.24 é apresentada a matriz usada no caso em estudo, uma matriz de 5x5.

Quadro 4.24 Matriz de Probabilidades de Transição usada no caso em estudo

| De/Para: | Muito Bom | Bom | Medíocre | Mau | Muito Mau |
|------------------|-----------|------|----------|------|-----------|
| Muito Bom | 0,96 | 0,04 | 0 | 0 | 0 |
| Bom | 0 | 0,90 | 0,10 | 0 | 0 |
| Medíocre | 0 | 0 | 0,86 | 0,14 | 0 |
| Mau | 0 | 0 | 0 | 0,66 | 0,34 |
| Muito Mau | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Nesta matriz os valores devem ser interpretados do modo como se descreve a seguir:

1. A probabilidade das secções transitarem de Muito Bom estado para Bom num ano é de 0,04 e a probabilidade de secções que se encontrem em Muito Bom estado se manterem neste no final do ciclo de um ano é de 0,96.
2. A probabilidade de transição de Bom estado para Medíocre no final do ciclo de serviço de um ano é de 0,90 e a probabilidade de secções em estado Medíocre ficarem neste estado no fim do ciclo de um ano é de 0,10.
3. A probabilidade de transição do estado Medíocre para Mau no final do ciclo de serviço de um ano é de 0,86 e a probabilidade de secções em Mau estado permanecerem nesse estado de condição no fim do ciclo de trabalho de um ano é de 0,14.
4. A probabilidade de transição de Mau estado para Muito Mau no final do ciclo de serviço de um ano é de 0,66 e a probabilidade de secções em Muito Mau estado para ficarem neste estado ao fim do ciclo de trabalho de um ano é de 0,34.

Para se conseguir determinar os valores da matriz de probabilidade de transição (Quadro 4.24), partiu-se de uma matriz obtida para meio urbano por Rayya *et al.* (2014), a qual se reproduz no Quadro 4.25.

Quadro 4.25 Matriz de Probabilidades de Transição usada no caso em estudo Australiano

| De/Para: | Muito Bom | Bom | Medíocre | Mau | Muito Mau |
|------------------|-----------|------|----------|------|-----------|
| Muito Bom | 0,85 | 0,15 | 0 | 0 | 0 |
| Bom | 0 | 0,64 | 0,36 | 0 | 0 |
| Medíocre | 0 | 0 | 0,37 | 0,63 | 0 |
| Mau | 0 | 0 | 0 | 0,60 | 0,40 |
| Muito Mau | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Depois, realizou-se uma análise aplicada trechos da rede em estudo com o intuito de ajustar a matriz de probabilidade de transição (Quadro 4.25) ao caso de estudo, considerando três situações distintas para fazer o ajuste. Tomaram-se segmentos da rede de Coimbra para os quais já se conhecia o resultado da aplicação da fórmula da AASHTO. O primeiro caso, apresentado na Figura 4.33, corresponde à Rua João de Deus Ramos que apresentava um IQ inicial de 2,37. Por um processo de tentativas sucessivas, ajustaram-se os valores da MPT até conseguir reproduzir a evolução do IQ no tempo obtido pelo método da AASHTO (M_Det). Na mesma Figura observa-se que a utilização de valores ajustados para a MPT (Quadro 4.24) reproduz bem a evolução que se obteve para o método da AASHTO, usando um valor de WAC correspondente ao limite inferior de IQ (L.Inf), como se descreveu acima.

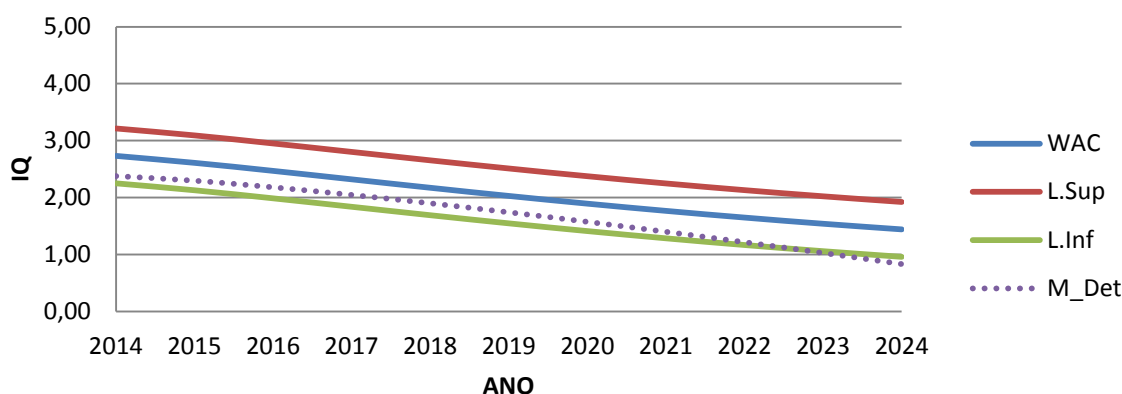


Figura 4.33 Teste de ajuste da MPT feito para a Rua João de Deus Ramos

A Figura 4.34 corresponde ao segundo caso analisado no qual se utilizaram os dados da Rua do Brasil III com um IQ inicial de 3,86. Por último, foi estudado o caso da Circular Interna com um IQ inicial de 4,12, representado na Figura 4.35.

Nos casos analisados foram usados os vetores iniciais que se mostram a seguir:

Rua João de Deus Ramos, $X(2014) = [0; 0; 1; 0; 0]$

Rua do Brasil III, $X(2014) = [0; 1; 0; 0; 0]$

Circular Interna, $X(2014) = [1; 0; 0; 0; 0]$

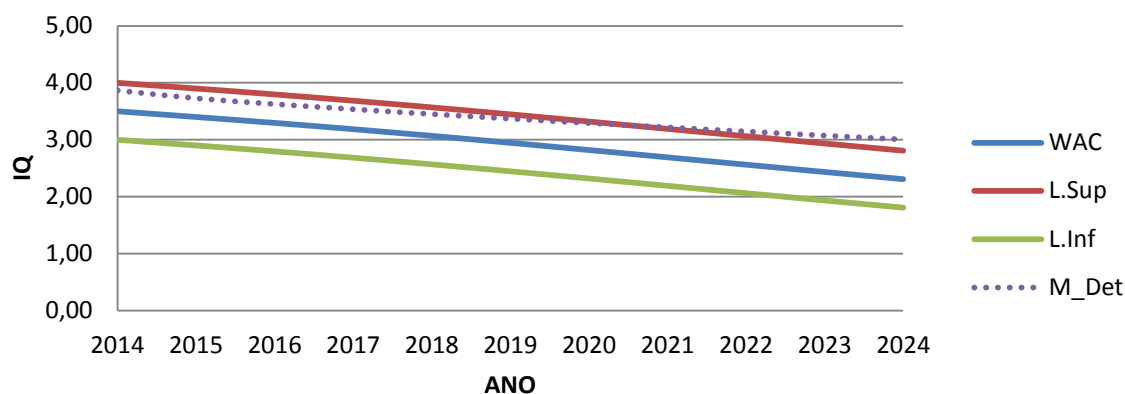


Figura 4.34 Teste de ajuste da MPT feito para a Rua do Brasil III

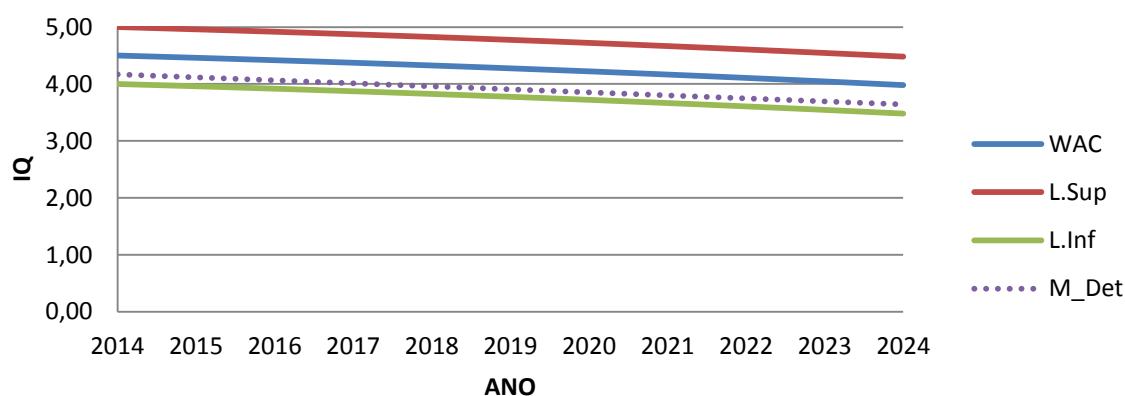


Figura 4.35 Teste de ajuste da MPT feito para a Circular Interna

Como se referiu, o objetivo era ajustar a MPT do Quadro 4.25, de modo a reproduzir o mais possível a realidade da rede da cidade de Coimbra, tendo como base de comparação a previsão do IQ obtida pelo método da AASHTO (M_Det nas Figuras 4.33 a 4.35). Esta metodologia permitiria ajustar a matriz com base em resultados das zonas onde já se conhecia a evolução do IQ, para poder aplicá-la em zonas onde não era possível aplicar o método da AASHTO, por não existir tráfego de pesados significativo. Os resultados que se mostram nas Figuras 4.33 a 4.35 evidenciam que a matriz ajustada (Quadro 4.24) permite reproduzir bastante bem a evolução do IQ que tinha sido obtida pelo método da AASHTO.

Resulta do exposto que a matriz ajustada permite reproduzir de forma razoável a evolução do IQ ao longo do tempo quando se comparam os valores de IQ com os determinados pelo método determinístico. Por isso, optou-se por utilizar a matriz ajustada (Quadro 4.24) nos casos em que o tráfego de pesados é desprezável, ou seja, para a N111-1 e para a Avenida Cidade Aeminium.

Na Figura 4.36 mostra-se um gráfico de barras que corresponde à evolução previsível, no tempo, das percentagens de extensão das N111-1 e da Avenida Cidade Aeminium com

diferentes níveis de IQ do pavimento, no caso de não serem realizadas quaisquer ações de conservação.

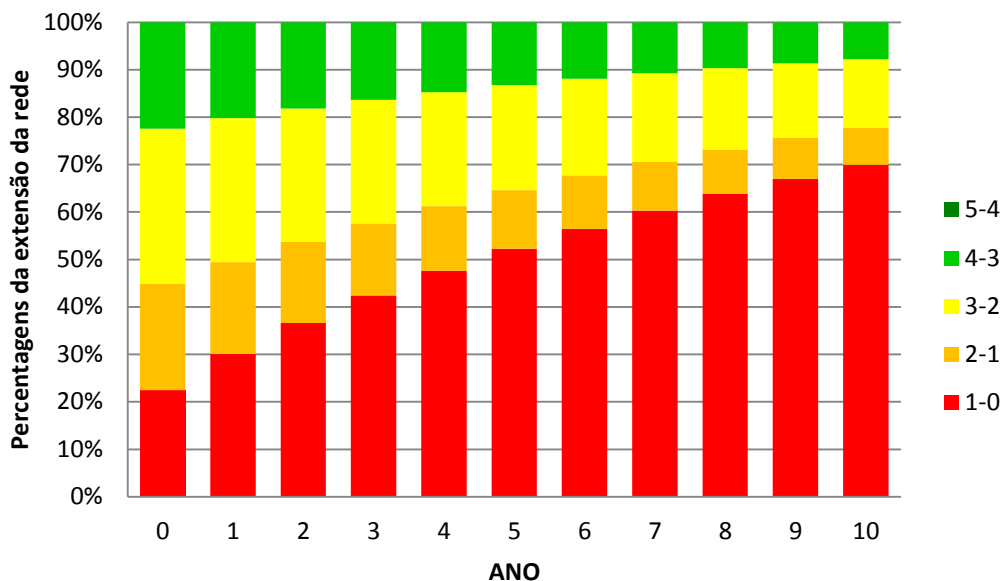


Figura 4.36 Percentagem da extensão da rede com diferentes IQ em cada ano, nas N111-1 / Avenida Cidade Aeminium, sem realização ações de conservação

Fez-se ainda uma análise de evolução do estado do pavimento após a realização de ações de conservação que elevam o estado de conservação para diferentes níveis: Muito Bom, Bom e Médio. Os resultados completos são apresentados no APÊNDICE II (II.2).

Na primeira análise considerou-se a elevação do estado do pavimento para o intervalo entre 5-4, ou seja, para um estado considerado Muito Bom. Para isso, foi necessário criar um vetor inicial igual a:

$$X(2016) = [1; 0; 0; 0; 0]$$

O resultado obtido é o apresentado na Figura 4.37.

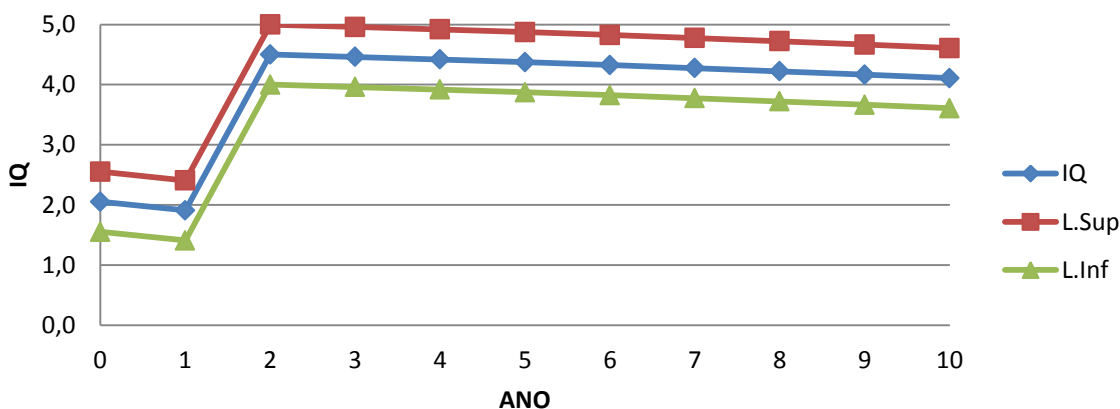


Figura 4.37 IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium, após intervenção que elevou o IQ para o intervalo 5-4

Na Figura 4.38 é mostrado um gráfico de barras, no qual se apresenta a percentagem provável de extensão da rede nos diferentes estados de conservação, em cada ano, após uma intervenção que elevou o IQ para Muito Bom (nível 4-5), aplicada no final do ano 1.

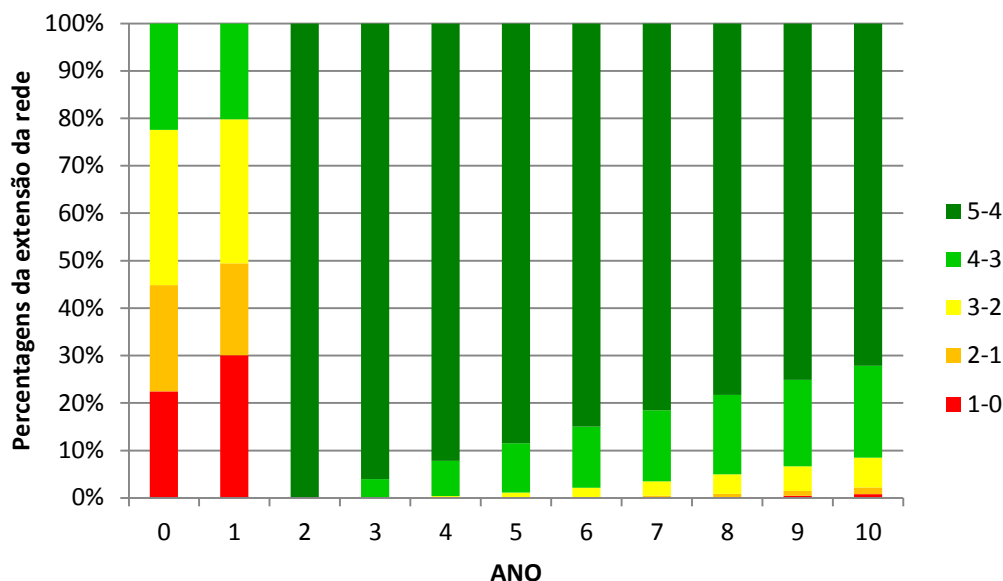


Figura 4.38 Percentagens da extensão da rede com diferentes IQ após elevação do IQ para o estado de Muito Bom, na N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

Como se pode verificar na Figura 4.38, após a ação de conservação efetuada, a partir do ano 2, o pavimento fica em estado quase novo, com valores de IQ entre 5 e 4, diminuindo nos anos seguintes.

Na segunda análise considerou-se a recuperação do estado do pavimento para o intervalo entre 4-3, ou seja, para um estado considerado Bom. Para isso, foi necessário criar um vetor inicial igual a:

$$X(2016) = [0; 1; 0; 0; 0]$$

O resultado obtido é o apresentado na Figura 4.39. Conclui-se que o cenário simulado ainda poderia considerar-se verosímil, porquanto no final do período de análise de 10 anos o IQ apresenta valores entre 3 e 2, o que poderia corresponder ao limiar de intervenção estabelecido pela entidade gestora.

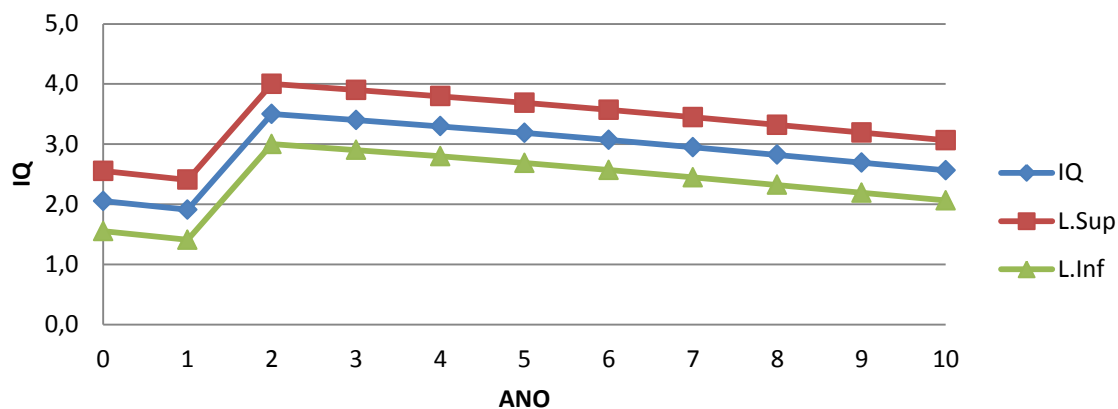


Figura 4.39 IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium, recuperando o estado do pavimento para um IQ entre 4-3

Na Figura 4.40 é mostrado um gráfico de barras, no qual se apresenta a percentagem provável de extensão da rede nos diferentes estados de conservação, em cada ano, após uma intervenção que recuperou o pavimento para um estado de Bom (IQ no intervalo 4-3), aplicada no final do ano 1.

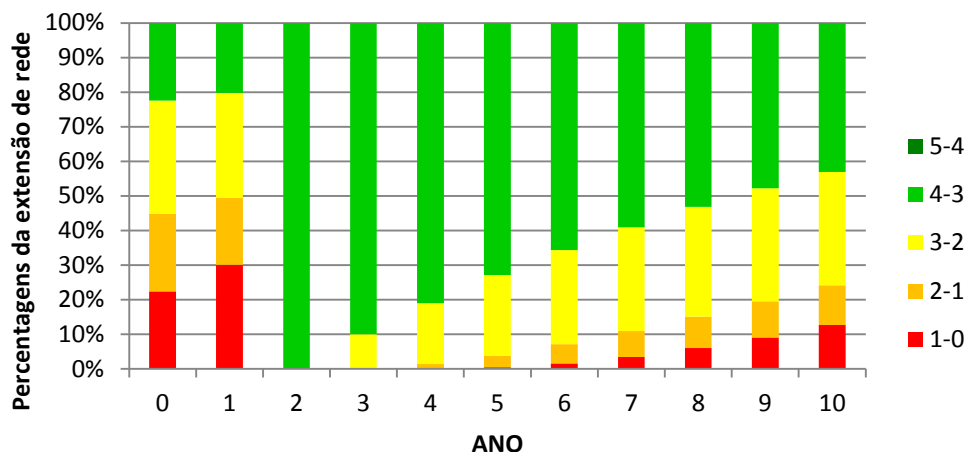


Figura 4.40 Percentagens da extensão da rede com diferentes IQ após elevação do estado do pavimento para Bom estado, na N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

Como seria de esperar, comparativamente ao caso representado na Figura 4.39, a Figura 4.40 mostra maiores extensões da rede com mais baixos níveis de IQ, ou seja, piores estados de conservação.

No terceiro cenário simulado considerou-se a elevação do IQ do pavimento para o intervalo 3-2, ou seja, para um estado de conservação próximo do existente, executando apenas algumas reparações. Para isso, foi necessário criar um vetor inicial igual a:

$$X(2014) = [0; 0; 1; 0; 0]$$

A resultado obtido é o apresentado na Figura 4.41.

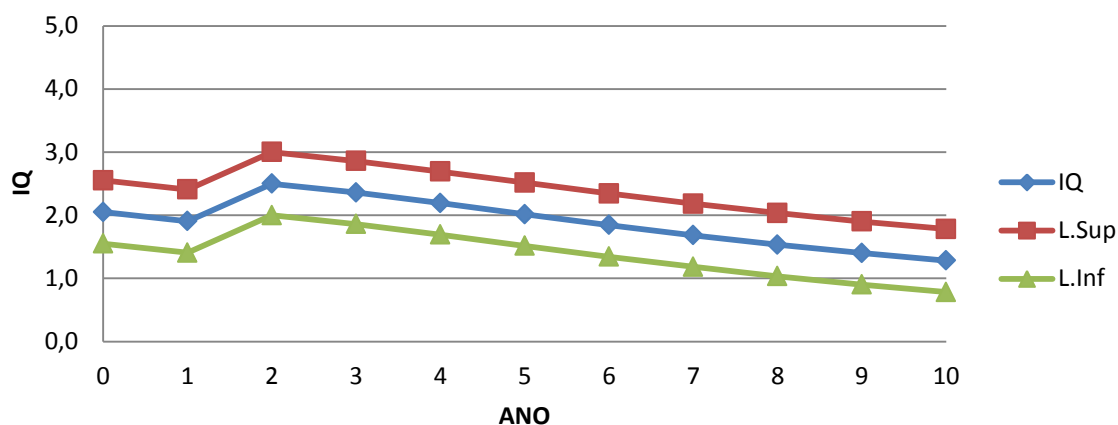


Figura 4.41 IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium (Intervenção do tipo 3)

Como seria de esperar, este tipo de intervenção já não traz vantagens. Apenas melhora o IQ para intervalos entre 3 e 2, o que leva a uma degradação rápida do pavimento nos anos após a realização da ação de conservação.

