



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

Metodologia de Avaliação do Custo de Ciclo de Vida de Pavimentos Rodoviários

Josefina Morais

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof.^a Doutora Bertha Santos

Covilhã, Outubro de 2014

Dedicatória

“Aqueles que passam por nós, não vão sós.

Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry

Aos meus pais, António e Lurdes, ao meu irmão, Fernando,
e a todos aqueles que um dia acreditaram...

Agradecimentos

A concretização deste trabalho só foi possível com a colaboração, direta ou indireta, de algumas pessoas e entidades às quais expresso a minha mais sincera gratidão.

Em primeiro lugar deixo um profundo agradecimento e reconhecimento à Professora Doutora Bertha Santos, orientadora científica, por todo o apoio e permanente incentivo, pela constante disponibilidade e cuidada orientação, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.

À Universidade da Beira Interior, pelo nível académico de excelência que permitiu à minha formação e valorização profissional e a sua complementação através da realização deste trabalho.

À empresa *Scutvias - Auto-estradas da Beira Interior, S.A.*, em particular ao Engenheiro José Simões, pelo valioso contributo com a disponibilização de informação relativa ao tema em estudo.

À *E.P. - Estradas de Portugal, S.A.*, em particular ao Engenheiro João Morgado, pela disponibilidade e pelo valioso contributo com informação relativa ao tema em estudo.

Aos meus amigos e colegas, em especial à Natacha, por todo o apoio, amizade e companheirismo que sempre me ofereceram.

Aos meus pais e irmão, um obrigado por permitirem que todo este empreendimento na viagem pelo conhecimento e valorização profissional fosse possível.

Resumo

O presente trabalho aborda a análise de custo de ciclo de vida aplicada a pavimentos rodoviários. Esta análise permite estudar e sustentar a escolha entre soluções alternativas de construção e manutenção com base nos custos envolvidos ao longo da vida do pavimento. Os custos considerados são os suportados pelas agências e administrações que constroem e mantêm a infraestrutura, assim como, para análises mais rigorosas, os custos suportados pelos utentes da estrada.

A metodologia descrita e posteriormente aplicada num caso de estudo é a recomendada pelo FHWA - Federal Highway Administration, do U.S. Department of Transportation. Esta metodologia compreende cinco etapas principais: a conceção das alternativas de projeto concorrentes; a determinação dos momentos de intervenção para cada uma das alternativas; a estimativa dos custos envolvidos - custos da administração e custos dos utentes - onde se determinam quais destes custos serão relevantes para a análise; o cálculo dos custos considerados no passo anterior; e por fim, a análise dos resultados obtidos com vista a adotar a melhor solução tanto do ponto de vista da administração, como dos utentes.

A metodologia descrita foi aplicada, com recurso ao programa informático RealCost v2.5, a uma extensão de 61km da autoestrada A23, tendo-se simulado diferentes cenários de manutenção e a sua influência nos custos envolvidos. Os resultados obtidos apontam para uma solução que minimiza em simultâneo os custos dos utentes e da administração, indicando que a vantagem reside, para um mesmo tratamento, no facto de se considerarem vários momentos de intervenção ao longo do período de análise.

Palavras-chave

Pavimentos rodoviários; Custos de Ciclo de vida; Conservação; Custos dos utentes da estrada; Custos da administração; Análise.

Abstract

The present study approaches the life-cycle cost analysis in pavement design. This analysis allows studying and sustaining the choice between alternatives of construction and maintenance based on the costs involved throughout the life of the pavement. The considered costs are supported by the agencies and administrations that build and maintain the infrastructure, as well as, for a more rigorous analysis, the costs borne by road users.

The methodology described, and subsequently applied in a case study, is recommended by FHWA - Federal Highway Administration, the United States Department of Transportation. This methodology consists of five main steps: to establish design alternatives, in which are defined the competing alternatives; the determination of the activity timing for each of the competing alternatives; to estimate the involved costs - administration costs and user costs - where its determined which of these costs will be relevant to the analysis; to compute life-cycle costs considered in the previous; and finally, the analysis of the results obtained in order to adopt the best solution both for users and for administration.

The described methodology has been applied, using the computer program RealCost v2.5, to a 61km length of the A23 highway, having simulated different maintenance scenarios and its influence on the involved costs. The results point to a solution that simultaneously minimizes the administration and user costs, indicating that the advantage lies, for the same treatment, in the fact of considering various interventions over the period of analysis.

Keywords

Road pavements; Life cycle costs; Conservation; User Costs; Administration costs; Analysis.