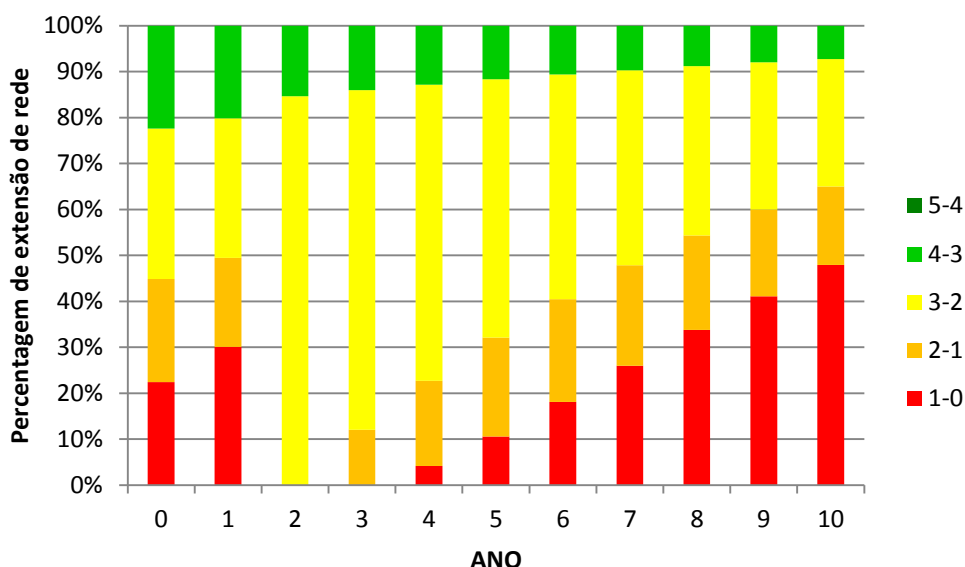


Figura 4.42 Percentagens de extensão da rede com diferentes IQ após intervenção do tipo 3 na N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

4.5.6 Análise de Sensibilidade associada aos parâmetros adotados em casos sem tráfego de pesados

Para compreender melhor a influência que os parâmetros utilizados na aplicação de cadeias de Markov podem ter nos resultados, faz-se um análise de sensibilidade, na qual se variam alguns deles. A matriz de probabilidade de transição usada nos trechos sem tráfego de pesados foi a apresentada no Quadro 4.24. A evolução simulada do estado dos pavimentos no tempo depende muito dos valores desta matriz, pelo que se justifica uma análise de sensibilidade relativamente às probabilidades de transição consideradas.

Como inicialmente se tomou como ponto de partida o estudo realizado para a cidade de Melbourne, na Austrália (Rayya *et al.*, 2014), utiliza-se agora a matriz de probabilidade de transição desse caso para a análise de sensibilidade (Quadro 4.26).

Quadro 4.26 Matriz de probabilidade de transição usada em Melbourne

| De/Para: | Muito Bom | Bom | Medíocre | Mau | Muito Mau |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Muito Bom | 0,85 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Bom | 0,00 | 0,64 | 0,36 | 0,00 | 0,00 |
| Medíocre | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,63 | 0,00 |
| Mau | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,40 |
| Muito Mau | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |

Na Figura 4.43 apresenta-se o resultado da evolução do estado de conservação das N111-1 / Avenida Cidade Aeminium aplicando a matriz usada em Melbourne em vez da utilizada no caso de estudo (Quadro 4.25).

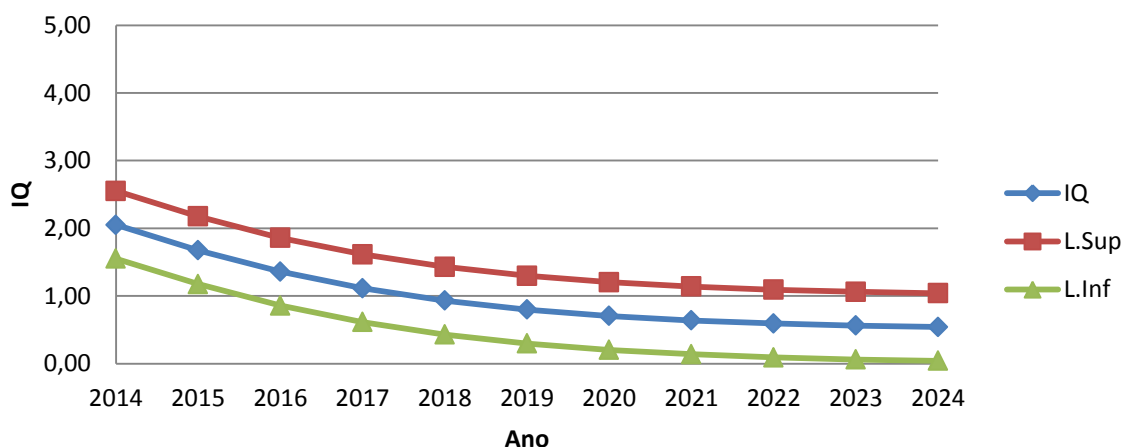


Figura 4.43 IQ da N111-1/Avenida Cidade Aeminium com a matriz de Melbourne

Na Figura 4.44 reproduz-se a evolução do IQ obtido para as N111-1/Avenida Cidade Aeminium quando se utilizou a matriz de decisão ajustada para a cidade de Coimbra, para comparação com o resultado da Figura 4.43.

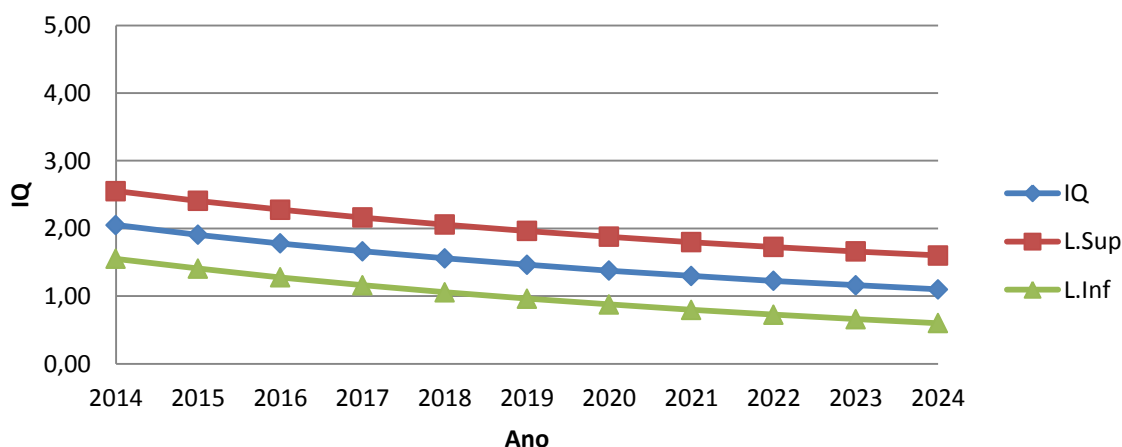


Figura 4.44 IQ da N111-1/Avenida Cidade Aeminium com a MPT ajustada à cidade de Coimbra

As probabilidades de transição de um estado para o seguinte são maiores na matriz do caso de Melbourne, pelo que o resultado reflete uma evolução mais desfavorável no segundo caso. No final do período de 10 anos em análise, o $IQ=0,54$ no caso em que se utilizou a MPT do caso de Melbourne, sendo de 1,10 no caso da MPT aplicada no caso em estudo. Note-se que, na própria aplicação da metodologia já se tinha considerado uma variação de WAC na gama considerada de valores de IQ, de modo a atender a uma certa imprecisão do estabelecimento do nível de qualidade num dado instante. Por exemplo, o estado de conservação de Bom pode corresponder a valores de IQ entre 3 e 4, os quais traduzem níveis de qualidade do pavimento algo diferentes.

4.6 Custos associados

4.6.1 Considerações Iniciais

Ao analisar investimentos públicos a longo prazo, devem comparar-se os custos e benefícios que ocorrem em períodos de tempo diferentes. O valor do dinheiro no tempo varia. Segundo (Jawad & Ozbay, 2006), um euro gasto no futuro vale menos do que o euro gasto no presente. Em consequência, o processo de contabilização dos custos deve considerar uma técnica económica conhecida como "desconto" para converter diferentes custos e benefícios que ocorreram em momentos diferentes num ponto comum no tempo (FHWA, 2002). Nesta técnica aplica-se uma variável financeira chamada taxa de desconto (r) para representar o valor temporal do dinheiro.

A escolha da taxa de desconto correta a utilizar em cada caso particular pode tornar-se num problema complexo, não existindo consenso entre os autores. O valor da taxa de desconto pode ter um grande impacto na análise e nas conclusões que podem ser alcançadas em cada projeto particular.

Visto não haver unanimidade de valores na escolha da taxa de desconto utilizada na avaliação de projetos públicos, muitos governos e entidades estabeleceram uma taxa fixa em todos os seus projetos públicos. No Quadro 4.27 resumem-se os valores das taxas de desconto social adotadas em vários países (Ferreira & Santos, 2012).

Quadro 4.27. Valores de taxa de desconto social [adaptado de (Meneses, 2013)]

| País / Região | Valores | Bases Teóricas de Aproximação |
|---------------------------|--|-------------------------------|
| Estados Unidos da América | 10% (antes 1992); 7% (depois 1992) | SOC/SRTP |
| Canadá | 10% (antes 2007); 8% (depois 2007) | SOC |
| Austrália | 8% (antes 2010); 7% (depois 2010) | SOC |
| Nova Zelândia | 10% (antes 2008); 8% (depois 2008) | SOC |
| Comissão Europeia | 5,5% (países e regiões de convergência) 3,5% (regiões de competitividade) | SRTP |
| Reino Unido | 6% (antes 2003); 3,5% (depois 2003) | SRTP |

Quadro 4.27. Valores de taxa de desconto social [adaptado de (Meneses, 2013)] (cont.)

| País / Região | Valores | Bases Teóricas de Aproximação |
|---------------|-------------------------------------|--|
| Alemanha | 4% (antes 2004); 3% (depois 2004) | Baseado em taxas de refinanciamento federais |
| França | 8% (antes 2005); 4% (depois 2005) | SRTP |
| Itália | 5% | SRTP |
| Espanha | 6% | SRTP |
| Portugal | 4% (depois 2003) | Baseado em taxas de refinanciamento governamentais |
| Noruega | 7% (antes 1998); 3,5% (depois 1998) | Taxas de empréstimo governamentais |
| China | 8% | WA |
| Índia | 12% | SOC |

Nota: SRTP - social rate of time preference; SOC - marginal social opportunity cost of capital; WA - weight average; SPC - shadow price of capital.

A análise ao Quadro 4.27 permite concluir que a tendência é a de utilizar taxas de desconto cada vez mais baixas, aproximando-as da realidade financeira.

4.6.2 Análise de custos no estudo de caso

Neste exemplo prático faz-se uma abordagem simples, considerando os custos de conservação necessários para manter um NMQ nos pavimentos da rede, não tendo, portanto, em conta os custos dos utentes, nem o valor residual dos pavimentos. No caso em apreço, embora se procurasse apreciar cenários, não foi utilizado qualquer método de otimização para o objetivo de otimizar o desempenho da administração na conservação da rede, no sentido de minimizar os custos de conservação. Para a análise de custos que se segue adotou-se a taxa de desconto de 2,5 %, tal como proposto no trabalho de (Meneses, 2013).

A área total dos pavimentos observados para a execução do caso de estudo foi de 134140 m². Nem toda esta área necessitou de intervenções porque alguns pavimentos apresentavam índices de qualidade elevados. Excluindo as zonas que não necessitaram de intervenções, a área de pavimentos considerada foi de 55888 m².

Tendo por base a informação de custo que se apresentou no Quadro 4.11, o qual contém a informação sobre as técnicas de conservação e os seus respetivos custos por metro quadrado, calcularam-se os custos das intervenções em cada ano, descontando-os para ano 0, ou seja, 2014, através da equação (4.16), utilizando a taxa de desconto de 2,5%.

$$F_{(r,t)} = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (4.16)$$

Onde:

$F_{(r,t)}$ – fator de atualização;

r – taxa de desconto;

t – número de anos.

No Quadro 4.28 são apresentados os nomes das ruas que necessitaram de intervenções, assim como os anos em que foram aplicadas e, ainda, as áreas totais dos segmentos intervencionados, necessários para a contabilização dos custos de conservação.

Quadro 4.28. Ruas a Intervencionar

| Ruas com Intervenção | Ano de Intervenção | Tipo de Intervenção | Área total do segmento(m ²) |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|---|
| Rua do Brasil I | 1 | 2,3,4,5 | 4000 |
| Rua do Brasil II | 0 | 2,3,4,5 | 4000 |
| Rua João de Deus Ramos | 3 | 2,3,4,5 | 2280 |
| Rua Carolina Michaelis | 4 | 2,3,4,5 | 2988 |
| Rua Sacadura Cabral | 0 | 5 | 1673 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 5 | 2,3,4,5 | 3000 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 0 | 3,4,5 | 3492 |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 0 | 3,4,5 | 3348 |
| | 5 | 3 | |
| | 9 | 3 | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 0 | 5 | 3348 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 9 | 2,3,4,5 | 840 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 0 | 2,3,4,5 | 3444 |
| | 3 | 2 | |
| | 6 | 2 | |
| | 9 | 2 | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 6 | 2,3,4,5 | 840 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 8 | 2,3,4,5 | 3444 |
| Circular Externa de Coimbra II | 6 | 2,3,4,5 | 1859 |
| Rua Padrão (S-N) | 2 | 2,3,4,5 | 2743 |
| Rua Padrão (N-S) | 2 | 2,3,4,5 | 2743 |
| Avenida Emídio Navarro I | 3 | 2,3,4,5 | 7616 |
| | 9 | 2 | |
| Avenida Lousã II | 1 | 2,3,4,5 | 2250 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 3 | 2,3,4,5 | 1980 |

No Quadro 4.29 apresenta-se um resumo das áreas intervencionadas em cada ano, para os diferentes tipos de intervenções, partindo da informação indicada no Quadro 4.28.

Quadro 4.29. Áreas totais de pavimentos recuperadas, em cada ano, pela aplicação de diferentes tipos de ações de conservação

| Ano | Área total de Intervenção (m ²) | | | |
|-----|---|--------|--------|--------|
| | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5 |
| 0 | 7444 | 14284 | 14284 | 19305 |
| 1 | 6250 | 6250 | 6250 | 6250 |
| 2 | 5486 | 5486 | 5486 | 5486 |
| 3 | 15320 | 11876 | 11876 | 11876 |

Quadro 4.29. Áreas totais de pavimentos recuperadas, em cada ano, pela aplicação de diferentes tipos de ações de conservação (cont.)

| Ano | Área total de Intervenção (m ²) | | | |
|-----|---|--------|--------|--------|
| | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5 |
| 4 | 2988 | 2988 | 2988 | 2988 |
| 5 | 3000 | 6348 | 3000 | 3000 |
| 6 | 6143 | 2699 | 2699 | 2699 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 3444 | 3444 | 3444 | 3444 |
| 9 | 11900 | 4188 | 840 | 840 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nos Quadros 4.30 a 4.33 são apresentados os valores dos custos atualizados para o ano zero de cada intervenção, mostrando-se ainda o cálculo para as intervenções do tipo 2 (recuperação das características superficiais) como exemplo.

Quadro 4.30. Custos atualizados para o ano 0 relativos a intervenções do tipo 2

| Ano | Intervenção Tipo 2 (m ²) | VA (€) |
|-----|--------------------------------------|------------------|
| 0 | 7444 | 38559,92 |
| 1 | 6250 | 31585,37 |
| 2 | 5486 | 27048,17 |
| 3 | 15320 | 73691,42 |
| 4 | 2988 | 14022,16 |
| 5 | 3000 | 13735,10 |
| 6 | 6143 | 27438,92 |
| 7 | 0 | 0,00 |
| 8 | 3444 | 14642,05 |
| 9 | 11900 | 49358,50 |
| 10 | 0 | 0,00 |
| | TOTAL = | 290081,60 |

Os valores atualizados para o ano 0 indicados no Quadro 4.30 foram determinados, em cada ano, multiplicando o custo unitário de 5,18 €/m² da intervenção do tipo 2 (Quadro 4.11) pela área a recuperar, atualizando para o ano 0 o valor que se obteve, através da expressão (4.16), considerando uma taxa de desconto de 2,5%. Os valores apresentados no Quadro 4.30 foram obtidos da forma que se exemplifica a seguir para os primeiros três anos:

Ano 0:Área total de intervenções = 7444 m²

$$VA = 5,18 \times 7444 = 38559,92 \text{ €} \quad (4.17)$$

Ano 1:Área total de intervenções = 6250 m²

$$VA = \frac{5,18 \times 6250}{(1 + 0,025)^1} \Leftrightarrow VA = 31585,37 \text{ €} \quad (4.18)$$

Ano 2:Área total de intervenções = 5486 m²

$$VA = \frac{5,18 \times 5486}{(1 + 0,025)^2} \Leftrightarrow VA = 27048,17 \text{ €} \quad (4.19)$$

Quadro 4.31. Custos atualizados para o ano 0 relativos a intervenções do tipo 3

| Ano | Intervenção Tipo 3 (m ²) | VA (€) |
|-----------|--------------------------------------|------------------|
| 0 | 14284 | 174979,00 |
| 1 | 6250 | 74695,12 |
| 2 | 5486 | 63965,26 |
| 3 | 11876 | 135093,57 |
| 4 | 2988 | 33160,51 |
| 5 | 6348 | 68731,16 |
| 6 | 2699 | 28509,91 |
| 7 | 0 | 0,00 |
| 8 | 3444 | 34626,48 |
| 9 | 4188 | 41079,77 |
| 10 | 0 | 0,00 |
| | TOTAL = | 654840,77 |

Quadro 4.32. Custos atualizados para o ano 0 relativos a intervenções do tipo 4

| Ano | Intervenção Tipo 4 (m ²) | VA (€) |
|-----------|--------------------------------------|------------------|
| 0 | 14284 | 268396,36 |
| 1 | 6250 | 114573,17 |
| 2 | 5486 | 100567,75 |
| 3 | 11876 | 217707,36 |
| 4 | 2988 | 54775,14 |
| 5 | 3000 | 54995,12 |
| 6 | 2699 | 49477,28 |
| 7 | 0 | 0,00 |
| 8 | 3444 | 63134,40 |
| 9 | 840 | 15398,63 |
| 10 | 0 | 0,00 |
| | TOTAL = | 939025,21 |

Quadro 4.33. Custos atualizados para o ano 0 relativos a intervenções do tipo 5

| Ano | Intervenção Tipo 5 (m ²) | VA (€) |
|-----|--------------------------------------|-------------------|
| 0 | 19305 | 411003,45 |
| 1 | 6250 | 129817,07 |
| 2 | 5486 | 113948,23 |
| 3 | 11876 | 246673,21 |
| 4 | 2988 | 62062,95 |
| 5 | 3000 | 62312,20 |
| 6 | 2699 | 56060,20 |
| 7 | 0 | 0,00 |
| 8 | 3444 | 71534,40 |
| 9 | 840 | 17447,41 |
| 10 | 0 | 0,00 |
| | TOTAL = | 1170859,13 |

No Quadro 4.34 mostra-se um resumo dos custos das intervenções, descontados para o ano 0, associados a cada tipo de intervenção.

Quadro 4.34. Valores dos custos de conservação associados a cada tipo de intervenção

| Tipo de Intervenção | Custos atualizados para o ano zero (€) |
|---------------------|--|
| 2 | 290081,60 |
| 3 | 654840,77 |
| 4 | 939025,21 |
| 5 | 1170859,13 |

Na Figura 4.45 mostram-se graficamente os custos associados à aplicação de cada tipo de intervenção.

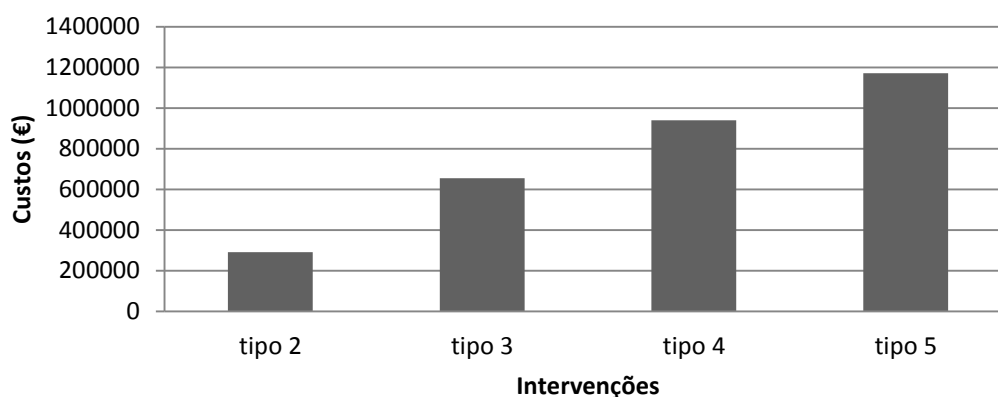


Figura 4.45 Custos atualizados para o ano 0 associados aos diferentes tipos de ações de conservação na rede

A análise do gráfico da Figura 4.45 permite concluir que, do ponto de vista dos custos de conservação e para os cenários analisados, é mais favorável fazer intervenções do tipo 2, uma

vez que se trata do tipo mais ligeiro de ações de conservação. Mesmo que se tenha de aplicar várias vezes durante um determinado período de tempo, como se pode verificar neste caso prático, onde se preveem intervenções em vários anos no período de análise. Já no cenário de aplicação de intervenções do tipo 5, as quais são bastante mais profundas e têm uma durabilidade maior, os custos de conservação atingem valores bem mais elevados, o que não constitui vantagem para a entidade gestora da rede, caso o NMQ pretendido seja mais baixo que o conseguido com recuperações mais profundas e temporalmente mais espaçadas.

De forma a ilustrar esta conclusão é apresentado no gráfico da Figura 4.46 um exemplo de uma rua incluída no estudo no qual que se verifica ser mais vantajoso atuar de forma mais ligeira e mais frequente, que atuar de forma mais profunda numa única vez. Verifica-se que em qualquer dos cenários a rede mantém um nível de qualidade acima do NMQ. A análise comparativa em termos de custos de conservação resume-se no Quadro 4.35.

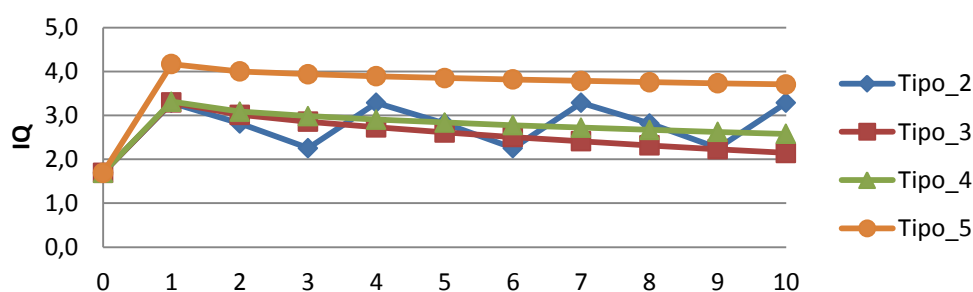


Figura 4.46 Níveis de IQ, da rua Dr. Afonso Romão, ao longo do período de estudo para diferentes tipos de intervenção

No ano zero o trecho apresentava um IQ inicial de 1,69, necessitando de intervenção para melhorar o seu estado de conservação. A ativação de ações de conservação, aplicadas nos anos necessários ao cumprimento de um NMQ de 2, possibilitaram a previsão da evolução do IQ ao longo do período de análise.

Calculando os custos, atualizados para o ano zero, correspondentes às intervenções indicadas nos vários cenários simulados na Figura 4.46, obtiveram-se os resultados sintetizados no Quadro 4.35.

Quadro 4.35. Custos das várias intervenções, atualizados para o ano zero, ao longo do período de estudo para a Rua Dr. Afonso Romão

| ANO | Custos (VA) (€) | | | |
|--------------|-----------------|--------|----------|----------|
| | tipo 2 | tipo 3 | tipo 4 | tipo 5 |
| 0 | 17839,92 | 42189 | 64712,76 | 73322,76 |
| 3 | 16566,14 | | | |
| 6 | 15383,31 | | | |
| 9 | 14284,93 | | | |
| Total | 64074,3 | 42189 | 64712,76 | 73322,76 |

Apesar do cenário de aplicação de uma intervenção do tipo 3 apresentar custos de conservação mais baixos, ao final de dez anos o trecho apresenta um valor previsível de $IQ = 2,15$, enquanto que no cenário de aplicação de intervenções do tipo 2, o pavimento apresenta um valor de $IQ = 3,29$ no final dos 10 anos, o que pode contribuir para que a entidade gestora decida aplicar intervenções mais ligeiras, embora mais frequentes.

Contudo, a análise que se efetuou é simplista, porquanto a consideração dos custos suportados pelos utentes pode alterar de forma não desprezável as conclusões a que se chegou. A utilização de custos dos utentes acarreta um nível de complexidade superior e, por isso, não se aplicou na presente dissertação, na qual se pretendia fazer análises suficientemente simples, que pudessem ser utilizados mesmo quando não se dispõe de meios especializados de processamento e análise da informação.

4.6.3 Análise de sensibilidade associada aos parâmetros adotados em custos

A taxa de desconto (r) e o nível mínimo de qualidade (NMQ) podem influenciar de forma considerável as conclusões a que se chega. Nas análises de custo anteriores os valores utilizados foram de 2,5% para a taxa de desconto e de 2,5 para o NMQ.

Considerando taxas de desconto de 2 e 3%, ou seja, uma variação de 0,5% abaixo e acima do valor utilizado acima, e adotando a mesma metodologia, os custos seriam os apresentados no Quadro 4.36.

Quadro 4.36. Custos de conservação associados aos diferentes tipos de intervenções de conservação, considerando diferentes taxas de desconto

| Tipo de Intervenção | Custos (€) (taxa=2,0%) | Custos (€) (taxa=2,5%) | Custos (€) (taxa=3,0%) |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 2 | 295830,11 | 290081,6 | 284534,23 |
| 3 | 664266,77 | 654840,8 | 645706,73 |
| 4 | 942312,61 | 939025,2 | 935769,73 |
| 5 | 1174583,91 | 1170859 | 1167170,51 |

Para a gama de variação considerada da taxa de desconto, verifica-se que a diferença de custos de conservação é pequena. No entanto, conclui-se que quanto mais elevada for a taxa de desconto, menores serão os custos no ano 0, como seria de esperar.

No Gráfico da Figura 4.47 mostram-se as diferenças de custos de conservação associados à aplicação de cada tipo de intervenção, com a variação da taxa de desconto.

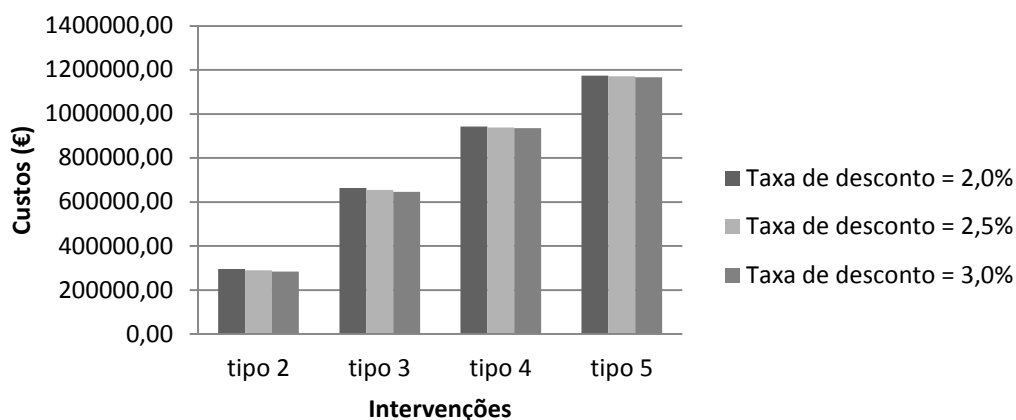


Figura 4.47 Custos de conservação atualizados para o ano 0 associados a cada tipo de intervenção

Considerando agora a alteração do NMQ para o valor de 2,5 e 3,0, os anos em que seria necessário aplicar as intervenções iriam mudar, uma vez que o nível de exigência relativamente ao estado de conservação dos pavimentos é superior. Para isso, utilizando a mesma metodologia de cálculo de custos, mas tendo em conta as alterações dos anos em que seriam aplicadas as intervenções, o resultado seria o apresentado no Quadro 4.37.

Quadro 4.37. Custos de conservação associados a cada tipo de intervenção com diferentes NMQ

| Tipo de Intervenção | Custos (€) (NMQ=2,0; taxa de desconto=2,5%) | Custos (€) (NMQ=2,5; taxa de desconto=2,5%) | Custos (€) (NMQ=3,0; taxa de desconto=2,5%) |
|---------------------|--|--|--|
| 2 | 290081,6 | 311934,51 | 239513,53 |
| 3 | 654840,8 | 691802,75 | 501542,76 |
| 4 | 939025,2 | 1076837,48 | 836561,96 |
| 5 | 1170859 | 1257466,85 | 1263234,88 |

Com a alteração do NMQ para o valor de 2,5 e 3,0, é necessário aplicar ações de conservação mais cedo. Isto leva a que, como se pode verificar no Quadro 4.37 e nas Figura 4.48 e 4.49 para o NMQ de 3, os custos de conservação tendam a baixar para quase todos os tipos de ações de conservação consideradas.

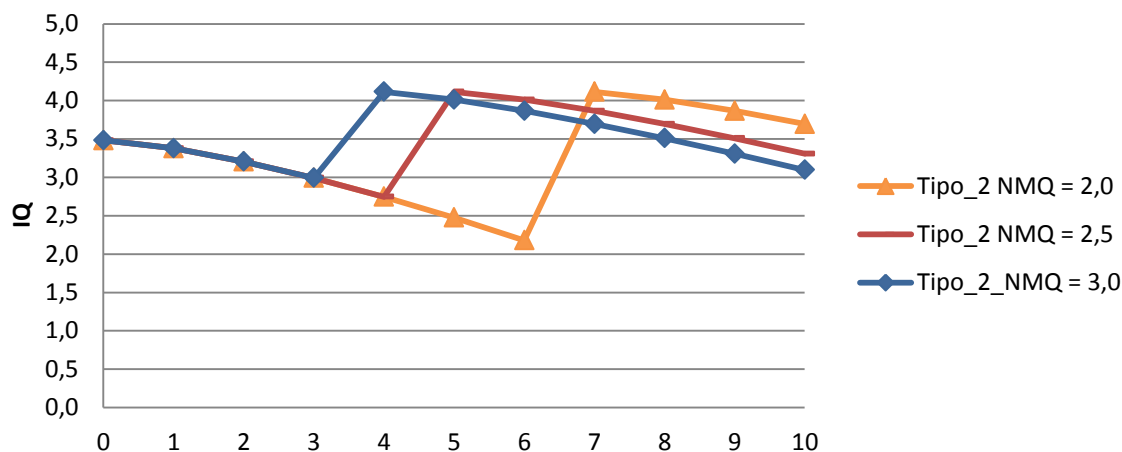


Figura 4.48 Níveis de IQ para a C_Externa de Coimbra com diferentes NMQ

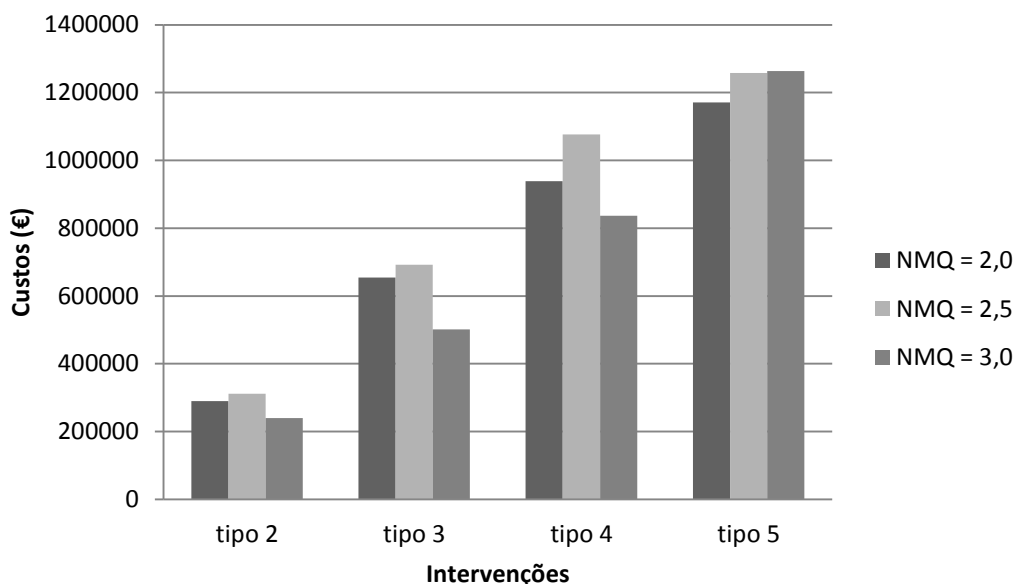


Figura 4.49 Custos de conservação atualizados para o ano 0, associados a cada tipo de intervenção

4.7 Programa de Conservação, Relatório Orçamental e Evolução do Estado dos Pavimentos

Mesmo utilizando uma metodologia simplificada como a que se apresentou, é necessário apresentar ao decisor final três documentos importantes que o ajudam na tomada de decisão: um programa de conservação, um relatório orçamental e uma previsão da evolução do estado dos pavimentos. Nos Quadros 4.38 a 4.41 sintetiza-se a informação relevante que deveria incluir-se naqueles documentos.

Quadro 4.38. Programa de conservação para o caso de estudo

| Ruas com Intervenção | NMQ = 2,0 | | NMQ = 2,5 | | NMQ = 3,0 | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Ano de Intervenção | Tipo de Intervenção | Ano de Intervenção | Tipo de Intervenção | Ano de Intervenção | Tipo de Intervenção |
| Rua do Brasil I | 1 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| | | | 8 | 2 | 6 | 2 |
| Rua do Brasil II | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua João de Deus Ramos | 3 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua Carolina Michaelis | 4 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua Sacadura Cabral | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 5 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 5 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 0 | 3,4,5 | 1 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | | | 0 | 3,4,5 | 0 | 4,5 |
| | | | 6 | 3 | - | - |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 0 | 3,4,5 | 0 | 4,5 | 0 | 5 |
| | 5 | 3 | 5 | 4 | | |
| | 9 | 3 | | | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 9 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 3,4,5 | 0 | 5 |
| | 3 | 2 | 7 | 3 | | |
| | 6 | 2 | | | | |
| | 9 | 2 | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 6 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 8 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Circular Externa de Coimbra II | 6 | 2,3,4,5 | 4 | 2,3,4,5 | 3 | 2,3,4,5 |
| Rua Padrão (S-N) | 2 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Rua Padrão (N-S) | 2 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| Avenida Emídio Navarro I | 3 | 2,3,4,5 | 1 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| | 9 | 2 | 4 | 2 | | |
| | | | 7 | 2 | | |
| Avenida Lousã II | 1 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |
| | | | | | 8 | 2 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 3 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 | 0 | 2,3,4,5 |

Custos (€) mínimos em cada ano :

Quadro 4.39. Relatório orçamental para uma taxa de desconto de 2,5 %, para um NMQ = 2

| Ruas com Intervenção | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|--------|----|
| Rua do Brasil I | | 20720 | | | | | | | | | |
| Rua do Brasil II | 20720 | | | | | | | | | | |
| Rua João de Deus Ramos | | | | 2280 | | | | | | | |
| Rua Carolina Michaelis | | | | | 15478 | | | | | | |
| Rua Sacadura Cabral | 35618 | | | | | | | | | | |
| Avenida António Portugal I (S-N) | | | | | | 15540 | | | | | |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 42777 | | | | | | | | | | |
| Avenida António Portugal II (S-N) | | | | | | | | | | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 41013 | | | | | 41013 | | | | 41013 | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 71279 | | | | | | | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | | | | | | | | | | 4351 | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | | | | 17840 | | | 17840 | | | 17840 | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | | | | | | | 4351 | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 17840 | | | | | | | | 17840 | 17840 | |
| Circular Externa de Coimbra II | | | | | | | 9630 | | | | |
| Rua Padrão (S-N) | | | 14209 | | | | | | | | |
| Rua Padrão (N-S) | | | 14209 | | | | | | | | |
| Avenida Emídio Navarro I | | | | 39451 | | | | | | 39451 | |
| Avenida Lousã II | | 11655 | | | | | | | | | |
| Avenida Cônego Urbano Duarte | | | | 10256 | | | | | | | |
| TOTAL = | 229247 | 32375 | 28417 | 69827 | 15478 | 56553 | 31821 | 0 | 17840 | 120495 | 0 |
| TOTAL de todos os anos = | 602053 | | | | | | | | | | |

Custos (€) mínimos em cada ano :

Quadro 4.40. Relatório orçamental para uma taxa de desconto de 2,5 %, para um NMQ = 3

| Ruas com Intervenção | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|---------------|----------|----------|-------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|
| Rua do Brasil I | 20720 | | | | | | 20720 | | | | |
| Rua do Brasil II | 20720 | | | | | | | | | | |
| Rua João de Deus Ramos | 11810 | | | | | | | | | | |
| Rua Carolina Michaelis | 15478 | | | | | | | | | | |
| Rua Sacadura Cabral | 35618 | | | | | | | | | | |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 63870 | | | | | | | | | | |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 18089 | | | | | | | | | | |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 65615 | | | | | | | | | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 71279 | | | | | | | | | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 71279 | | | | | | | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 4351 | | | | | | | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 73323 | | | | | | | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 4351 | | | | | | | | | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 17840 | | | | | | | | | | |
| Circular Externa de Coimbra II | | | | 9630 | | | | | | | |
| Rua Padrão (S-N) | 14209 | | | | | | | | | | |
| Rua Padrão (N-S) | 14209 | | | | | | | | | | |
| Avenida Emídio Navarro I | 39451 | | | | | | | | | | |
| Avenida Lousã II | 11655 | | | | | | | | 11655 | | |
| Avenida Cônego Urbano Duarte | 11655 | | | | | | | | | | |
| TOTAL = | 585521 | 0 | 0 | 9630 | 0 | 0 | 20720 | 0 | 11655 | 0 | 0 |
| TOTAL de todos os anos = | 627526 | | | | | | | | | | |

Nos quadros 4.39 e 4.40 foram apresentados dois cenários possíveis de orçamentos necessários em cada ano para os níveis mínimos de qualidade de 2 e 3, respetivamente. É possível verificar que as ações de conservação não são aplicadas nos mesmos segmentos e nos mesmos anos nos dois cenários analisados e, como seria de esperar, para manter a rede num estado de conservação superior é necessário gastar um pouco mais quando o NMQ é de 3. Para qualquer outra política relativa ao NMQ poderia determinar-se o orçamento anual necessário.

Quadro 4.41. Relatório da evolução do estado dos pavimentos para uma taxa de desconto de 2,5 % e um NMQ = 2,0

| Ruas com Intervenção | NMQ = 2,0 | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | Tipo 2 | | | Tipo 3 | | Tipo 4 | | Tipo 5 | |
| | 0 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| Rua do Brasil I | 2,52 | 3,51 | 2,22 | 3,82 | 3,54 | 3,91 | 3,74 | 3,96 | 3,85 |
| Rua do Brasil II | 2,15 | 3,34 | 3,15 | 3,44 | 3,34 | 3,53 | 3,45 | 4,04 | 3,98 |
| Rua João de Deus Ramos | 2,37 | 4,06 | 3,68 | 4,05 | 3,86 | 4,07 | 3,93 | 4,08 | 3,98 |
| Rua Carolina Michaelis | 2,48 | 4,17 | 3,77 | 4,10 | 3,90 | 4,10 | 3,95 | 4,17 | 4,00 |
| Rua Sacadura Cabral | 0,99 | | | | | | | 3,75 | 3,56 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 1,69 | | | 2,64 | 2,20 | 2,84 | 2,59 | 2,85 | 3,71 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 2,47 | 4,10 | 3,69 | 4,10 | 3,83 | 4,12 | 3,90 | 4,17 | 4,00 |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 1,73 | | | 3,72 | 2,92 | 2,62 | 2,02 | 3,44 | 3,10 |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 1,15 | | | | | | | 3,44 | 3,10 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 2,42 | 2,24 | 4,17 | 2,24 | 4,17 | 2,24 | 4,17 | 2,24 | 4,17 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 1,69 | 2,81 | 3,29 | 2,61 | 2,15 | 2,84 | 2,58 | 3,85 | 3,71 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 2,28 | 2,09 | 4,07 | 2,09 | 4,06 | 2,09 | 4,07 | 2,09 | 4,08 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 2,39 | 2,21 | 4,09 | 2,21 | 4,07 | 2,21 | 4,11 | 2,21 | 4,12 |
| Circular Externa de Coimbra II | 3,48 | 2,48 | 3,69 | 2,98 | 3,87 | 2,48 | 3,91 | 2,48 | 4,00 |
| Rua Padrão (S-N) | 2,39 | 3,84 | 3,50 | 3,93 | 3,76 | 4,00 | 3,88 | 4,04 | 3,95 |
| Rua Padrão (N-S) | 2,39 | 3,79 | 3,45 | 3,88 | 3,71 | 4,00 | 3,88 | 4,04 | 3,95 |
| Avenida Emídio Navarro I | 2,64 | 2,81 | 2,93 | 4,02 | 3,77 | 4,05 | 3,87 | 4,07 | 3,94 |
| Avenida Lousã II | 2,37 | 3,70 | 2,81 | 3,88 | 3,66 | 3,94 | 3,80 | 3,98 | 3,89 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 2,41 | 3,98 | 3,63 | 3,96 | 3,79 | 4,00 | 3,95 | 4,04 | 4,00 |

4.8 Síntese

Neste capítulo mostrou-se, através de um caso de estudo, como efetuar a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários através da aplicação da fórmula do Estado do Nevada, adaptada à cidade de Lisboa. Além disso, apresentou-se o funcionamento geral de dois

sistemas de apoio à decisão usados em sistemas de gestão de pavimentos. Um sistema determinístico, baseado na fórmula da (AASHTO, 1993) e um sistema probabilístico baseado em cadeias de Markov.

O caso de estudo consistiu na observação e levantamento de dados de trechos relativos à rede rodoviária de Coimbra, numa extensão de cerca de 11 km.

Após a determinação de índices de qualidade para os trechos considerados, utilizou-se o modelo determinístico da AASHTO nos trechos com um tráfego de pesados considerável, para prever a evolução da qualidade dos pavimentos no período de análise. Para os trechos onde não existia tráfego de pesados utilizou-se, para prever a evolução da qualidade dos pavimentos no período de análise de 10 anos, um sistema de apoio à decisão probabilístico, designadamente cadeias de Markov..

A possibilidade de prever a evolução no tempo do índice de qualidade dos pavimentos, permitiu avaliar os custos de conservação a incorrer pela administração, tendo em consideração o nível mínimo de qualidade de 2,0 no período de análise, definido para os pavimentos da rede.

Além disso, apresentam-se análises globais da rede que permitiram obter distribuições percentuais da extensão da rede com diferentes níveis de qualidade. Trata-se de uma forma útil de contribuir para a decisão política sobre as ações de conservação, porquanto dá ao decisor uma visão geral do estado da rede, no momento da decisão, e no período futuro.

Fez-se, ainda, uma análise de sensibilidade, considerando variações nos parâmetros usados nos subsistemas de avaliação da qualidade, nos métodos de avaliação de estratégias e na avaliação de custos de conservação, comparando as diferenças nas análises efetuadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Síntese do Trabalho

Esta dissertação compreendeu o estudo de sistemas de gestão de pavimentos de redes rodoviárias e, ainda, a aplicação de metodologias daqueles sistemas a um itinerário da rede municipal da cidade de Coimbra.

Para que as entidades gestoras, tais como os municípios, consigam manter as suas redes rodoviárias em condições aceitáveis é fundamental atuar de forma planeada e preventiva-curativa, embora este tipo de decisões tenham uma base fortemente política.

Contudo, a implementação de raiz de um SGP poderá não ser fácil porque não se pode adquirir um sistema já pronto e colocá-lo a funcionar, num ambiente para o qual não foi programado. Como foi referido anteriormente, para que um sistema funcione de forma eficaz, terá que ser adaptado a cada situação, não esquecendo nunca as questões político-administrativas que também variam de entidade para entidade. Porém, as componentes base de um SGP terão sempre a mesma estrutura. A estrutura base de um qualquer SGP será próxima da que é representada na Figura 5.1.

As Bases de Dados permitem o armazenamento e manipulação de dados relativos às redes rodoviárias. Por esta razão, são uma das componentes mais importantes em qualquer SGP.

Os Sistemas de Avaliação de Qualidade também revelam uma elevada importância no processo de gestão da conservação dos pavimentos, podendo incluir análises mais ou menos elaboradas para quantificar o estado de conservação presente e futuro dos pavimentos. No caso de estudo foram utilizados os seguintes parâmetros de estado: fendilhamento, covas, peladas, rodeiras e ainda valores estimados de IRI.

Os Sistemas de Apoio à Decisão têm como base modelos de previsão do comportamento e, geralmente, modelos de minimização de custos e/ou de maximização da qualidade. As decisões têm sempre como restrição incontornável as disponibilidades orçamentais. No caso de estudo não se implementaram modelos de otimização.