Índice

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Estrutura do documento.....	3
2.1. Introdução	5
2.2. Tipos de pavimentos e as suas características.....	6
2.2.1. Pavimentos Flexíveis.....	8
2.2.2. Pavimentos rígidos	10
2.2.3. Pavimentos semirrígidos	12
2.3. Conservação e reabilitação de pavimentos	13
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIAS DE ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA DE PAVIMENTOS	17
3.1. Introdução	17
3.2. Metodologia de análise	22
3.2.1. Enquadramento	22
3.2.2. Passo 1: Conceção das alternativas de projeto	24
3.2.3. Passo 2: Determinação dos momentos de intervenção	25
3.2.4. Passo 3 - Estimativa dos custos envolvidos	27
3.2.4.1. Custos suportados pela administração rodoviária	27
3.2.4.2. Custos suportados pelos utentes	28
3.2.5. Passo 4: Cálculo dos custos do ciclo de vida	30
3.2.5.1. Métodos de avaliação económica	30
3.2.5.1.1. <i>Método do valor atual</i>	31
3.2.5.1.2. <i>Método do custo anual uniforme equivalente</i>	35
3.2.5.2. Abordagem determinística e probabilística	35
3.2.5.3. Diagramas de fluxo de despesas.....	36
3.2.6. Passo 5: Análise de resultados	37

CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO.....	39
4.1. Introdução	39
4.2. Caracterização do caso de estudo.....	40
4.3. Aplicação do programa “REALCOST”	41
4.3.1. Detalhes do projeto.....	42
4.3.2. Opções da análise	43
4.3.3. Dados do tráfego	44
4.3.4. Custos dos utentes - valor do tempo.....	51
4.3.5. Distribuição horária do tráfego	53
4.3.6. Custos relativos a atrasos e paragens dos veículos.....	54
4.3.7. Definição das alternativas de projeto	55
4.3.8. Outputs/Resultados obtidos	72
4.4. Análise de resultados e recomendações.....	77
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXOS	93
Anexo 1 - Dados de tráfego para aplicação do caso de estudo.....	95
A1.1 - TMDA para a extensão total da A23, sentido Norte-Sul, 2010	95
A1.2 - TMDA extensão total da A23, sentido Sul-Norte, 2010.....	97
A1.3 - TMDA para a extensão em análise	99
Anexo 2 - Tabelas de custos e rendimentos E.P. (Morgado, 2012)	103
A3.1 - Definição da distância de sinalização para intervenções na via da direita (J.A.E - Junta Autónoma da Estradas, 1997).	105
A3.2 - Definição da distância de sinalização para intervenções na via da esquerda (J.A.E - Junta Autónoma da Estradas, 1997).	106
Anexo 4 - Exemplo de relatório passo a passo do programa RealCost para os Custos dos utentes da alternativa 1 (segundo um sentido de tráfego)	107

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema da constituição básica dos pavimentos rodoviários (Adaptado de (Barry, et al., 2006)).	5
Figura 2 - Esquema de distribuição típica de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos. (Adaptado de (Ristu, 2012))	7
Figura 3 - Constituição típica de um pavimento flexível	8
Figura 4 - Constituição típica de um pavimento rígido.	10
Figura 5 - Constituição típica de um pavimento semirrígido.	13
Figura 6 - Diagrama de fluxo de custos de ciclo de vida tipo para uma alternativa de pavimento. (Adaptado de (Walls, et al., 1998))	20
Figura 7 - Diagrama de fluxo da metodologia de ACCV adotada.	23
Figura 8 - Diagrama de fluxo considerando a duração das actividades das alternativas e a duração do período de análise.	24
Figura 9 - Período de análise para uma alternativa de projeto. (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).	25
Figura 10 - Exemplo de cronograma de atividades para uma alternativa de projeto de um pavimento. (Adaptado de (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002))	26
Figura 11- Diagrama de Fluxo dos custos apresentados no problema exemplificativo. (Adaptado de (Walls, et al., 1998))	33
Figura 12 - Diagrama de fluxo de despesas, mostrando atividades, custos e momentos (adaptado por (Santos, et al., 2013)de (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)).	37
Figura 13 - Menus do Programa "Realcost".	42
Figura 14 - Menu correspondente aos detalhes do projeto.	42
Figura 15 - Menu correspondente as opções da análise.	44
Figura 16 - Gráfico de comparação do TMDA real e do caso base na concessão da Beira Interior. (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013).	45
Figura 17 - Gráfico de distribuição percentual do TMDA de acordo com as classes de veículos.	47
Figura 18 - Gráfico da tendência linear de crescimento do TMDA até 2029.	48
Figura 19 - Menu de Cálculo da capacidade de dissipação do tráfego.	49
Figura 20 - Menu correspondente aos dados do tráfego.	51
Figura 21 - Dados de preenchimento do menu relativo aos custos dos utentes.	52
Figura 22 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan sofrendo apenas intervenções de reconstrução para um período de 40 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).	55

Figura 23 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan combinando programas de reconstrução e reabilitação, com intervenções entre 10 a 30 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).	56
Figura 24 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan combinando programas de reconstrução, reabilitação e prevenção, com intervenções entre 5 a 30 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).	56
Figura 25 - Definição do comprimento da "zona de trabalho" em planta.	59
Figura 26 - Distribuição cumulativa de capacidades observadas em zonas de trabalhos (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).	60
Figura 27 - Cronograma de atividades e custos totais da alternativa 1.	63
Figura 28 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 1.	64
Figura 29 - Cronograma de custos totais e atividades da alternativa 2.	66
Figura 30 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 2 - atividade 1.	67
Figura 31 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 2 - atividade 2.	67
Figura 32 - Cronograma de custos e atividades da alternativa 3.	69
Figura 33 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 3 - atividade 1.	70
Figura 34 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 3 - atividade 2.	71
Figura 35 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 3 - atividade 3.	71
Figura 36 - Diagrama de Fluxo dos custos da administração para cada alternativa.	74
Figura 37 - Diagrama de Fluxo dos custos dos utentes para cada alternativa.	74
Figura 38 - Custos da administração para cada alternativa.	75
Figura 39 - Custos dos Utentes para cada alternativa.	75

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade (Branco, et al., 2011)	7
Tabela 2 - Determinação do valor atual líquido para o problema exemplo. (Adaptado de (Walls, et al., 1998))	33
Tabela 3 - Extensão da A23 em análise. (Adaptado de (Scutvias - Autoestradas da Beira Interior, S.A., 2011))	41
Tabela 4 - Previsões do TMDA para a concessão da Beira Interior (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013).	45
Tabela 5 - Peso de cada classe de veículo no TMDA, segundo cada direção.	46
Tabela 6 - Previsões do TMDA considerando crescimento linear.	47
Tabela 7 - Valores registados da Taxa de Inflação (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2014).	52
Tabela 8 - Taxas de inflação previstas para 2014 e 2015 (Banco de Portugal, Eurosistema, Junho 2014).	52
Tabela 9 - Previsão do valor do tempo de acordo com as taxas de inflação registadas e previstas.	52
Tabela 10 - Distribuição horaria do tráfego da concessão Scutvias segundo cada sentido, para o dia da semana representativo.	53
Tabela 11 - Distribuição horaria do tráfego segundo cada sentido, para o dia representativo de fim de semana.	54
Tabela 12 - Definição das intervenções (Adaptado de (Tavares, 2013) e (Fonseca, 2013) citando (E.P. - Estradas de Portugal, S.A., 2010)).	57
Tabela 13 - Custos de manutenção de acordo com a EP e a Scutvias.	60
Tabela 14 - Resumo das características das alternativas adotadas.	61
Tabela 15 - Descrição e custo das atividades da alternativa 1.	62
Tabela 16 - Momentos e custos das atividades da Alternativa 1.	62
Tabela 17 - Características da zona de trabalhos da Alternativa 1.	63
Tabela 18 - Descrição e custo das atividades da alternativa 2.	65
Tabela 19 - Momentos e custos das atividades da Alternativa 2.	65
Tabela 20 - Características da zona de trabalhos de cada atividade da Alternativa 2.	66
Tabela 21 - Descrição e custo das atividades da alternativa 3.	68
Tabela 22 - Cronograma de custos totais e atividades da alternativa 3.	69
Tabela 23 - Características da zona de trabalhos da Alternativa 3.	70
Tabela 24 - Fluxograma de custos com indicação do valor residual para as três alternativas.	72
Tabela 25 - Custos Totais obtidos a partir do “Realcost v2.5” da ACCV para administração e utentes.	76

Tabela 26 - Resumo dos custos considerados e obtidos na ACCV.	76
Tabela 27 - Variação e repartição do custo total das alternativas pelas parcelas de custo consideradas.	79
Tabela 28 - Custo total de cada alternativa com acréscimo do custo mínimo para garantir o limite de degradação no final do período de análise.	80

Lista de Acrónimos

ACCV	Análise de Custo de Ciclo de Vida
LCCA	Life-Cycle Cost Analysis
FHWA	Federal Highway Administration
NPV	Net Present Value
EUAC	Equivalent Annual Uniform Cost
WSDOT	Washington State Department of Transportation
EP	Estradas de Portugal
S.A.	Sociedade Anónima

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

No que respeita à análise dos custos do ciclo de vida, os E.U.A foram os pioneiros neste tipo de estudos, tendo sido este método inicialmente aplicado na indústria e só depois a um vasto conjunto de projetos. Em 1995, o Guia “Life-Cycle Costing Manual” (Fuller, et al., 1995), já criado em 1980 para os projetos de conservação de energia nos edifícios federais americanos, foi revisto e sofreu um leque de alterações bastante vasto, promovendo um conjunto de inovações na análise do custo do ciclo de vida aplicável a qualquer projeto. Mais tarde, em 1998, o “Federal Highway Administration” adapta esse mesmo Guia e desenvolve-se então o “Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design” (Walls, et al., 1998) aplicado diretamente aos pavimentos rodoviários.