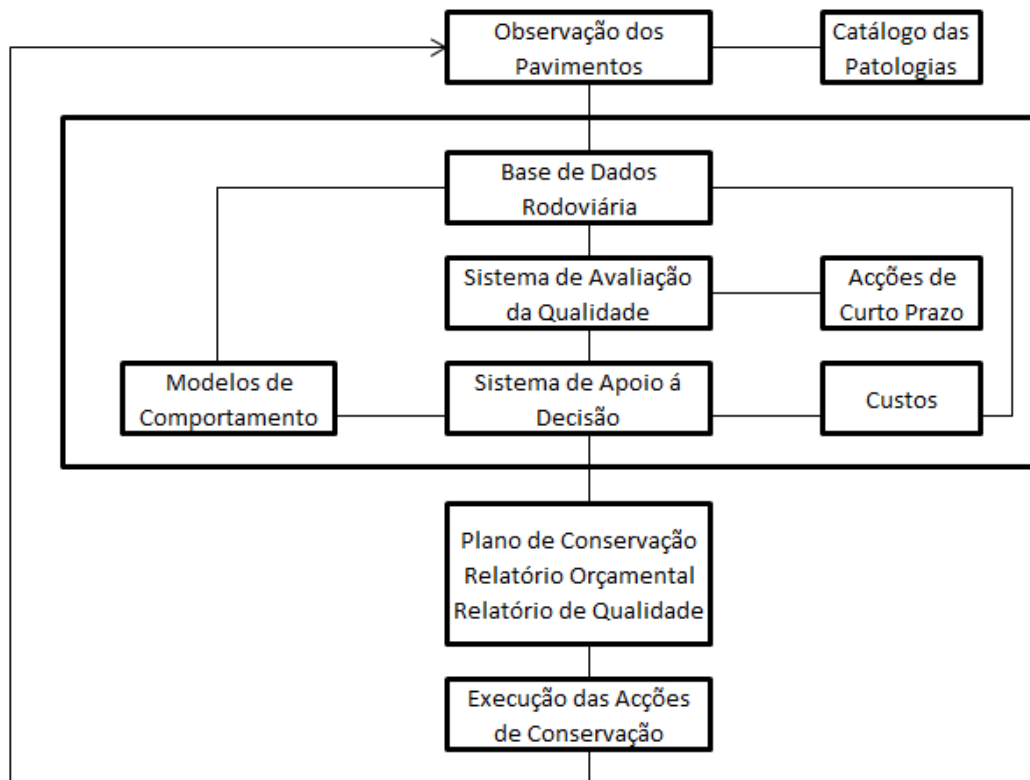


Figura 5.1 Estrutura geral de um SGP [adaptado de (Meneses, 2006)]

Os modelos de previsão do comportamento dos pavimentos consistem em representações matemáticas, que permitem, de forma probabilística ou determinística, prever o estado futuro dos pavimentos, tendo em conta o seu estado atual, os fatores de degradação e os efeitos resultantes das ações de conservação.

Os sistemas de custos variam de entidade para entidade, mas devem incluir sempre os custos de conservação dos pavimentos, com o objetivo de melhorar o desempenho da administração na conservação da rede. Tal como se fez no caso de estudo, mesmo quando não se utilizam modelos de otimização, pode contribuir-se de forma considerável para apoiar as entidades gestoras com poucos meios técnicos e humanos, como acontece em muitos dos municípios portugueses. Contribui-se, assim, para tomarem decisões mais equilibradas no que diz respeito à conservação da rede rodoviária.

Após a aplicação de um sistema de gestão de pavimentos é possível obter um programa de conservação, um relatório orçamental e um relatório da evolução do estado dos pavimentos. Três documentos importantes para qualquer decisor ter em conta na tomada de decisão.

As metodologias utilizadas nesta dissertação mostram que com poucos meios técnicos e humanos é possível a aplicação de um SGP simplificado, mas que, mesmo assim, permite suportar, de forma mais objetiva do que é habitual, um processo de decisão sobre as ações de conservação a implementar numa rede municipal de pequena dimensão.

No caso de estudo consideraram-se várias etapas fundamentais: o levantamento visual das degradações superficiais de todo o itinerário selecionado; o carregamento destas numa folha

de Excel de forma organizada; o processamento dos dados inseridos, obtendo valores de índices de qualidade (IQ), para todos os trechos, referentes ao levantamento, e a previsão dos IQ no período de análise de dez anos; o carregamento dos resultados obtidos em ArcGis, Sistema de Informação Geográfica utilizado, para poder obter mapas da rede com a distribuição espacial dos seus atributos, tais como o estado dos pavimentos e as possíveis ações de conservação; a análise dos custos de conservação; a produção de um plano de conservação da rede.

Note-se que, no caso de estudo se utilizaram duas metodologias para prever a evolução do estado dos pavimentos no período de análise. Um modelo determinístico, da AASHTO nos trechos com tráfego de pesados considerável. Um modelo probabilístico, cadeias de Markov, nos trechos onde o tráfego de pesados era desprezável.

5.2 Principais Conclusões

Pode afirmar-se que os objetivos inicialmente estabelecidos foram genericamente atingidos.

Contudo, foram encontradas algumas dificuldades, devido à falta de informação relativa à constituição dos pavimentos, e outros dados históricos, que pudessem contribuir para a caracterização estrutural dos pavimentos.

A inspeção visual detalhada das diversas ruas selecionadas foi concretizada sem recorrer a metodologias de levantamento mecânico ou equipamento de registo, o que permitiu a obtenção dos seus índices de qualidade.

Recorreu-se a uma metodologia mais simples, tendo sido possível mostrar que é possível obter informação sobre a rede, avaliar o estado de conservação dos pavimentos e fazer previsões sobre o estado de conservação futura da rede. Isso ainda possibilitou avaliar os custos de conservação e estabelecer um plano de conservação.

A avaliação da sensibilidade associada aos parâmetros incluídos nas análises efetuadas no caso de estudo, possibilitou verificar quais os parâmetros que mais influenciam a os resultados obtidos.

Quando se considerou uma taxa de crescimento do tráfego de 0% e taxas superiores, até 5%, verificou-se que a degradação dos pavimentos não evoluía de forma muito diferente, para os valores de tráfego iniciais considerados. O IQ dos pavimentos no final do período de análise de dez anos era bastante próximo.

No que se refere à variação do coeficiente de agressividade do tráfego de 3 para 2 ou 4, os resultados mostraram que, dentro da gama estudada, não houve alterações significativas da variação do IQ ao longo do tempo. Isso aconteceu, provavelmente, porque o tráfego de pesados em meios urbano é relativamente baixo.

A MPT utilizada nas cadeias de Markov estabelece a rapidez com o pavimento passa de um nível de qualidade para o seguinte. A análise de sensibilidade efetuada mostrou que alterações

consideráveis nos valores das probabilidades conduzem a evoluções do IQ no tempo bastante relevantes. Assim, recomenda-se uma aferição tão boa quanto possível das MPT a utilizar numa dada rede, preferencialmente a partir de dados históricos de evolução das degradações.

No que diz respeito à influência da taxa de desconto, para a gama de variação considerada no estudo paramétrico, de 2 a 3%, verificou-se que a diferença de custos de conservação é pequena, embora se tenha verificado que quanto mais elevada for a taxa de desconto menores serão os custos.

Quando se estudou a variação do NMQ na gama de 2 a 3, verificou-se que para os níveis mais altos do IQ é necessário intervir mais cedo no pavimento, uma vez que o nível de exigência relativamente ao estado de conservação dos pavimentos é superior. Isto levou a que os custos de conservação tendam a baixar para quase todos os tipos de ações de conservação consideradas, quer sejam ligeiras, quer sejam fortes.

5.3 Desenvolvimentos Futuros

O problema das entidades gestoras é saber o estado de qualidade dos trechos da sua rede, quais são os que necessitam de intervenção, quando é que necessitam dessas mesmas intervenções e quanto é que são os custos de conservação.

Assim, como trabalhos futuros propõe-se a implementação de um sistema deste tipo, numa rede de um pequeno município, de modo a avaliar a viabilidade de utilização em contexto institucional. Isso permitiria verificar a bondade do procedimento quando comparado com as metodologias que habitualmente utilizam. A implementação permitiria verificar se o pessoal e os meios técnicos existentes poderiam ter em funcionamento, com sucesso, metodologias simples como as que se utilizaram nesta dissertação. Isso permitiria ter um conhecimento mais objetivo do estado de conservação da rede, podendo atuar-se de forma programada em termos de conservação da mesma, reduzindo os custos.

Seria também interessante implementar um sistema de registo de informação, mais automatizado que o utilizado no presente trabalho, de modo a reduzir a intervenção humana no processo. Julga-se que a implementação de rotinas em Excel poderia ser uma caminho possível para esse objetivo.

A inclusão de um modelo de custos de conservação específico para o município onde se fosse implementar seria também um desenvolvimento futuro a considerar.

Referências Bibliográficas

- AASHTO. (1993). *AASTHO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Alves, T. (2007). *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários - Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Deflectómetro de Impacto*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Branco, F., Pereira, P., & Picado_Santos, L. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra: Edições Almedina.
- Branco, F., Pereira, P., & Picado-Santos, L. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra: Almedina.
- Capitão, S. (2012). *Conservação de Vias de Comunicação - Observação de Pavimentos*. ISEC, Departamento de Engenharia Civil.
- Capitão, S. (2013). *Observação de Pavimentos - Conservação de Vias de Comunicação*. ISEC, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra.
- Cheng, D., Hicks, R., & Scholz, T. (2011). *Pavement Preservation - Protecting Our Investment on the Road*. Washington: TRB meeting, paper 11-3777.
- Costa, H. (2008). *Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Costa, H. (2008). *Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa.
- Fernandes, A. (2010). *Programas de manutenção de características da superfície de pavimentos associados a critérios de segurança rodoviária*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Fernandes, G. (n.d.). *Utilização de RCD como Materiais de Construção de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado, ISEC - Instituto Politécnico de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra.
- Ferreira, A. (2001). *Otimização de Conservação de Pavimentos das Redes Rodoviárias*. Tese de Doutoramento, F.C.T. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, especialidade de Ordenamento do Território e Transportes, Coimbra.
- Ferreira, A. (2006). *SIGPAV - SISTEMA DE GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS DE REDES RODOVIÁRIAS*. MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - DISCIPLINA: SIG NA GESTÃO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Engenharia Civil, Coimbra.

- Ferreira, A. (s.d.). *Gestão da Conservação de Redes Rodoviárias*. F.C.T. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra: Grupo de Investigação em Vias de Comunicação.
- Ferreira, A., & Picado-Santos, L. (2005). Sistema de Apoio à Decisão de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos em Zona Urbana. In *13º Congresso Ibero-Latinoamericano Del Asfalto, CD Ed.* San José, Costa Rica.
- Ferreira, A., & Santos, J. (2012). *Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level: sensitivity analysis to the discount rate*, *International Journal of Pavement Engineering*. 1-19, Published online: 03 September 2012, DOI:10.1080/10298436.2012.719618.
- FHWA. (2002). *Life-cycle cost analysis primer. Federal Highway Administration, Office of Asset Management, Washington, DC, USA*, 1-25.
- Figueiredo, N., Capitão, S., & Neves, J. (n.d.). *Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego - Situação existente e Metodologia de Apoio*. ISEC - Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra.
- Francisco, A. (2012). *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, ESTG - Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Horta, C., Pereira, F., Lopes, S., & Morgado, J. (2012). O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos da Estradas de Portugal, S.A. - Balanço de uma Implementação Consolidada.
- Ibraheem, A. T., & Falih, D. A.-R. (2011). *Applying Geographic Information System (GIS) for Maintenance Strategy Selection*. Baghdad: Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Nahrain.
- IGM. (2010). Retrieved Maio 2014, from Ingénierie Générale de Mesures: http://www.igm.fr/fr/In-Situ/Essais-routiers/VIZIROAD/VIZIROAD-eequipement-de-base_1120.html
- JAE. (1995). *Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. Junta Autónoma de Estradas.
- Jawad, D., & Ozbay, K. (2006). *The discount rate in life cycle-cost analysis of transportation projects. Proceedings of the 85th Annual TRB Meeting, Washington, DC, CD Edition*, 06-2662.pdf, 1-19.
- Kamalesh, P. (2009). *A methodological framework for modelling pavement maintenance costs for projects with performance-based contracts*. Florida International University, PhD.
- Macedo, A. (1988). *Sistemas de Informação Rodoviária - Estudo de referência para o caso de Portugal*. Obtenção de grau de Especialista, LNEC, Lisboa.
- (1995). MACOPAV.
- Maia, I. (2012). *Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Engenharia Civil, Porto.
- Meneses, S. (2006). *Implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Rodoviários para o Município de Oliveira do Hospital*. Tese de Mestrado, F.C.T. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, especialidade em Engenharia Urbana, Coimbra.

- Meneses, S. (2013). *Multi-Objective Decision-Aid Tool for Pavement Management*. Tese de Doutoramento, 1-252, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil.
- Minhoto, M. (2005). *Consideração da Temperatura no Comportamento à Reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Naruo, M. (2003). *O estudo dos consórcios entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informação geográfica*. São Paulo: Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo.
- Panthi, K. (2009). *A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts*. FIU Electronic Theses and Dissertations, Florida.
- Paterson, D. (1987). *Pavement Management Practice*. Transportation Research Board. Washington.
- Pereira, P. (1988). *Contribuição para um Sistema de Gestão Rodoviária - Modelos de Comportamento e método de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos Rodoviários*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Pereira, P., & Miranda, V. (1999). *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Picado-Santos. (2011). *Gestão d aConservação de Pavimentos de Infraestruturas de Transportes*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Picado-Santos. (2011). *Gestão d aConservação de Pavimentos de Infraestruturas de Transportes*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Picado-Santos. (2013). *Sistema de Gestão de Pavimentos - Estrutura, Funcionamento e Implementação*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Lisboa.
- Picado-Santos, L. (2013). *Sistema de Gestão de Pavimentos - Estrutura, Funcionamento e Implementação*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Lisboa.
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., & Conceição Azevedo, M. (2006). The evaluation of maintenance and rehabilitation strategies in the pavement management system of the Portuguese road administration. *Proceedings of the 4th Portuguese Road Congress*, 1-10.
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., & Pereira, P. (2006). *Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional*. Universidade de Coimbra; Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra.
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., & Bicho, O. (2004). *The Pavemente Management System for Lisbon*. Institution of Civil Engineer - Municipal Enginner, (s.l.).
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., Matos, Conceição Azevedo, M., & Costa Pereira, F. (2005). *Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos da Administração Portuguesa*. In *13º*

- Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, CD Ed.* (pp. pp 1-20). San José, Costa Rica.
- Pinto, J. (2003). *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Vias de Comunicação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Engenharia Civil, Porto.
- Rayya, H., Oliver, L., & Amutha, T. (2014). *Modelling subjective condition data of asphalt surfaced urban pavements*. Swinburne University of Technology, Transport Reserch Arena, Paris.
- Santos, B. (2002). *Implementação de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos Rodoviários para a Cidade de Lisboa*. Tese de Mestrado, F.C.T. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, M. (2009). *Dimensionamento de Camadas de Reforço de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro.
- Sardão, E. (2012). *Camadas de Desgaste Betuminosas com Incorporação de Seixo Britado - Análise de Alguns Parâmetros Relativos ao Atrito Superficial*. Dissertação de Mestrado, ISEC - Instituto Politécnico de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra.
- Seco, Á., Antunes, A., Costa, A., & Silva, A. (2006). *Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*. Universidade de Coimbra; Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil.
- Silva, A. (1998). *Sistemas de informações geográficas para planeamento de transportes*. São Paulo: Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

APÊNDICES

APÊNDICE I. Inspeção dos Pavimentos

I.1 Características

Quadro I. 1 Características Gerais dos Pavimentos

| Segmento | ID | Comprimento (m) | Largura (m) | Área Total Segmento (m ²) |
|--------------------------------------|-------|-----------------|-------------|---------------------------------------|
| Rua do Brasil I | 1.1 | 500 | 8 | 4000 |
| Rua do Brasil II | 1.2 | 500 | 8 | 4000 |
| Rua do Brasil III | 1.3 | 556 | 8 | 4448 |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 2.1 | 286 | 13 | 3718 |
| Rua João de Deus Ramos | 3.1 | 190 | 12 | 2280 |
| Rua Carolina Michaelis | 4.1 | 249 | 12 | 2988 |
| Rua Sacadura Cabral | 5.1 | 239 | 7 | 1673 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 6.1.1 | 500 | 6 | 3000 |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 6.1.2 | 582 | 6 | 3492 |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 6.2.1 | 500 | 6 | 3000 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 6.2.2 | 582 | 6 | 3492 |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 7.1.1 | 558 | 6 | 3348 |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 7.2.1 | 558 | 6 | 3348 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 8.1.1 | 140 | 6 | 840 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 8.1.2 | 242 | 6 | 1452 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 8.1.3 | 574 | 6 | 3444 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 8.2.1 | 140 | 6 | 840 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 8.2.2 | 242 | 6 | 1452 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 8.2.3 | 574 | 6 | 3444 |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 9.1.1 | 500 | 14 | 7000 |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 9.1.2 | 511 | 14 | 7154 |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 9.2.1 | 500 | 14 | 7000 |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 9.2.2 | 511 | 14 | 7154 |
| Circular Externa de Coimbra | 10.1 | 500 | 20 | 10000 |
| Circular Externa de Coimbra II | 10.2 | 169 | 11 | 1859 |
| Rua Padrão (S-N) | 11.1 | 422 | 6,5 | 2743 |
| Rua Padrão (N-S) | 11.2 | 422 | 6,5 | 2743 |
| N111-1 | 12.1 | 229 | 8 | 1832 |
| Avenida Cidade Aeminium I | 13.1 | 500 | 8 | 4000 |
| Avenida Cidade Aeminium II | 13.2 | 500 | 7 | 3500 |
| Avenida Cidade Aeminium III | 13.3 | 500 | 7 | 3500 |
| Avenida Cidade Aeminium IV | 13.4 | 500 | 7 | 3500 |
| Avenida Cidade Aeminium V | 13.5 | 150 | 7 | 1050 |
| Avenida Emídio Navarro I | 14.1 | 448 | 17 | 7616 |
| Avenida Lousã I | 15.1 | 500 | 10 | 5000 |
| Avenida Lousã II | 15.2 | 225 | 10 | 2250 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 16.1 | 198 | 10 | 1980 |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|-------------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------|--|-------------------------|---------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Rua do Brasil I | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 195 | 97,5 | 631,5 | 15,79 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 259 | 518 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 2 | 16 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua do Brasil II | 1 | 18 | 5 | 14,737 | 1 | 130 | 65 | 365 | 9,13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 13 | 20 | | 2 | 150 | 300 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 7 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua do Brasil III | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 130 | 65 | 147 | 3,30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 25 | 50 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 4 | 32 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua João de Deus Ramos | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 16,7 | 8,35 | 280,35 | 12,30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 136 | 272 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Carolina Michaelis | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 10 | 5 | 575 | 19,24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 231 | 462 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 9 | 108 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|-----------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|-------|--|-------------------------|-----------------|------------------------|-----|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | Nível | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | |
| Rua Sacadura Cabral | 1 | 0 | 5 | 25,000 | 1 | 0 | 0 | 683 | 40,82 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 22 | 20 | | 2 | 110,5 | 221 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 22 | 30 | | 3 | 66 | 462 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 1 | 222 | 5 | 5,000 | 1 | 54 | 27 | 588 | 19,60 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 259,5 | 519 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 7 | 42 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 18 | 9 | 555 | 15,89 | 1 | 0 | 0 | 344 | 0,10 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 273 | 546 | | | 2 | 172 | 344 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 4 | 2 | 2 | 0,07 | 1 | 0 | 0 | 58 | 0,02 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 29 | 58 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 1 | 0 | 5 | 20,000 | 1 | 11 | 5,5 | 606,5 | 17,37 | 1 | 0 | 0 | 634 | 0,18 |
| | 2 | 52 | 20 | | 2 | 300,5 | 601 | | | 2 | 317 | 634 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 1 | 28 | 5 | 14,167 | 1 | 30 | 15 | 1699 | 50,75 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 44 | 20 | | 2 | 308 | 616 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 178 | 1068 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|---------------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|--------|--|-------------------------|-----------------|------------------------|----|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | Nível | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 1 | 0 | 5 | 24,489 | 1 | 66 | 33 | 947 | 28,29 | 1 | 0 | 0 | 20 | 0,01 |
| | 2 | 93,3 | 20 | | 2 | 325 | 650 | | | 2 | 1 | 2 | | |
| | 3 | 76 | 30 | | 3 | 44 | 264 | | | 3 | 3 | 18 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 14 | 7 | 257 | 30,60 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 125 | 250 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 1 | 0 | 5 | 20,000 | 1 | 225,5 | 112,75 | 615,75 | 17,88 | 1 | 0 | 0 | 74 | 0,02 |
| | 2 | 51 | 20 | | 2 | 233,5 | 467 | | | 2 | 37 | 74 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 6 | 36 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 248 | 29,52 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 124 | 248 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|--------------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------|--|-------------------------|---------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 64 | 32 | 1102 | 32,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 313 | 626 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 74 | 444 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 58 | 0,83 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 29 | 58 | | | 2 | | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 47 | 23,5 | 23,5 | 0,33 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 544 | 7,77 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 13 | 26 | | | 2 | | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 37 | 518 | | | 3 | | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | | 0 | | |
| Circular Externa de Coimbra | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 21 | 10,5 | 10,5 | 0,11 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | | 0 | | |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas | |
|--------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|-------|--|-------------------------|-----------------|------------------------|-------|--------------------------------------|-------------------|-------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | Nível | | | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | | |
| Circular Externa de Coimbra II | 1 | 69 | 5 | 5,000 | 1 | 118 | 59 | 75 | 4,03 | 1 | | 0 | 0 | 0,00 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 8 | 16 | | | 0 | 2 | 0 | | | 0 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | | | | 0 |
| Rua Padrão (S-N) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 104 | 52 | 372 | 13,56 | 1 | 0 | 0 | 97,5 | 0,04 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 160 | 320 | | | 0 | 2 | 0 | | | 0 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | 15 | | | 97,5 |
| Rua Padrão (N-S) | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 229 | 114,5 | 503,5 | 18,36 | 1 | 0 | 0 | 182 | 0,07 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 149 | 298 | | | 0 | 2 | 0 | | | 0 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 14 | 91 | | | 0 | 3 | 28 | | | 182 |
| N111-1 | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 60 | 30 | 92 | 5,02 | 1 | 0 | 0 | 244 | 0,13 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 31 | 62 | | | 0 | 2 | 0 | | | 0 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | 30,5 | | | 244 |
| Avenida Cidade Aeminium I | 1 | 49 | 5 | 5,000 | 1 | 127 | 63,5 | 93,5 | 2,34 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 15 | 30 | | | 0 | 2 | 0 | | | 0 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | 0 | | | 0 |
| Avenida Cidade Aeminium II | 1 | 71 | 5 | 5,000 | 1 | 149 | 74,5 | 122,5 | 3,50 | 1 | 0 | 0 | 921,5 | 0,26 | |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 24 | 48 | | | 0 | 2 | 35,5 | | | 71 |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | 121,5 | | | 850,5 |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade (mm) | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|-----------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------|-----------------|--|-------------------------|------------------------|-------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | | Profundidade (mm) | Nível | Comprimento (m) | | | Área (m ²) | Nível | Comprimento (m) | | |
| Avenida Cidade Aeminium III | 1 | 0 | 5 | 20,000 | 1 | 126 | 63 | 872 | 24,91 | 1 | 0 | 0 | 189 | 0,05 |
| | 2 | 50 | 20 | | 2 | 352 | 704 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 15 | 105 | | | 3 | 27 | 189 | | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | 1 | 0 | 5 | 30,000 | 1 | 33 | 16,5 | 897,5 | 25,64 | 1 | 0 | 0 | 704 | 0,20 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 255 | 510 | | | 2 | 2 | 4 | | |
| | 3 | 37 | 30 | | 3 | 53 | 371 | | | 3 | 100 | 700 | | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 394 | 37,52 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 57 | 114 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 40 | 280 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida Emídio Navarro I | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 648 | 8,51 | 1 | 0 | 0 | 1071 | 0,14 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 205 | 410 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 14 | 238 | | | 3 | 63 | 1071 | | |
| Avenida Lousã I | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida Lousã II | 1 | 0 | 5 | 0,000 | 1 | 10 | 5 | 667 | 29,64 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | | 2 | 91 | 182 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | | 3 | 48 | 480 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 2 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Rodeiras, Fendilhamento e Peladas) (cont.)

| Segmento | Rodeiras | | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento | | | Área Total Fendilhamento (m ²) | % Área de Fendilhamento | Peladas | | | Área Total Peladas (m ²) | % Área de Peladas |
|------------------------------|----------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|-------|-----------------|--|-------------------------|------------------------|-------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | | Profundidade (mm) | Nível | Comprimento (m) | | | Área (m ²) | Nível | Comprimento (m) | | |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 582 | 29,39 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 20 | 2 | 91 | 182 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 30 | 3 | 40 | 400 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 3 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Covas e Reparações)

| Segmento | Covas | | | Área Total Covas (m ²) | % Área de Covas | Reparações | | | Área Total Reparações (m ²) | % Área de Reparações |
|-------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|---|----------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Rua do Brasil I | 1 | 0 | 0 | 2,4 | 0,06 | 1 | 60 | 120 | 188 | 4,70 |
| | 2 | 1,2 | 2,4 | | | 2 | 13 | 52 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 2 | 16 | | |
| Rua do Brasil II | 1 | 0 | 0 | 3,2 | 0,08 | 1 | 0 | 0 | 134 | 3,35 |
| | 2 | 1,6 | 3,2 | | | 2 | 23,5 | 94 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 5 | 40 | | |
| Rua do Brasil III | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 3 | 6 | 219,2 | 4,93 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 33,5 | 134 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 9,9 | 79,2 | | |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 119,6 | 3,22 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 1,4 | 9,1 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 8,5 | 110,5 | | |
| Rua João de Deus Ramos | 1 | 0 | 0 | 0,4 | 0,02 | 1 | 159,5 | 478,5 | 531,9 | 23,33 |
| | 2 | 0,2 | 0,4 | | | 2 | 0,9 | 5,4 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 4 | 48 | | |
| Rua Carolina Michaelis | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 50,8 | 152,4 | 165,3 | 5,53 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 2,15 | 12,9 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Sacadura Cabral | 1 | 1 | 0,5 | 4,35 | 0,26 | 1 | 0 | 0 | 20,125 | 1,20 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 5,75 | 20,125 | | |
| | 3 | 0,55 | 3,85 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 1 | 0 | 0 | 0,7 | 0,02 | 1 | 0 | 0 | 12 | 0,40 |
| | 2 | 0,35 | 0,7 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 2 | 12 | | |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 1 | 0 | 0 | 6 | 0,17 | 1 | 0 | 0 | 85,2 | 2,44 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 3,6 | 10,8 | | |
| | 3 | 1 | 6 | | | 3 | 12,4 | 74,4 | | |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 19,5 | 0,65 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 3,25 | 19,5 | | |

Quadro I. 3 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Covas e Reparações) (cont.)

| Segmento | Covas | | | Área Total Covas (m ²) | % Área de Covas | Reparações | | | Área Total Reparações (m ²) | % Área de Reparações |
|--------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|---|----------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 12 | 0,34 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 12 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 1 | 0 | 0 | 0,9 | 0,03 | 1 | 0 | 0 | 550,5 | 16,44 |
| | 2 | 0,45 | 0,9 | | | 2 | 2,3 | 6,9 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 90,6 | 543,6 | | |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 34,2 | 1,02 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 5,2 | 15,6 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 3,1 | 18,6 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 13,5 | 0,93 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 4,5 | 13,5 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 1 | 0 | 0 | 1,5 | 0,04 | 1 | 0 | 0 | 1,2 | 0,03 |
| | 2 | 0,75 | 1,5 | | | 2 | 0,4 | 1,2 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 105 | 157,5 | 157,5 | 18,75 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 1 | 0 | 0 | 1,4 | 0,10 | 1 | 0 | 0 | 4,2 | 0,29 |
| | 2 | 0,7 | 1,4 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0,7 | 4,2 | | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 1 | 0 | 0 | 6 | 0,17 | 1 | 0 | 0 | 32,4 | 0,94 |
| | 2 | 3 | 6 | | | 2 | 1,9 | 5,7 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 4,45 | 26,7 | | |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |

Quadro I. 3 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Covas e Reparações) (cont.)

| Segmento | Covas | | | Área Total Covas (m ²) | % Área de Covas | Reparações | | | Área Total Reparações (m ²) | % Área de Reparações |
|--------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|---|----------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 1 | 0 | 0 | 5,9 | 0,08 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 1,2 | 2,4 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0,25 | 3,5 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Circular Externa de Coimbra | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Circular Externa de Coimbra II | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 0 | 0 | 669,35 | 36,01 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 121,7 | 669,35 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Rua Padrão (S-N) | 1 | 0 | 0 | 1,8 | 0,07 | 1 | 28 | 45,5 | 557,21 25 | 20,31 |
| | 2 | 0,9 | 1,8 | | | 2 | 153,15 | 497,73 75 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 2,15 | 13,975 | | |
| Rua Padrão (N-S) | 1 | 0,03 | 0,015 | 16,665 | 0,61 | 1 | 0 | 0 | 412,1 | 15,02 |
| | 2 | 1,5 | 3 | | | 2 | 125,9 | 409,17 5 | | |
| | 3 | 2,1 | 13,65 | | | 3 | 0,45 | 2,925 | | |
| N111-1 | 1 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 1 | 0 | 0 | 18 | 0,98 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 2,7 | 10,8 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0,9 | 7,2 | | |
| Avenida Cidade Aeminium I | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 11,5 | 23 | 97 | 2,43 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 18,5 | 74 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida Cidade Aeminium II | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 42 | 73,5 | 187,25 | 5,35 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 1,5 | 5,25 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 15,5 | 108,5 | | |
| Avenida Cidade Aeminium III | 1 | 0 | 0 | 3,4 | 0,10 | 1 | 0 | 0 | 868 | 24,80 |
| | 2 | 1,7 | 3,4 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 124 | 868 | | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | 1 | 2 | 1 | 3 | 0,09 | 1 | 0 | 0 | 1141 | 32,60 |
| | 2 | 1 | 2 | | | 2 | 208 | 728 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 59 | 413 | | |

Quadro I. 3 Levantamento dos Parâmetros de Estado (Covas e Reparações) (cont.)

| Segmento | Covas | | | Área Total Covas (m ²) | % Área de Covas | Reparações | | | Área Total Reparações (m ²) | % Área de Reparações |
|------------------------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|---|----------------------|
| | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | | Nível | Comprimento (m) | Área (m ²) | | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 1 | 0 | 0 | 2,45 | 0,23 | 1 | 0 | 0 | 87,5 | 8,33 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 1 | 3,5 | | |
| | 3 | 0,35 | 2,45 | | | 3 | 12 | 84 | | |
| Avenida Emídio Navarro I | 1 | 0 | 0 | 1,7 | 0,02 | 1 | 0 | 0 | 199,75 | 2,62 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 5,5 | 46,75 | | |
| | 3 | 0,1 | 1,7 | | | 3 | 9 | 153 | | |
| Avenida Lousã I | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 100 | 250 | 250 | 5,00 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida Lousã II | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 1 | 60 | 150 | 150 | 6,67 |
| | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | | |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 1 | 0 | 0 | 23,4 | 1,18 | 1 | 0 | 0 | 30 | 1,52 |
| | 2 | 0,7 | 1,4 | | | 2 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 2,2 | 22 | | | 3 | 3 | 30 | | |

I.2 Resultados da Inspeção Visual

Quadro I. 4 Determinação do IRI e por sua vez do IQ

| Segmento | IRI (mm/m) | IQ Trecho | IQ Estrada |
|--------------------------------------|------------|-----------|------------|
| Rua do Brasil I | 2000 | 2,520 | 2,889 |
| Rua do Brasil II | 2000 | 2,155 | |
| Rua do Brasil III | 700 | 3,882 | |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 700 | 3,989 | 3,989 |
| Rua João de Deus Ramos | 2000 | 2,377 | 2,377 |
| Rua Carolina Michaelis | 2000 | 2,476 | 2,476 |
| Rua Sacadura Cabral | 2000 | 0,987 | 0,987 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 2000 | 2,473 | 2,510 |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 2000 | 2,542 | |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 700 | 4,083 | 2,799 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 2000 | 1,695 | |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 2000 | 1,725 | 1,725 |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 2000 | 1,150 | 1,150 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 2000 | 2,421 | 2,403 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 700 | 4,072 | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 2000 | 1,694 | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 2000 | 2,279 | 2,813 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 700 | 4,106 | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 2000 | 2,398 | |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 700 | 4,078 | 4,095 |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 700 | 4,111 | |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 700 | 3,888 | 4,030 |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 700 | 4,169 | |
| Circular Externa de Coimbra | 700 | 4,136 | 3,971 |
| Circular Externa de Coimbra II | 700 | 3,482 | |
| Rua Padrão (S-N) | 2000 | 2,391 | 2,391 |
| Rua Padrão (N-S) | 2000 | 2,390 | 2,390 |
| N111-1 | 2000 | 2,726 | 2,726 |
| Avenida Cidade Aeminium I | 700 | 3,897 | 2,070 |
| Avenida Cidade Aeminium II | 2000 | 2,618 | |
| Avenida Cidade Aeminium III | 2000 | 1,412 | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | 2000 | 0,284 | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 2000 | 2,295 | |
| Avenida Emídio Navarro I | 2000 | 2,638 | 2,638 |
| Avenida Lousã I | 700 | 3,945 | 3,457 |
| Avenida Lousã II | 2000 | 2,371 | |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 2000 | 2,407 | 2,407 |

I.3 Aplicação da Fórmula da AASHTO

Quadro I. 5 Aplicação da Fórmula da AASHTO

| Segmento | ZR | S0 | SNt | CF | RL | SN0 | MR | MR (psi) | BD | | MB | | Semipenetração | | BG | | SBG | |
|-------------------------------------|--------|------|-------|-------|--------|-------|-----|----------|----|---------|----|---------|----------------|---------|----|---------|-----|---------|
| | | | | | | | | | e | C | e | C | e | C | e | C | e | C |
| Rua do Brasil I | -1,645 | 0,35 | 2,754 | 0,892 | 47,516 | 3,087 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | 15 | 0,09449 | | 0,05512 | | 0,04331 |
| Rua do Brasil II | -1,645 | 0,35 | 3,041 | 0,846 | 36,091 | 3,595 | 60 | 8702,262 | 4 | 0,17323 | 5 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua do Brasil III | -1,645 | 0,35 | 3,595 | 1 | 90,052 | 3,595 | 100 | 14503,77 | 4 | 0,17323 | 5 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | -1,645 | 0,35 | 3,362 | 1 | 93,414 | 3,362 | 100 | 14503,77 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Rua João de Deus Ramos | -1,645 | 0,35 | 2,946 | 0,876 | 43,024 | 3,362 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Rua Carolina Michaelis | -1,645 | 0,35 | 2,984 | 0,888 | 46,126 | 3,362 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Rua Sacadura Cabral | -1,645 | 0,35 | 1,659 | 0,493 | -0,418 | 3,362 | 30 | 4351,131 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Avenida António Portugal I (S-N) | -1,645 | 0,35 | 2,983 | 0,887 | 46,026 | 3,362 | 60 | 8702,262 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Avenida António Portugal II (S-N) | -1,645 | 0,35 | 3,007 | 0,894 | 48,202 | 3,362 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Avenida António Portugal I (N-S) | -1,645 | 0,35 | 3,362 | 1 | 96,337 | 3,362 | 110 | 15954,15 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | -1,645 | 0,35 | 2,53 | 0,753 | 21,723 | 3,362 | 30 | 4351,131 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 20 | 0,04331 |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | -1,645 | 0,35 | 2,355 | 0,76 | 22,645 | 3,099 | 30 | 4351,131 | 5 | 0,17323 | | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | -1,645 | 0,35 | 1,761 | 0,568 | 4,674 | 3,099 | 30 | 4351,131 | 5 | 0,17323 | | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | -1,645 | 0,35 | 2,856 | 0,881 | 44,396 | 3,24 | 90 | 13053,39 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 96,005 | 3,24 | 110 | 15954,15 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | -1,645 | 0,35 | 2,438 | 0,752 | 21,693 | 3,24 | 30 | 4351,131 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | -1,645 | 0,35 | 2,799 | 0,864 | 39,969 | 3,24 | 90 | 13053,39 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 97,078 | 3,24 | 110 | 15954,15 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |

Quadro I. 5 Aplicação da Fórmula da AASHTO (cont.)

| Segmento | ZR | S0 | SNt | CF | RL | SN0 | MR | MR (psi) | BD | | MB | | Semipenetração | | BG | | SBG | |
|--------------------------------------|--------|------|-------|-------|--------|-------|-----|----------|----|---------|----|---------|----------------|---------|----|---------|-----|---------|
| | | | | | | | | | e | C | e | C | e | C | e | C | e | C |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | -1,645 | 0,35 | 2,848 | 0,879 | 43,699 | 3,24 | 90 | 13053,39 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 96,174 | 3,24 | 110 | 15954,15 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 97,227 | 3,24 | 110 | 15954,15 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 90,26 | 3,24 | 100 | 14503,77 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | -1,645 | 0,35 | 3,24 | 1 | 99,018 | 3,24 | 110 | 15954,15 | 4 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Circular Externa de Coimbra | -1,645 | 0,35 | 2,945 | 1 | 98,006 | 2,945 | 110 | 15954,15 | 6 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 20 | 0,05512 | | 0,04331 |
| Circular Externa de Coimbra II | -1,645 | 0,35 | 2,844 | 0,966 | 77,573 | 2,945 | 70 | 10152,64 | 6 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 20 | 0,05512 | | 0,04331 |
| Rua Padrão (S-N) | -1,645 | 0,35 | 3,647 | 0,878 | 43,465 | 4,154 | 90 | 13053,39 | 8 | 0,17323 | 4 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Rua Padrão (N-S) | -1,645 | 0,35 | 3,647 | 0,878 | 43,445 | 4,154 | 90 | 13053,39 | 8 | 0,17323 | 4 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| N111-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium I | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium II | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium III | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium V | -1,645 | 0,35 | 3,256 | 0,866 | 40,465 | 3,76 | 90 | 13053,39 | 7 | 0,17323 | 8 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Avenida Emídio Navarro I | -1,645 | 0,35 | 2,91 | 0,903 | 51,179 | 3,221 | 90 | 13053,39 | 4 | 0,17323 | 5 | 0,13386 | 8 | 0,09449 | 20 | 0,05512 | | 0,04331 |
| Avenida Lousã I | -1,645 | 0,35 | 3,146 | 1 | 92,031 | 3,146 | 100 | 14503,77 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Avenida Lousã II | -1,645 | 0,35 | 2,755 | 0,876 | 42,85 | 3,146 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | -1,645 | 0,35 | 2,768 | 0,88 | 43,978 | 3,146 | 90 | 13053,39 | 5 | 0,17323 | 6 | 0,13386 | | 0,09449 | 15 | 0,05512 | 15 | 0,04331 |

I.4 Resultados da Aplicação da AASHTO

Quadro I. 6 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 primeiros anos

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 1 | | | ANO 2 | | | ANO 3 | | | ANO 4 | | | ANO 5 | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|--------|----------|---------|----------|----------------------|--------|--------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|---------|---------------------|----------------------|---------|
| | | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ |
| Rua do Brasil I | 225 | 2,52 | 246375 | 0,2346 | 2,2859 | 492750 | 0,6829 | 1,8376 | 739125 | 1,2757 | 1,2448 | 985500 | 1,9875 | 0,533 | 123187 ₅ | 2,8034 | -0,2829 | 123187 ₅ | 2,8034 | -0,2829 |
| Rua do Brasil II | 225 | 2,155 | 246375 | 0,5607 | 1,5942 | 492750 | 1,2694 | 0,8855 | 739125 | 2,0474 | 0,1075 | 985500 | 2,8741 | -0,7192 | 123187 ₅ | 3,739 | -1,5841 | 123187 ₅ | 3,739 | -1,5841 |
| Rua do Brasil III | 225 | 3,882 | 246375 | 0,1377 | 3,744 | 492750 | 0,2397 | 3,642 | 739125 | 0,3315 | 3,5502 | 985500 | 0,4172 | 3,4644 | 123187 ₅ | 0,4988 | 3,3829 | 123187 ₅ | 0,4988 | 3,3829 |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 32,4 | 3,989 | 35478 | 0,0227 | 3,9665 | 70956 | 0,0431 | 3,9461 | 106434 | 0,0627 | 3,9265 | 141912 | 0,0818 | 3,9075 | 177390 | 0,1005 | 3,8887 | 177390 | 0,1005 | 3,8887 |
| Rua João de Deus Ramos | 113,4 | 2,377 | 124173 | 0,081 | 2,2957 | 248346 | 0,1968 | 2,1799 | 372519 | 0,3308 | 2,0459 | 496692 | 0,4782 | 1,8986 | 620865 | 0,6364 | 1,7404 | 620865 | 0,6364 | 1,7404 |
| Rua Carolina Michaelis | 113,4 | 2,476 | 124173 | 0,0815 | 2,3945 | 248346 | 0,1923 | 2,2838 | 372519 | 0,3176 | 2,1585 | 496692 | 0,4534 | 2,0226 | 620865 | 0,5977 | 1,8783 | 620865 | 0,5977 | 1,8783 |
| Rua Sacadura Cabral | 84 | 0,987 | 91980 | 3,15E+10 | -3,2E+10 | 183960 | 4,7E+12 | - | 275940 | 8,89E+1 ₃ | - | 367920 | 7,12E+1 ₄ | - | 3,57E+1 ₅ | - | - | 459900 | 3,57E+1 ₅ | - |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 45 | 2,473 | 49275 | 0,0832 | 2,3897 | 98550 | 0,1963 | 2,2765 | 147825 | 0,3245 | 2,1483 | 197100 | 0,4635 | 2,0094 | 246375 | 0,6111 | 1,8617 | 246375 | 0,6111 | 1,8617 |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 45 | 2,542 | 49275 | 0,0267 | 2,5158 | 98550 | 0,0619 | 2,4806 | 147825 | 0,1012 | 2,4413 | 197100 | 0,1434 | 2,3991 | 246375 | 0,188 | 2,3545 | 246375 | 0,188 | 2,3545 |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 45 | 4,083 | 49275 | 0,0251 | 4,0577 | 98550 | 0,0476 | 4,0352 | 147825 | 0,0692 | 4,0136 | 197100 | 0,0903 | 3,9925 | 246375 | 0,111 | 3,9718 | 246375 | 0,111 | 3,9718 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 45 | 1,695 | 49275 | 2,3476 | -0,6525 | 98550 | 9,195 | -7,4998 | 147825 | 20,4356 | - | 197100 | 36,0139 | - | 246375 | 55,8918 | - | 246375 | 55,8918 | - |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 211,5 | 1,725 | 231592,5 | 320,2418 | -318,517 | 463185 | 1743,528 | -1741,8 | 694777,5 | 4698,21 ₂ | - | 926370 | 9492,48 ₄ | - | 115796 ₃ | 16379,6 | - | 115796 ₃ | 16379,6 | - |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 211,5 | 1,15 | 231592,5 | 2,1E+10 | -2,1E+10 | 463185 | 1,37E+12 | - | 694777,5 | 1,58E+1 ₃ | - | 926370 | 8,94E+1 ₃ | - | 115796 ₃ | 3,43E+1 ₄ | - | 115796 ₃ | 3,43E+1 ₄ | - |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 40,5 | 2,421 | 44347,5 | 0,0192 | 2,4015 | 88695 | 0,0504 | 2,3703 | 133042,5 | 0,0887 | 2,332 | 177390 | 0,1324 | 2,2883 | 221737,5 | 0,1806 | 2,24 | 221737,5 | 0,1806 | 2,24 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 40,5 | 4,072 | 44347,5 | 0,0194 | 4,0528 | 88695 | 0,0389 | 4,0333 | 133042,5 | 0,0585 | 4,0137 | 177390 | 0,0782 | 3,994 | 221737,5 | 0,0978 | 3,9743 | 221737,5 | 0,0978 | 3,9743 |

Quadro I. 6 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 primeiros anos (cont.)

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 1 | | | ANO 2 | | | ANO 3 | | | ANO 4 | | | ANO 5 | | | |
|--------------------------------------|------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|
| | | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 40,5 | 1,694 | 44347,5 | 3,1682 | -1,474 | 88695 | 14,5774 | -12,8832 | 133042,5 | 35,5985 | - | 177390 | 67,073 | 65,3788 | 221737,5 | 109,6336 | - | 221737,5 | 109,6336 | - |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 40,5 | 2,279 | 44347,5 | 0,0178 | 2,2612 | 88695 | 0,0493 | 2,2297 | 133042,5 | 0,0895 | 2,1895 | 177390 | 0,1368 | 2,1422 | 221737,5 | 0,19 | 2,089 | 221737,5 | 0,19 | 2,089 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 40,5 | 4,106 | 44347,5 | 0,0194 | 4,0871 | 88695 | 0,0389 | 4,0676 | 133042,5 | 0,0585 | 4,048 | 177390 | 0,0782 | 4,0283 | 221737,5 | 0,0978 | 4,0086 | 221737,5 | 0,0978 | 4,0086 |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 40,5 | 2,398 | 44347,5 | 0,019 | 2,3794 | 88695 | 0,0502 | 2,3481 | 133042,5 | 0,0888 | 2,3096 | 177390 | 0,1329 | 2,2654 | 221737,5 | 0,1819 | 2,2165 | 221737,5 | 0,1819 | 2,2165 |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 108 | 4,078 | 118260 | 0,052 | 4,0256 | 236520 | 0,1044 | 3,9732 | 354780 | 0,157 | 3,9205 | 473040 | 0,2098 | 3,8678 | 591300 | 0,2626 | 3,815 | 591300 | 0,2626 | 3,815 |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 108 | 4,111 | 118260 | 0,052 | 4,0593 | 236520 | 0,1044 | 4,0069 | 354780 | 0,157 | 3,9542 | 473040 | 0,2098 | 3,9015 | 591300 | 0,2626 | 3,8487 | 591300 | 0,2626 | 3,8487 |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 108 | 3,888 | 118260 | 0,0649 | 3,8234 | 236520 | 0,1304 | 3,7579 | 354780 | 0,1962 | 3,6921 | 473040 | 0,2621 | 3,6262 | 591300 | 0,3281 | 3,5602 | 591300 | 0,3281 | 3,5602 |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 108 | 4,169 | 118260 | 0,052 | 4,1166 | 236520 | 0,1044 | 4,0642 | 354780 | 0,157 | 4,0116 | 473040 | 0,2098 | 3,9588 | 591300 | 0,2626 | 3,906 | 591300 | 0,2626 | 3,906 |
| Circular Externa de Coimbra | 85,5 | 4,136 | 93622,5 | 0,0311 | 4,1051 | 187245 | 0,0755 | 4,0607 | 280867,5 | 0,127 | 4,0092 | 374490 | 0,1837 | 3,9525 | 468112,5 | 0,2445 | 3,8917 | 468112,5 | 0,2445 | 3,8917 |
| Circular Externa de Coimbra II | 76 | 3,482 | 83220 | 0,1043 | 3,3781 | 166440 | 0,277 | 3,2054 | 249660 | 0,4905 | 2,9919 | 332880 | 0,7357 | 2,7466 | 416100 | 1,0076 | 2,4747 | 416100 | 1,0076 | 2,4747 |
| Rua Padrão (S-N) | 297 | 2,391 | 325215 | 0,2071 | 2,1838 | 650430 | 0,3548 | 2,0361 | 975645 | 0,4863 | 1,9046 | 1300860 | 0,6081 | 1,7828 | 1626075 | 0,7232 | 1,6677 | 1626075 | 0,7232 | 1,6677 |
| Rua Padrão (N-S) | 297 | 2,39 | 325215 | 0,2071 | 2,1832 | 650430 | 0,3549 | 2,0354 | 975645 | 0,4864 | 1,9039 | 1300860 | 0,6082 | 1,782 | 1626075 | 0,7234 | 1,6668 | 1626075 | 0,7234 | 1,6668 |
| N111-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Quadro I. 6 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 primeiros anos (cont.)

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 1 | | | ANO 2 | | | ANO 3 | | | ANO 4 | | | ANO 5 | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-----|-----|----|--|--|
| | | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | | |
| Avenida Cidade Aeminium III | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 256 | 2,295 | 280320 | 0,197 | 2,0978 | 560640 | 0,3927 | 1,9022 | 840960 | 0,5879 | 1,707 | 1121280 | 0,7827 | 1,5122 | 1401600 | 0,9772 | 1,3176 | | | | | |
| Avenida Emídio Navarro I | 164 | 2,638 | 179580 | 0,1316 | 2,5062 | 359160 | 0,3294 | 2,3083 | 538740 | 0,5636 | 2,0741 | 718320 | 0,825 | 1,8128 | 897900 | 1,1086 | 1,5291 | | | | | |
| Avenida Lousã I | 184,5 | 3,945 | 202027,5 | 0,1102 | 3,8348 | 404055 | 0,2332 | 3,7118 | 606082,5 | 0,3616 | 3,5834 | 808110 | 0,4936 | 3,4514 | 1010138 | 0,6284 | 3,3166 | | | | | |
| Avenida Lousã II | 184,5 | 2,371 | 202027,5 | 0,1727 | 2,1985 | 404055 | 0,5024 | 1,8689 | 606082,5 | 0,9381 | 1,4331 | 808110 | 1,4613 | 0,9099 | 1010138 | 2,0607 | 0,3105 | | | | | |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 102,6 | 2,407 | 112347 | 0,0699 | 2,3374 | 224694 | 0,2003 | 2,207 | 337041 | 0,3708 | 2,0365 | 449388 | 0,5742 | 1,8331 | 561735 | 0,8059 | 1,6014 | | | | | |

Quadro I. 7 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 últimos anos

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 6 | | | ANO 7 | | | ANO 8 | | | ANO 9 | | | ANO 10 | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|----------|---------|----------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|
| | | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ |
| Rua do Brasil I | 225 | 2,52 | 1478250 | 3,713 | -1,1925 | 1724625 | 4,7087 | -2,1882 | 197100 | 5,7848 | -3,2643 | 2217375 | 6,9363 | -4,4158 | 246375 | 8,1593 | -5,6388 | 246375 | 8,1593 | -5,6388 |
| Rua do Brasil II | 225 | 2,155 | 1478250 | 4,6356 | -2,4807 | 1724625 | 5,5595 | -3,4045 | 197100 | 6,5073 | -4,3524 | 2217375 | 7,4767 | -5,3217 | 246375 | 8,4655 | -6,3106 | 246375 | 8,4655 | -6,3106 |
| Rua do Brasil III | 225 | 3,882 | 1478250 | 0,5771 | 3,3046 | 1724625 | 0,6528 | 3,2289 | 197100 | 0,7264 | 3,1553 | 2217375 | 0,7982 | 3,0835 | 246375 | 0,8683 | 3,0133 | 246375 | 0,8683 | 3,0133 |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 32,4 | 3,989 | 212868 | 0,1189 | 3,8703 | 248346 | 0,1371 | 3,8521 | 283824 | 0,1551 | 3,8341 | 319302 | 0,1729 | 3,8163 | 354780 | 0,1906 | 3,7986 | 354780 | 0,1906 | 3,7986 |
| Rua João de Deus Ramos | 113,4 | 2,377 | 745038 | 0,8037 | 1,5731 | 869211 | 0,9791 | 1,3977 | 993384 | 1,1617 | 1,2151 | 1117557 | 1,3508 | 1,026 | 124173 | 1,5459 | 0,8309 | 124173 | 1,5459 | 0,8309 |
| Rua Carolina Michaelis | 113,4 | 2,476 | 745038 | 0,7491 | 1,727 | 869211 | 0,9065 | 1,5695 | 993384 | 1,0695 | 1,4066 | 1117557 | 1,2374 | 1,2387 | 124173 | 1,4097 | 1,0663 | 124173 | 1,4097 | 1,0663 |
| Rua Sacadura Cabral | 84 | 0,987 | 551880 | 1,34E+16 | -1,3E+16 | 643860 | 4,07E+16 | 4,1E+16 | 735840 | 1,07E+17 | - | 827820 | 2,51E+17 | - | 919800 | 5,37E+17 | - | 919800 | 5,37E+17 | - |
| Avenida António Portugal I (S-N) | 45 | 2,473 | 295650 | 0,766 | 1,7068 | 344925 | 0,9273 | 1,5456 | 394200 | 1,0941 | 1,3787 | 443475 | 1,266 | 1,2068 | 492750 | 1,4426 | 1,0302 | 492750 | 1,4426 | 1,0302 |
| Avenida António Portugal II (S-N) | 45 | 2,542 | 295650 | 0,2345 | 2,3079 | 344925 | 0,2828 | 2,2597 | 394200 | 0,3325 | 2,21 | 443475 | 0,3835 | 2,1589 | 492750 | 0,4358 | 2,1066 | 492750 | 0,4358 | 2,1066 |
| Avenida António Portugal I (N-S) | 45 | 4,083 | 295650 | 0,1313 | 3,9515 | 344925 | 0,1514 | 3,9314 | 394200 | 0,1713 | 3,9115 | 443475 | 0,1909 | 3,8919 | 492750 | 0,2105 | 3,8723 | 492750 | 0,2105 | 3,8723 |
| Avenida António Portugal II (N-S) | 45 | 1,695 | 295650 | 80,0398 | -78,3446 | 344925 | 108,4343 | 106,739 | 394200 | 141,055 | -139,36 | 443475 | 177,886 | 176,191 | 492750 | 218,910 | - | 492750 | 218,910 | - |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N) | 211,5 | 1,725 | 1389555 | 25579 | -25577,3 | 1621148 | 37286,66 | 37284,9 | 185274 | 51680,9 | - | 2084333 | 68926,6 | 68924,9 | 231592 | 89177,2 | - | 231592 | 89177,2 | - |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S) | 211,5 | 1,15 | 1389555 | 1,03E+15 | -1E+15 | 1621148 | 2,61E+15 | 2,6E+15 | 185274 | 5,83E+15 | - | 2084333 | 1,19E+16 | 1,2E+16 | 231592 | 2,24E+16 | - | 231592 | 2,24E+16 | - |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O) | 40,5 | 2,421 | 266085 | 0,2329 | 2,1878 | 310432,5 | 0,2886 | 2,132 | 354780 | 0,3476 | 2,073 | 399127,5 | 0,4096 | 2,011 | 443475 | 0,4744 | 1,9463 | 443475 | 0,4744 | 1,9463 |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O) | 40,5 | 4,072 | 266085 | 0,1176 | 3,9546 | 310432,5 | 0,1373 | 3,9349 | 354780 | 0,157 | 3,9151 | 399127,5 | 0,1768 | 3,8954 | 443475 | 0,1966 | 3,8756 | 443475 | 0,1966 | 3,8756 |

Quadro I. 7 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 últimos anos (cont.)

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 6 | | | ANO 7 | | | ANO 8 | | | ANO 9 | | | ANO 10 | | |
|--------------------------------------|------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|--------|---------|----------|--------|--|
| | | IQ | N80 | VIQ | VIQ | IQ | N80 | VIQ | VIQ | IQ | N80 | VIQ | VIQ | IQ | N80 | VIQ | VIQ | IQ | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O) | 40,5 | 1,694 | 266085 | 163,7951 | -162,101 | 310432,5 | 229,9948 | - | 228,301 | 354780 | 308,6146 | -306,92 | 399127,5 | 399,9949 | - | 398,301 | 504,4435 | - | |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E) | 40,5 | 2,279 | 266085 | 0,2485 | 2,0305 | 310432,5 | 0,3118 | 1,9672 | 1,8995 | 354780 | 0,3795 | 1,8995 | 399127,5 | 0,4514 | 1,8276 | 443475 | 0,5272 | 1,7518 | |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E) | 40,5 | 4,106 | 266085 | 0,1176 | 3,9889 | 310432,5 | 0,1373 | 3,9692 | 3,9495 | 354780 | 0,157 | 3,9495 | 399127,5 | 0,1768 | 3,9297 | 443475 | 0,1966 | 3,9099 | |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E) | 40,5 | 2,398 | 266085 | 0,2349 | 2,1634 | 310432,5 | 0,2917 | 2,1067 | 2,0465 | 354780 | 0,3518 | 2,0465 | 399127,5 | 0,4151 | 1,9832 | 443475 | 0,4813 | 1,9171 | |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S) | 108 | 4,078 | 709560 | 0,3155 | 3,7621 | 827820 | 0,3685 | 3,7091 | 3,6561 | 946080 | 0,4215 | 3,6561 | 1064340 | 0,4745 | 3,6031 | 1182600 | 0,5276 | 3,55 | |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 108 | 4,111 | 709560 | 0,3155 | 3,7958 | 827820 | 0,3685 | 3,7428 | 3,6898 | 946080 | 0,4215 | 3,6898 | 1064340 | 0,4745 | 3,6368 | 1182600 | 0,5276 | 3,5837 | |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N) | 108 | 3,888 | 709560 | 0,3941 | 3,4942 | 827820 | 0,4603 | 3,428 | 3,3618 | 946080 | 0,5265 | 3,3618 | 1064340 | 0,5928 | 3,2955 | 1182600 | 0,6591 | 3,2292 | |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 108 | 4,169 | 709560 | 0,3155 | 3,8531 | 827820 | 0,3685 | 3,8001 | 3,7471 | 946080 | 0,4215 | 3,7471 | 1064340 | 0,4745 | 3,6941 | 1182600 | 0,5276 | 3,641 | |
| Circular Externa de Coimbra | 85,5 | 4,136 | 561735 | 0,3089 | 3,8273 | 655357,5 | 0,3764 | 3,7598 | 3,6895 | 748980 | 0,4467 | 3,6895 | 842602,5 | 0,5195 | 3,6167 | 936225 | 0,5947 | 3,5415 | |
| Circular Externa de Coimbra II | 76 | 3,482 | 499320 | 1,3028 | 2,1795 | 582540 | 1,619 | 1,8633 | 1,5281 | 665760 | 1,9543 | 1,5281 | 748980 | 2,3072 | 1,1751 | 832200 | 2,6766 | 0,8058 | |
| Rua Padrão (S-N) | 297 | 2,391 | 1951290 | 0,8333 | 1,5576 | 2276505 | 0,9394 | 1,4515 | 1,3488 | 2601720 | 1,0421 | 1,3488 | 2926935 | 1,1419 | 1,2489 | 3252150 | 1,2394 | 1,1515 | |
| Rua Padrão (N-S) | 297 | 2,39 | 1951290 | 0,8336 | 1,5567 | 2276505 | 0,9397 | 1,4506 | 1,3478 | 2601720 | 1,0424 | 1,3478 | 2926935 | 1,1424 | 1,2479 | 3252150 | 1,2398 | 1,1504 | |
| N111-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Quadro I. 7 Resultado da aplicação da Fórmula da AASHTO – Previsão para os 5 últimos anos (cont.)

| Segmento | TMD | ANO 0 | | | ANO 6 | | | ANO 7 | | | ANO 8 | | | ANO 9 | | | ANO 10 | | |
|------------------------------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--|--|
| | | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | N80 | VIQ | IQ | | |
| Avenida Cidade Aeminium III | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avenida Cidade Aeminium V | 256 | 2,295 | 1681920 | 1,1716 | 1,1233 | 1962240 | 1,3658 | 0,9291 | 2242560 | 1,5599 | 0,735 | 2522880 | 1,7538 | 0,5411 | 2803200 | 1,9476 | 0,3472 | | |
| Avenida Emídio Navarro I | 164 | 2,638 | 1077480 | 1,4113 | 1,2264 | 1257060 | 1,731 | 0,9067 | 1436640 | 2,0658 | 0,5719 | 1616220 | 2,4145 | 0,2232 | 1795800 | 2,7761 | -0,1383 | | |
| Avenida Lousã I | 184,5 | 3,945 | 1212165 | 0,7654 | 3,1796 | 1414193 | 0,9043 | 3,0407 | 1616220 | 1,0448 | 2,9002 | 1818248 | 1,1868 | 2,7582 | 2020275 | 1,33 | 2,6149 | | |
| Avenida Lousã II | 184,5 | 2,371 | 1212165 | 2,7289 | -0,3577 | 1414193 | 3,4604 | -1,0892 | 1616220 | 4,2507 | -1,8795 | 1818248 | 5,0963 | -2,7251 | 2020275 | 5,9944 | -3,6232 | | |
| Avenida Cónego Urbano Duarte | 102,6 | 2,407 | 674082 | 1,0632 | 1,3441 | 786429 | 1,3438 | 1,0635 | 898776 | 1,6461 | 0,7612 | 1011123 | 1,9687 | 0,4386 | 1123470 | 2,3105 | 0,0968 | | |

I.5 Aplicação de Cadeias de Markov

Quadro I. 8 Formulação do vetor inicial para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| L= | 2229 |
|-----|--------|
| 5-4 | 0 |
| 4-3 | 0,2243 |
| 3-2 | 0,3271 |
| 2-1 | 0,2243 |
| 1-0 | 0,2243 |

Quadro I. 9 Vetor inicial para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vetor inicial = | 0,000 | 0,224 | 0,327 | 0,224 | 0,224 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|

Quadro I. 10 Formulação da matriz de decisão para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| De/Para | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---------|------|------|------|------|------|
| 5 | 0,96 | 0,04 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0,9 | 0,1 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0,86 | 0,14 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0,66 | 0,34 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Quadro I. 11 Formulação do quadro para uma previsão do IQ para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | Tempo | Etapa | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 2014 | 0 | 0 | 0,00 | 0,22 | 0,33 | 0,22 | 0,22 |
| 2015 | 1 | 1 | 0,00 | 0,20 | 0,30 | 0,19 | 0,30 |
| 2016 | 2 | 2 | 0,00 | 0,18 | 0,28 | 0,17 | 0,37 |
| 2017 | 3 | 3 | 0,00 | 0,16 | 0,26 | 0,15 | 0,42 |
| 2018 | 4 | 4 | 0,00 | 0,15 | 0,24 | 0,14 | 0,48 |
| 2019 | 5 | 5 | 0,00 | 0,13 | 0,22 | 0,12 | 0,52 |
| 2020 | 6 | 6 | 0,00 | 0,12 | 0,20 | 0,11 | 0,56 |
| 2021 | 7 | 7 | 0,00 | 0,11 | 0,19 | 0,10 | 0,60 |
| 2022 | 8 | 8 | 0,00 | 0,10 | 0,17 | 0,09 | 0,64 |
| 2023 | 9 | 9 | 0,00 | 0,09 | 0,16 | 0,09 | 0,67 |
| 2024 | 10 | 10 | 0,00 | 0,08 | 0,14 | 0,08 | 0,70 |

Quadro I. 12 Formulação do vetor inicial, elevando para o nível 5-4, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| L= | 2229 |
|-----|------|
| 5-4 | 1 |
| 4-3 | 0 |
| 3-2 | 0 |
| 2-1 | 0 |
| 1-0 | 0 |

Quadro I. 13 Vetor inicial, elevando para o nível 5-4, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Vetor inicial= | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|----------------|---|---|---|---|---|

Quadro I. 14 Formulação do quadro para uma previsão do IQ, elevando para o nível 5-4, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | Tempo | Etapa | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 2014 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2015 | 1 | 1 | 0,96 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2016 | 2 | 2 | 0,92 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2017 | 3 | 3 | 0,88 | 0,10 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2018 | 4 | 4 | 0,85 | 0,13 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| 2019 | 5 | 5 | 0,82 | 0,15 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 2020 | 6 | 6 | 0,78 | 0,17 | 0,04 | 0,01 | 0,00 |
| 2021 | 7 | 7 | 0,75 | 0,18 | 0,05 | 0,01 | 0,00 |
| 2022 | 8 | 8 | 0,72 | 0,19 | 0,06 | 0,01 | 0,01 |
| 2023 | 9 | 9 | 0,69 | 0,20 | 0,07 | 0,02 | 0,01 |
| 2024 | 10 | 10 | 0,66 | 0,21 | 0,08 | 0,02 | 0,02 |

Quadro I. 15 Formulação do vetor inicial, elevando para o nível 4-3, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| L= | 2229 |
|-----|------|
| 5-4 | 0 |
| 4-3 | 1 |
| 3-2 | 0 |
| 2-1 | 0 |
| 1-0 | 0 |

Quadro I. 16 Vetor inicial, elevando para o nível 4-3, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Vetor inicial= | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|----------------|---|---|---|---|---|

Quadro I. 17 Formulação do quadro para uma previsão do IQ, elevando para o nível 4-3, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | Tempo | Etapa | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 2014 | 0 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2015 | 1 | 1 | 0,00 | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 2016 | 2 | 2 | 0,00 | 0,81 | 0,18 | 0,01 | 0,00 |
| 2017 | 3 | 3 | 0,00 | 0,73 | 0,23 | 0,03 | 0,00 |
| 2018 | 4 | 4 | 0,00 | 0,66 | 0,27 | 0,05 | 0,02 |
| 2019 | 5 | 5 | 0,00 | 0,59 | 0,30 | 0,07 | 0,03 |
| 2020 | 6 | 6 | 0,00 | 0,53 | 0,32 | 0,09 | 0,06 |
| 2021 | 7 | 7 | 0,00 | 0,48 | 0,33 | 0,10 | 0,09 |
| 2022 | 8 | 8 | 0,00 | 0,43 | 0,33 | 0,11 | 0,13 |
| 2023 | 9 | 9 | 0,00 | 0,39 | 0,33 | 0,12 | 0,17 |
| 2024 | 10 | 10 | 0,00 | 0,35 | 0,32 | 0,13 | 0,21 |

Quadro I. 18 Formulação do vetor inicial, elevando para o nível 3-2, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| L= | 2229 |
|-----|------|
| 5-4 | 0 |
| 4-3 | 0 |
| 3-2 | 1 |
| 2-1 | 0 |
| 1-0 | 0 |

Quadro I. 19 Vetor inicial, elevando para o nível 3-2, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Vetor inicial= | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|----------------|---|---|---|---|---|

Quadro I. 20 Formulação do quadro para uma previsão do IQ, elevando para o nível 3-2, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | Tempo | Etapa | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 2014 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2015 | 1 | 1 | 0,00 | 0,00 | 0,86 | 0,14 | 0,00 |
| 2016 | 2 | 2 | 0,00 | 0,00 | 0,74 | 0,21 | 0,05 |
| 2017 | 3 | 3 | 0,00 | 0,00 | 0,64 | 0,24 | 0,12 |
| 2018 | 4 | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 0,25 | 0,20 |
| 2019 | 5 | 5 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 0,24 | 0,29 |
| 2020 | 6 | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,23 | 0,37 |
| 2021 | 7 | 7 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,21 | 0,45 |
| 2022 | 8 | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,18 | 0,52 |
| 2023 | 9 | 9 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,16 | 0,58 |
| 2024 | 10 | 10 | 0,00 | 0,00 | 0,22 | 0,14 | 0,63 |

I.6 Resultados da Aplicação de Cadeiras de Markov

Quadro I. 21 Previsão do IQ (WAC) para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tempo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Etapa | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4-3 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 3-2 | 0,33 | 0,30 | 0,28 | 0,26 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,14 |
| 2-1 | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| 1-0 | 0,22 | 0,30 | 0,37 | 0,42 | 0,48 | 0,52 | 0,56 | 0,60 | 0,64 | 0,67 | 0,70 |
| WAC | 2,05 | 1,91 | 1,78 | 1,66 | 1,56 | 1,46 | 1,38 | 1,30 | 1,23 | 1,16 | 1,10 |
| L.Sup | 2,55 | 2,41 | 2,28 | 2,16 | 2,06 | 1,96 | 1,88 | 1,80 | 1,73 | 1,66 | 1,60 |
| L.Inf | 1,55 | 1,41 | 1,28 | 1,16 | 1,06 | 0,96 | 0,88 | 0,80 | 0,73 | 0,66 | 0,60 |

Quadro I. 22 Previsão do IQ (WAC), elevando para o nível 5-4, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tempo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Etapa | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-4 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,78 | 0,75 | 0,72 | 0,69 | 0,66 |
| 4-3 | 0,00 | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 |
| 3-2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| 2-1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| 1-0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| WAC | 4,50 | 4,46 | 4,42 | 4,37 | 4,33 | 4,27 | 4,22 | 4,17 | 4,11 | 4,04 | 3,98 |
| L.Sup | 5,00 | 4,96 | 4,92 | 4,87 | 4,83 | 4,77 | 4,72 | 4,67 | 4,61 | 4,54 | 4,48 |
| L.Inf | 4,00 | 3,96 | 3,92 | 3,87 | 3,83 | 3,77 | 3,72 | 3,67 | 3,61 | 3,54 | 3,48 |

Quadro I. 23 Previsão do IQ (WAC), elevando para o nível 4-3, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tempo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Etapa | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4-3 | 1,00 | 0,90 | 0,81 | 0,73 | 0,66 | 0,59 | 0,53 | 0,48 | 0,43 | 0,39 | 0,35 |
| 3-2 | 0,00 | 0,10 | 0,18 | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,32 |
| 2-1 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,13 |
| 1-0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,17 | 0,21 |
| WAC | 3,50 | 3,40 | 3,30 | 3,19 | 3,07 | 2,95 | 2,82 | 2,69 | 2,56 | 2,43 | 2,31 |
| L.Sup | 4,00 | 3,90 | 3,80 | 3,69 | 3,57 | 3,45 | 3,32 | 3,19 | 3,06 | 2,93 | 2,81 |
| L.Inf | 3,00 | 2,90 | 2,80 | 2,69 | 2,57 | 2,45 | 2,32 | 2,19 | 2,06 | 1,93 | 1,81 |

Quadro I. 24 Previsão do IQ (WAC), elevando para o nível 3-2, para a N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tempo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Etapa | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4-3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3-2 | 1,00 | 0,86 | 0,74 | 0,64 | 0,55 | 0,47 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,26 | 0,22 |
| 2-1 | 0,00 | 0,14 | 0,21 | 0,24 | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,14 |
| 1-0 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,12 | 0,20 | 0,29 | 0,37 | 0,45 | 0,52 | 0,58 | 0,63 |
| WAC | 2,50 | 2,36 | 2,19 | 2,02 | 1,84 | 1,68 | 1,53 | 1,40 | 1,28 | 1,18 | 1,09 |
| L.Sup | 3,00 | 2,86 | 2,69 | 2,52 | 2,34 | 2,18 | 2,03 | 1,90 | 1,78 | 1,68 | 1,59 |
| L.Inf | 2,00 | 1,86 | 1,69 | 1,52 | 1,34 | 1,18 | 1,03 | 0,90 | 0,78 | 0,68 | 0,59 |

APÊNDICE II. Previsão do Estado dos Pavimentos

II.1 Resultados Gráficos da Aplicação da AASHTO

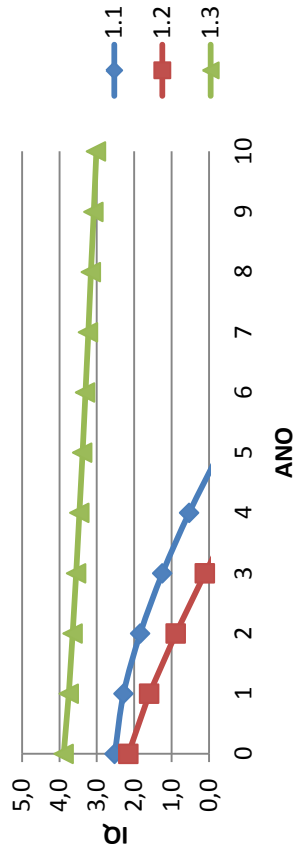


Figura II. 1 IQ Rua do Brasil sem intervenções

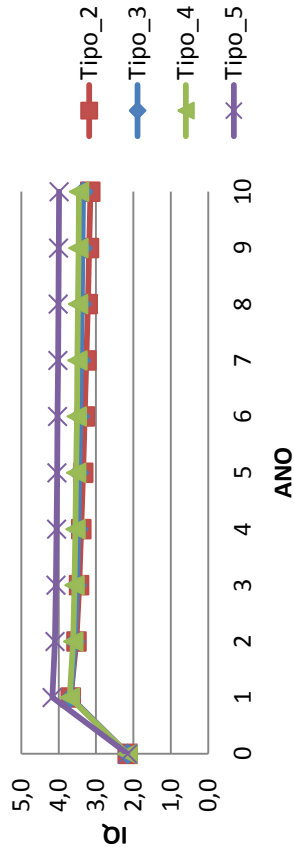


Figura II. 3 IQ Rua do Brasil_2 (1.2) após intervenções

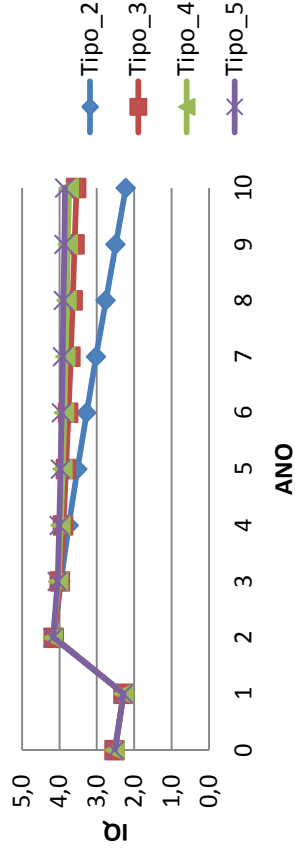


Figura II. 2 IQ Rua do Brasil I (1.1) após intervenções

O trecho 3 (1.3) da Rua do Brasil, como se pode verificar, ao fim dos 10 anos de previsão apresenta ainda um Índice de Qualidade perto do valor de 3, portanto não necessita de qualquer tipo de intervenção.

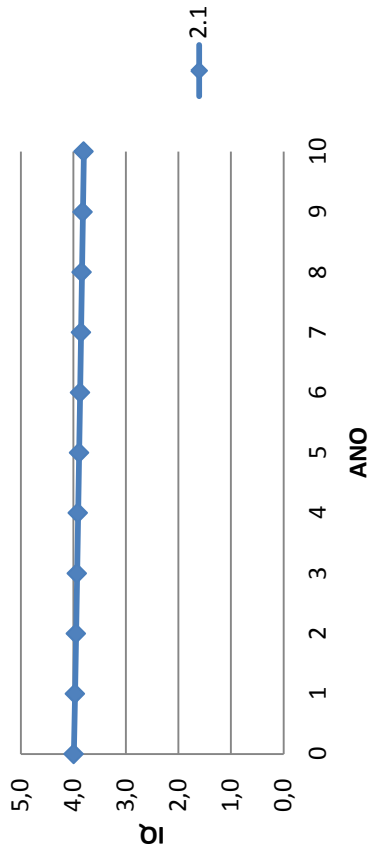


Figura II. 4 IQ Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira sem intervenções

A Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira como se pode verificar, ao fim dos 10 anos de previsão apresenta ainda um Índice de Qualidade perto do valor de 4, portanto não necessita de qualquer tipo de intervenção.

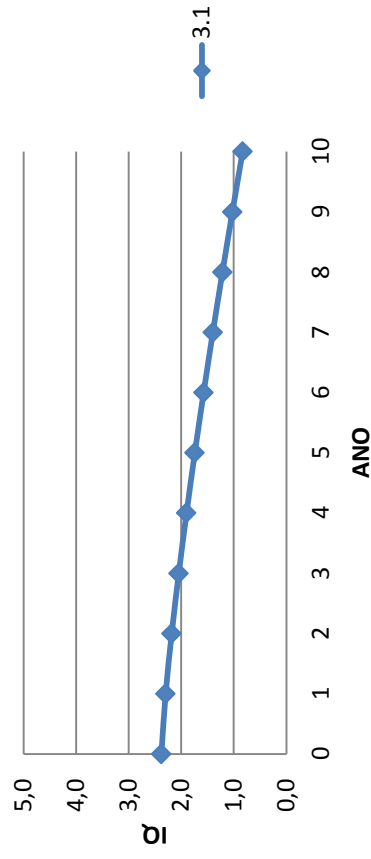


Figura II. 5 IQ Rua João de Deus Ramos sem intervenções

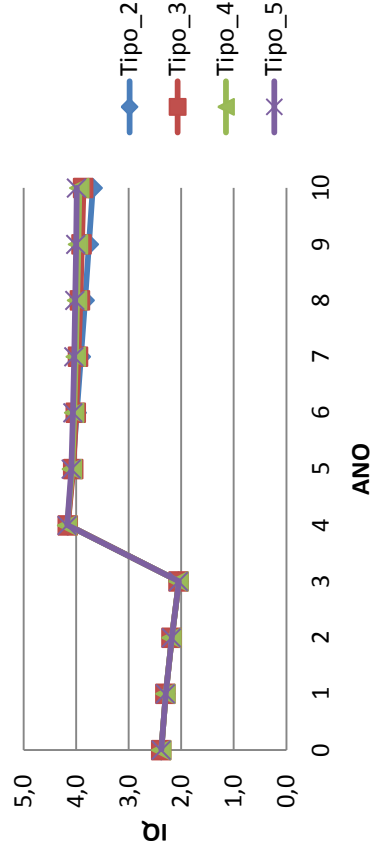


Figura II. 6 IQ Rua João de Deus Ramos (3.1) após intervenções

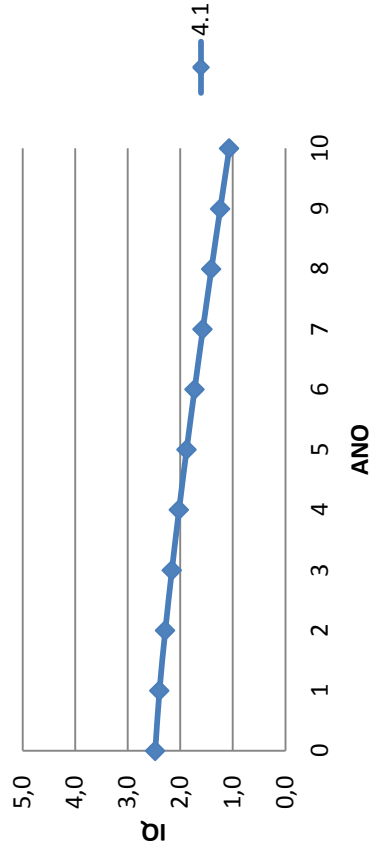


Figura II. 7 IQ Rua Carolina Michaelllis sem intervenções

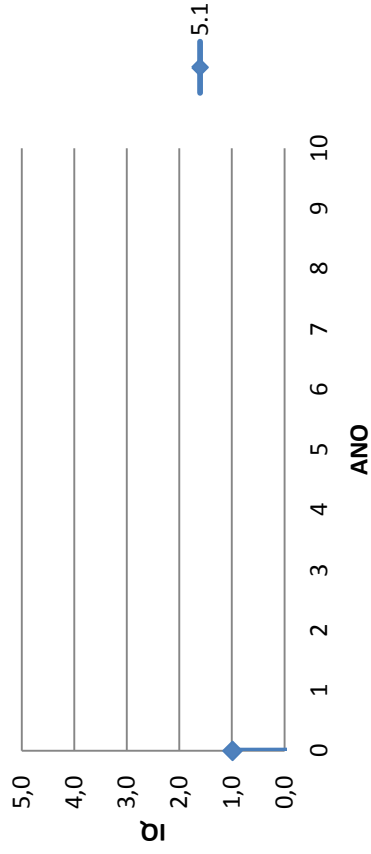


Figura II. 9 IQ Rua Sacadura Cabral sem intervenções

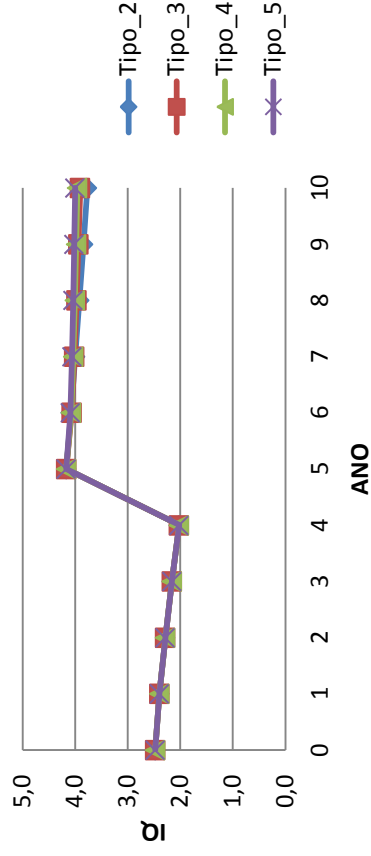


Figura II. 8 IQ Rua Carolina Michaelllis (4.1) após intervenções

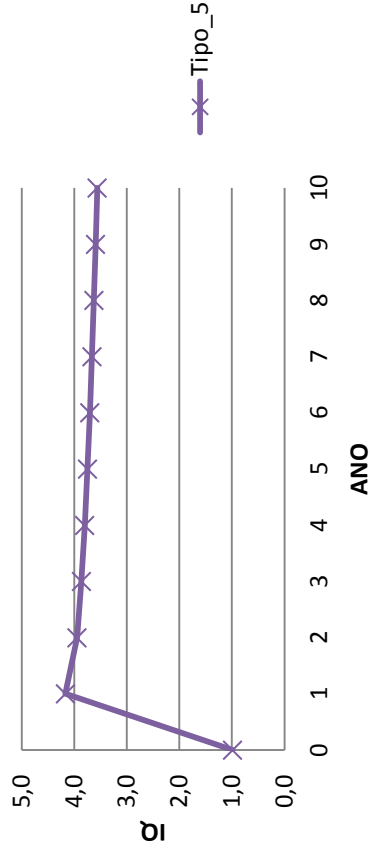


Figura II. 10 IQ Rua Sacadura Cabral (5.1) após intervenções

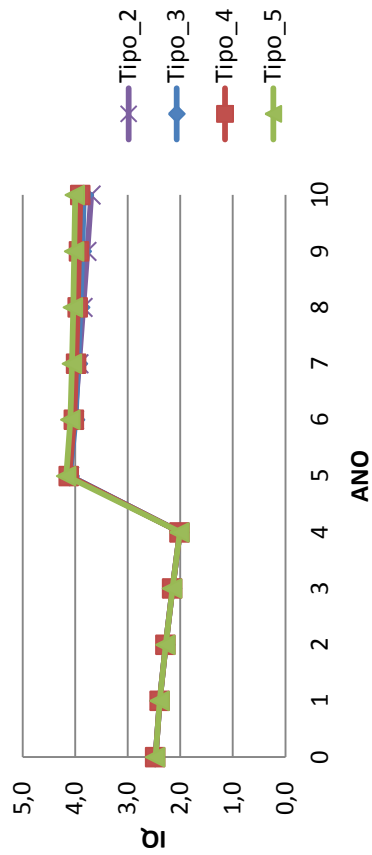


Figura II. 12 IQ Ave. António Portugal I (S-N) (6.1.1) após intervenções

Como é possível verificar na Figura II. 11, o trecho 6.1.2 e 6.2.1 correspondente ao trecho 2, sentido S-N e ao trecho 1, sentido N-S da Ave. António Portugal, não necessita de qualquer tipo de intervenções, por apresentar valores perto de 2 e 4, respetivamente no final dos 10 anos de previsão.

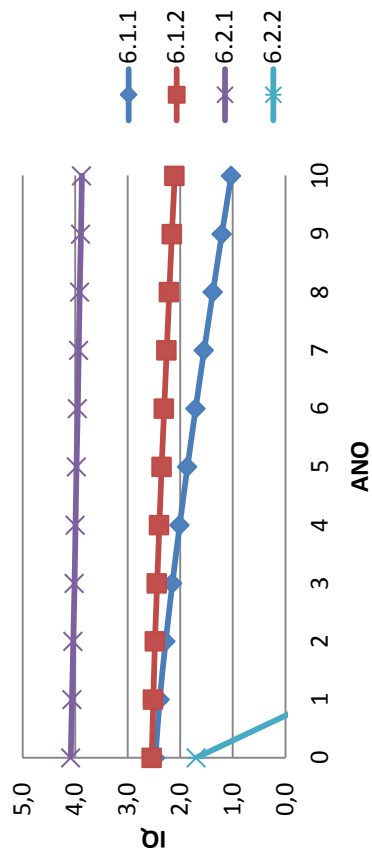


Figura II. 11 IQ Ave. António Portugal sem intervenções

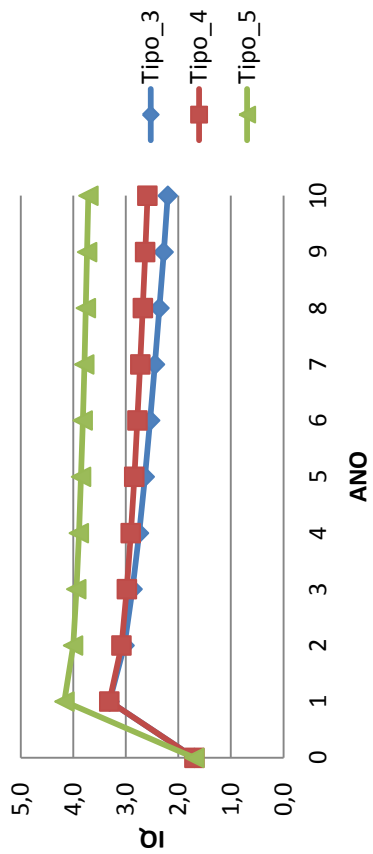


Figura II. 13 IQ Ave. António Portugal II (N-S) (6.2.2) após intervenções

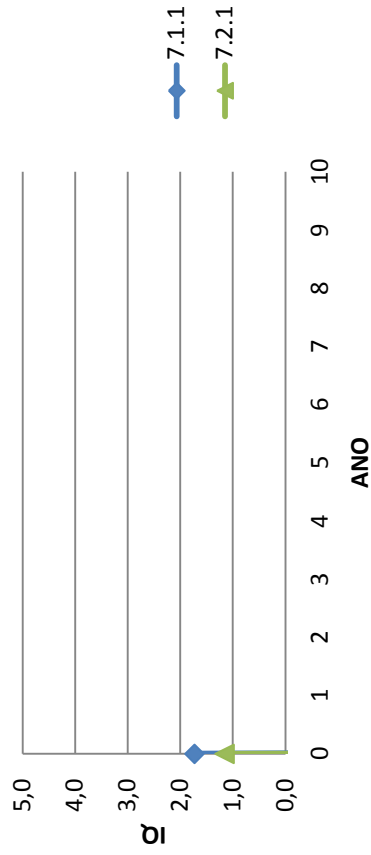


Figura II. 14 IQ Rua Afrânio Peixoto sem intervenções

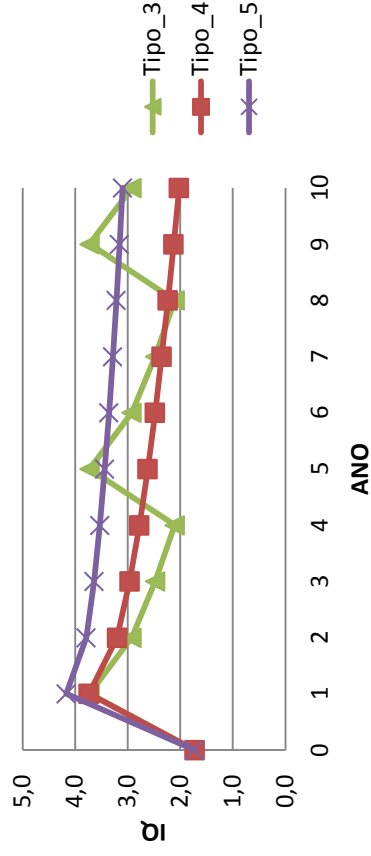


Figura II. 15 IQ Rua Afrânio Peixoto (SN) (7.1.1) após intervenções

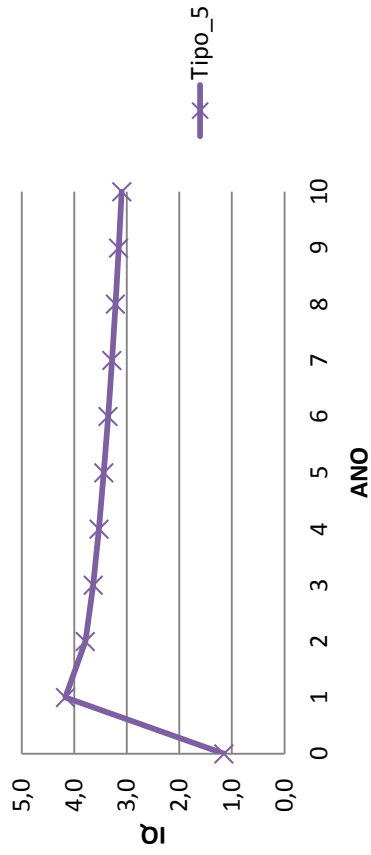


Figura II. 16 IQ Rua Afrânio Peixoto (NS) (7.2.1) após intervenções

No gráfico da Figura II. 14 não se consegue visualizar quase nada devido ao pavimento já se encontrar em muito mau estado de conservação e a previsão dos valores nos anos seguintes é negativa

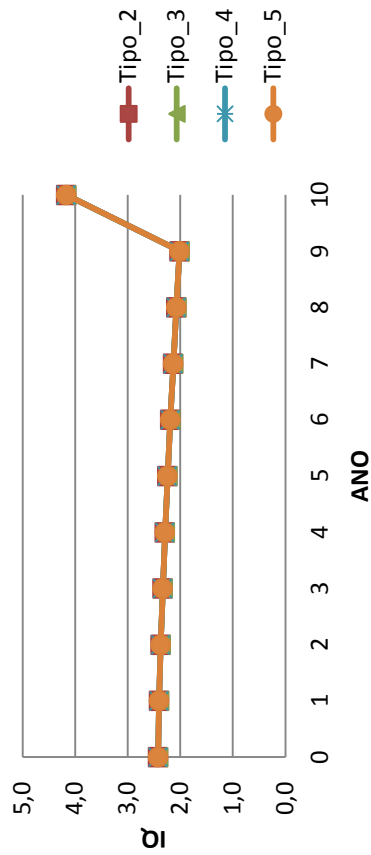


Figura II. 18 IQ Rua Dr. Afonso Romão 1 (E-O) (8.1.1) após intervenções

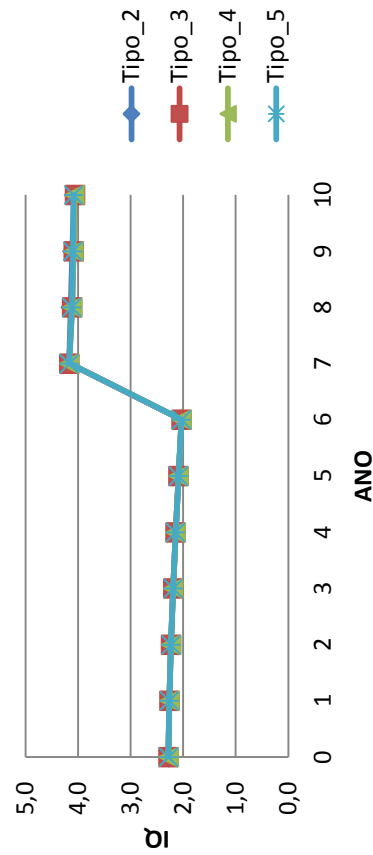


Figura II. 20 IQ Rua Dr. Afonso Romão 1 (O-E) (8.2.1) após intervenções

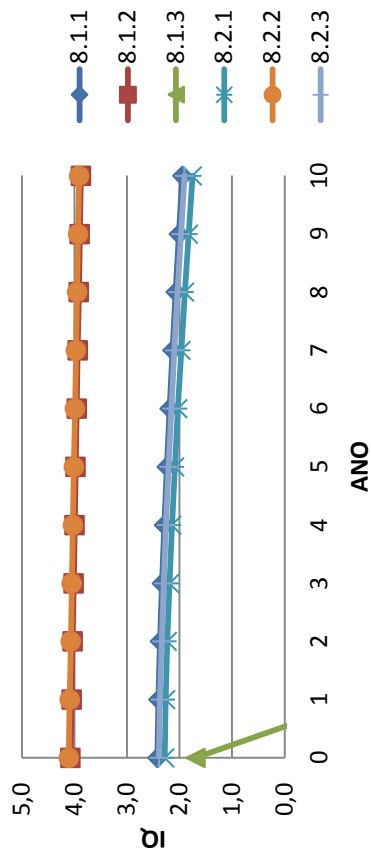


Figura II. 17 IQ Rua Dr. Afonso Romão 3 (E-O) sem intervenções

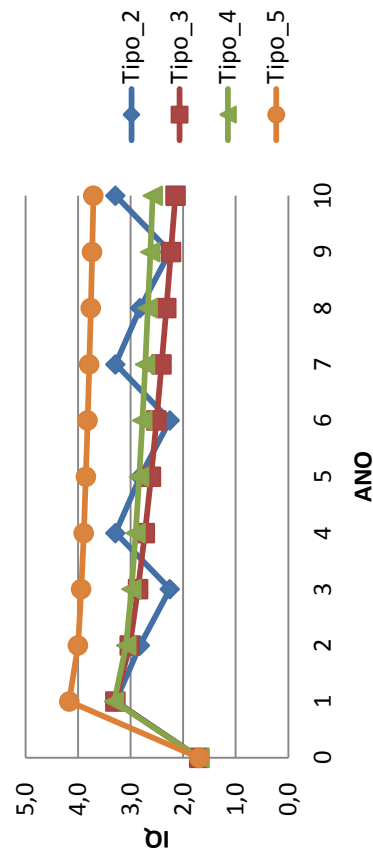


Figura II. 19 IQ Rua Dr. Afonso Romão 3 (E-O) (8.1.3) após intervenções

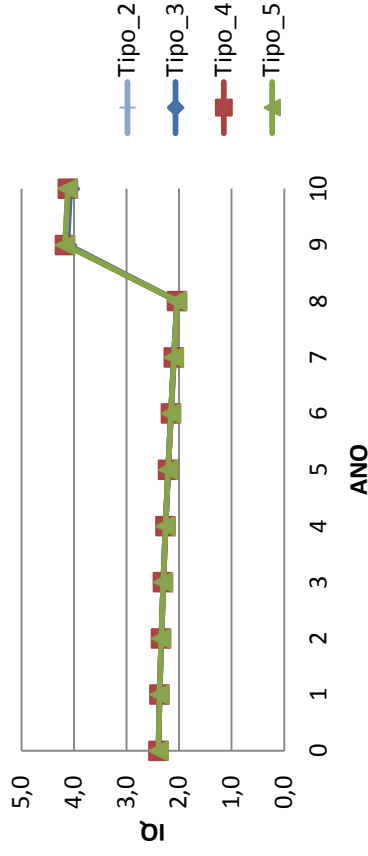


Figura II. 21 IQ Rua Dr. Afonso Romão_3 (O-E) (8.2.3) após intervenções

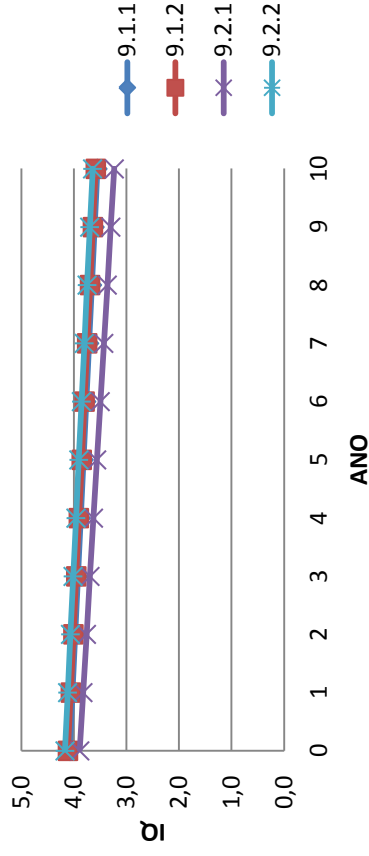


Figura II. 22 IQ Circular Interna sem intervenções

Relativamente ao trechos_2 do sentido E-O e O-E, como se pode verificar na Figura II. 17, não será necessário a realização de qualquer tipo de intervenção, por apresentarem valores perto de 4 no final dos 10 anos de previsão.

A Circular Interna, como se pode verificar, ao fim dos 10 anos de previsão apresenta ainda um Índice de Qualidade entre 3 e 4 para todos os trechos, portanto não necessita de qualquer tipo de intervenção.

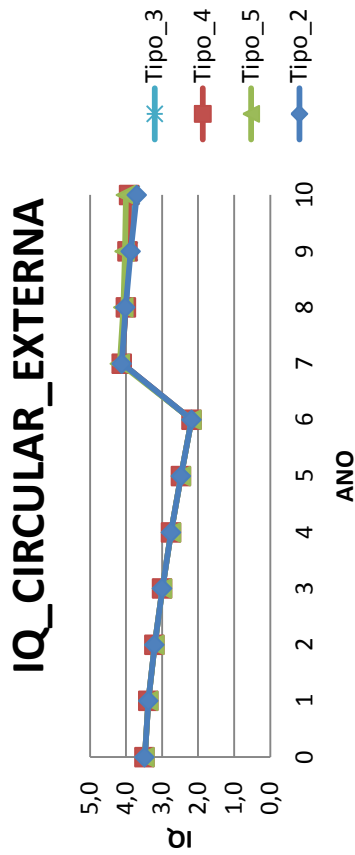


Figura II. 24 IQ Circular Externa 2 (10.2) após intervenções

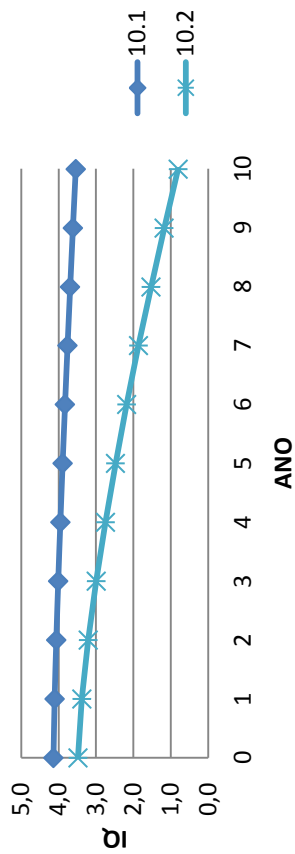


Figura II. 23 IQ Circular Externa sem intervenções

O trecho 1 (10.1) da Circular Externa não necessita de intervenções por apresentar valores acima de 3 no final dos dez anos de previsão, como se pode verificar na Figura II. 23.

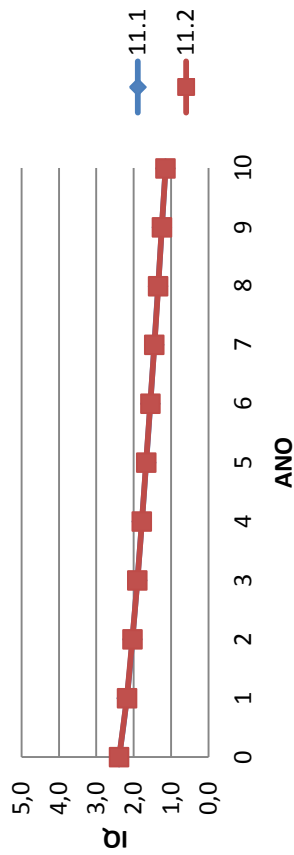


Figura II. 25 IQ Rua Padrão sem intervenções

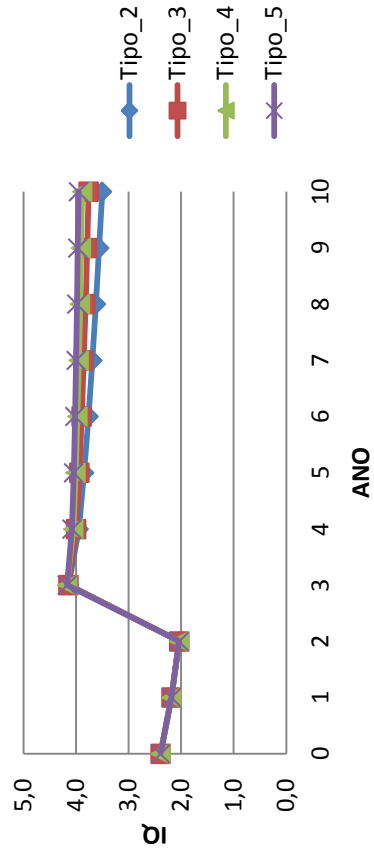


Figura II. 26 IQ Rua Padrão 1 (11.1) após intervenções

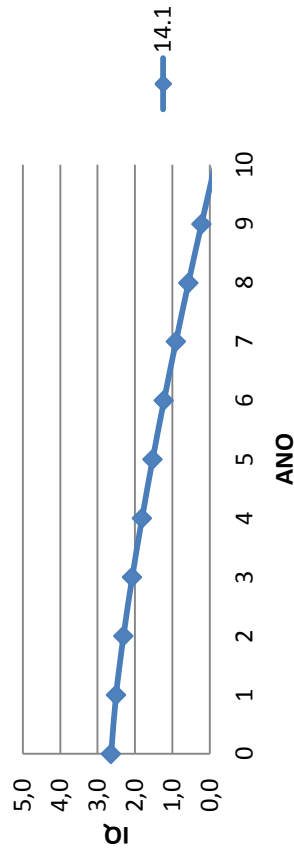


Figura II. 28 IQ Ave. Emídio Navarro sem intervenções

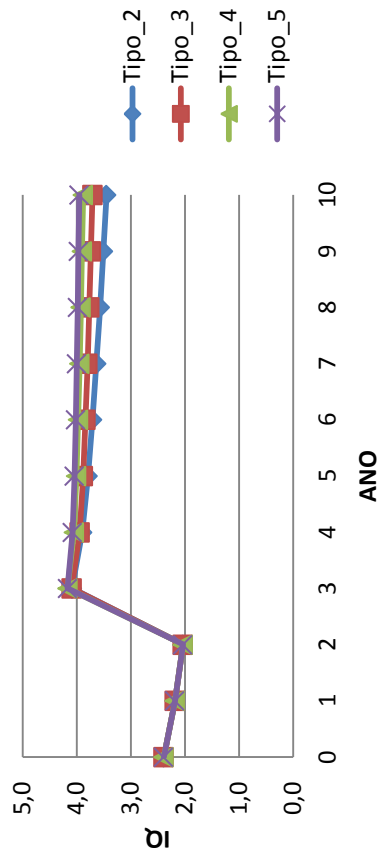


Figura II. 27 IQ Rua Padrão 2 (11.2) após intervenções

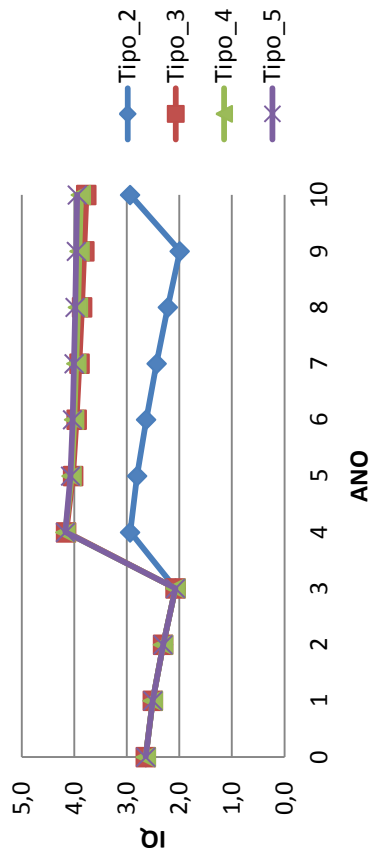


Figura II. 29 IQ Ave. Emídio Navarro (14.1) após intervenções

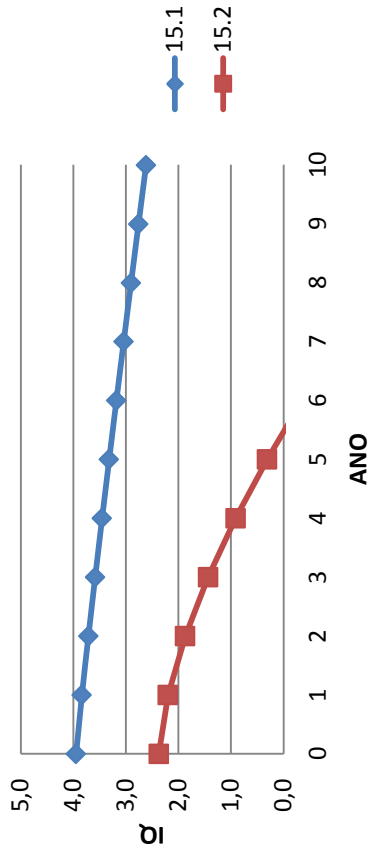


Figura II. 30 IQ Ave. Da Lousã sem intervenções

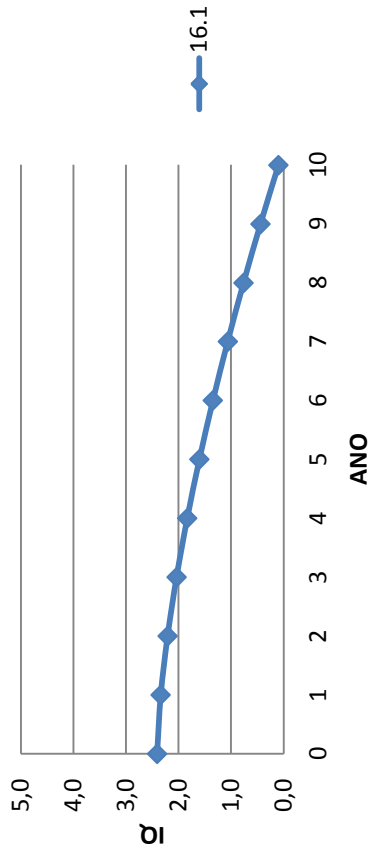


Figura II. 32 IQ Ave. Cónego Urbano Duarte sem intervenções

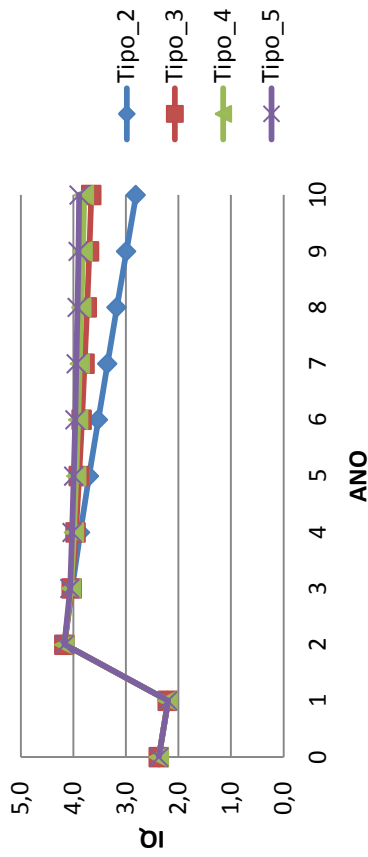


Figura II. 31 IQ Ave. Da Lousã_2 (15.2) após intervenções

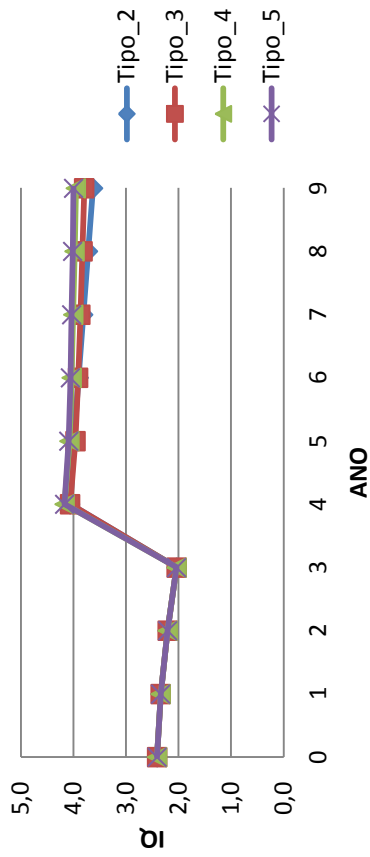


Figura II. 33 IQ Ave. Cónego Urbano Duarte (16.1) após intervenções

II.2 Resultados Gráficos da Aplicação de Cadeias de Markov

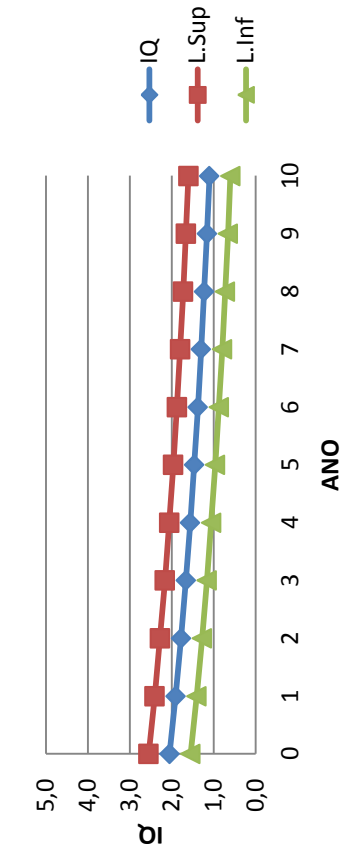


Figura II. 34 IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium sem intervenções

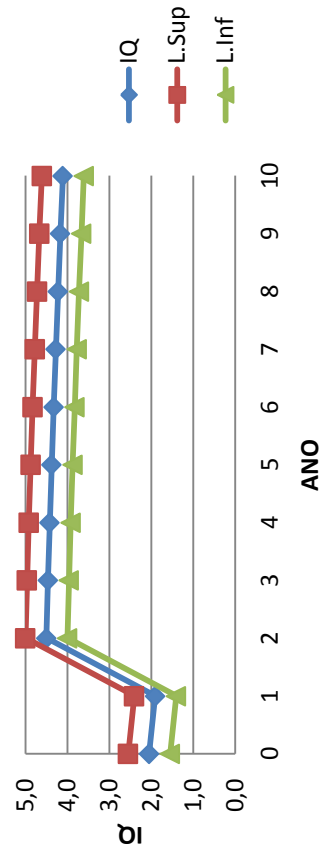


Figura II. 36 IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 5-4

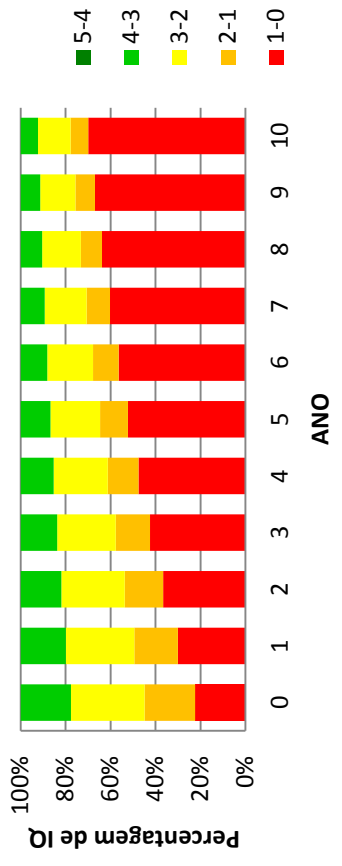


Figura II. 35 Percentagens de IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium sem intervenções

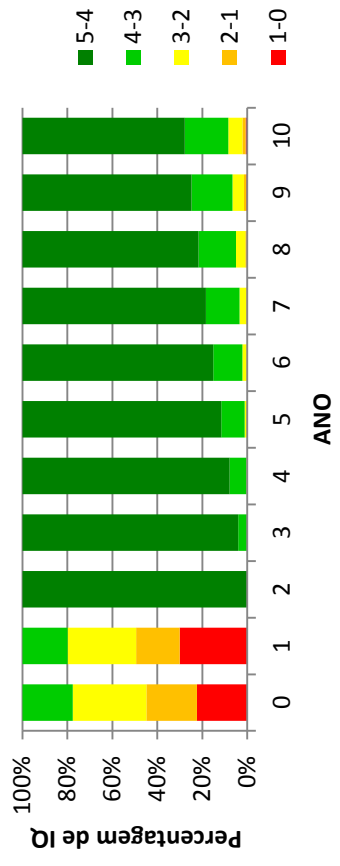


Figura II. 37 Percentagens de IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 5-4

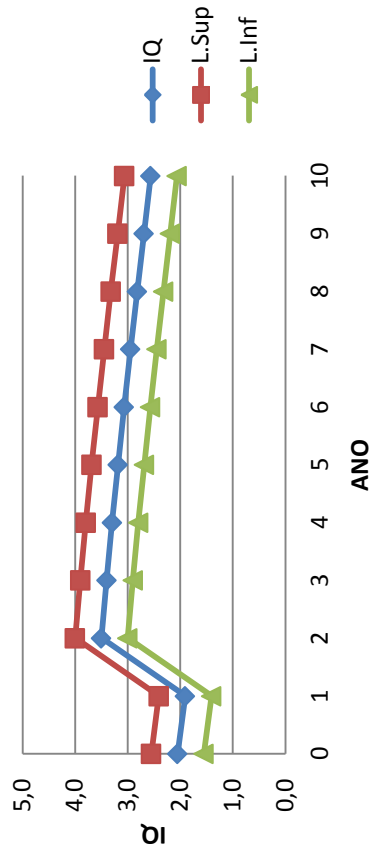


Figura II. 38 IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 4-3

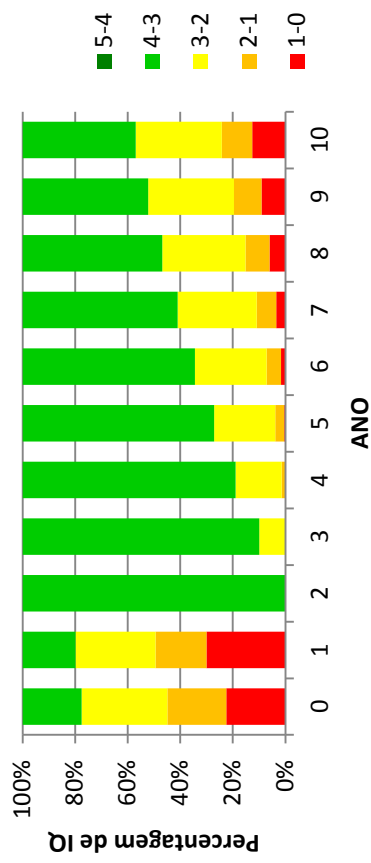


Figura II. 39 Percentagens de IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 4-3

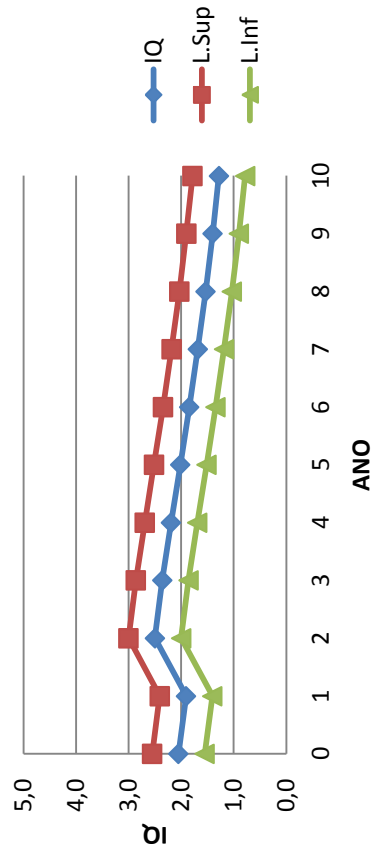


Figura II. 40 IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 3-2

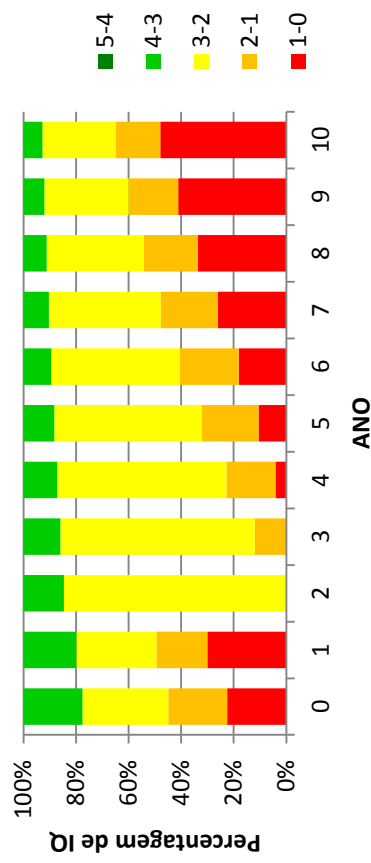


Figura II. 41 Percentagens de IQ para N111-1 / Ave. Cidade Aeminium após intervenções para elevar o IQ para o intervalo 3-2