Desde então vários documentos têm sido desenvolvidos a nível internacional, salientando-se entre eles o “An Application to Measure the Whole Life Cost and Whole Life Carbon Footprint of Pavement Maintenance” do Reino Unido (Finnie, 2012), o relatório “The ARRB Integrated Project Level Pavement Performance and Life-Cycle Costing Model for Sealed Granular Pavements” da Austrália (Roberts, et al., 1998) e o relatório “Sustainable Pavement Asset Management Based on Life-Cycle Models and Optimization Methods” da Universidade de Michigan, E.U.A (Zhang, 2009)

Em Portugal, este tema foi abordado pelos autores Fernando Branco, Paulo Pereira e Luís Picado Santos na obra “Pavimentos Rodoviários” (Branco, et al., 2011) e em vários trabalhos académicos recentes (Costa, 2008) (Ristu, 2012).

Os custos relacionados com o ciclo de vida dos pavimentos são de dois tipos, os custos suportados pela administração rodoviária (custos de projeto, de construção, conservação e o valor residual) e os custos suportados pelo utente da estrada (custo de operação dos veículos, custo do tempo de percurso, custo do tempo de percurso devido aos trabalhos de conservação, custo de acidentes e custo do desconforto). Na maioria dos casos apenas os custos da administração rodoviária são considerados, admitindo que os custos dos utentes não variam ao longo do tempo, quando na realidade estes são um elemento fundamental na escolha da melhor estratégia de conservação e conseqüentemente na determinação dos custos do ciclo de vida de um pavimento. Como qualquer análise económica, a análise dos custos do ciclo de vida de um pavimento não deixa de ser dependente de acontecimentos incertos que variam ao longo do tempo, e por isso, torna-se pertinente desenvolver

metodologias que permitam relacionar as mudanças de estado dos pavimentos com o tempo, com os tratamentos e estratégias de conservação e com os custos dos utentes.

No que diz respeito a infraestruturas rodoviárias, Portugal detém atualmente uma das redes mais desenvolvidas da Europa. Em 2010 a rede rodoviária nacional no Continente era composta por cerca de 13123 km dos quais 2737 km eram de tipologia Autoestrada (Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal, E.P.E., 2012). Então pode com certeza afirmar-se que em termos de construção, o país já é detentor de uma rede rodoviária bastante ampla e completa, há então que assegurar a manutenção e conservação dessa rede para que as condições definidas aquando da construção sejam satisfeitas ao longo do seu ciclo de vida, em particular, pelo investimento que representam, a dos seus pavimentos. Para que esta conservação seja eficaz e economicamente viável há que considerar o custo do ciclo de vida do pavimento. Em Portugal, ainda não é prática corrente a análise dos custos do ciclo de vida aplicada aos pavimentos, no entanto, tendo em conta que os investimentos neste tipo de infraestrutura são realizados para um longo prazo, a avaliação económica deve abranger todo o ciclo de vida do pavimento, atendendo aos seus custos e benefícios.

Assim, a escolha deste tema teve em consideração a crescente necessidade da aplicação de metodologias que melhor expressem os custos do ciclo de vida dos pavimentos, tendo em conta todos os custos envolvidos, incluindo os custos relativos às ações de conservação dos pavimentos, sua repercussão nos custos dos utentes e o valor residual dos mesmos. A realização deste trabalho acontece num momento em que se verifica em Portugal uma acentuada diminuição do tráfego na maioria das estradas da rede nacional de autoestradas, tendo-se verificado que em meio rural esta redução chega a ultrapassar os 70% (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013), sendo por isso necessário encontrar formas de adaptar as estratégias e os orçamentos inicialmente previstos à situação atual.

1.2. Objetivo

O principal objetivo do trabalho proposto é o de contribuir para o estudo e a avaliação da aplicabilidade de metodologias de avaliação e análise dos custos do ciclo de vida de pavimentos rodoviários à realidade portuguesa, tendo em conta a inclusão de todos os custos envolvidos (custos para a administração rodoviária - de projeto, de construção (inicial), de conservação e valor residual, e custos para o utente da estrada - de operação dos veículos, do tempo de percurso e dos acidentes).

Para entender melhor a informação necessária à aplicação deste tipo de análise e a importância de cada custo interveniente, pretende-se desenvolver um caso de estudo com recurso a um programa informático para análise dos custos do ciclo de vida (ACCV), o RealCost v2.5 (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2010).

1.3. Estrutura do documento

O presente documento é dividido em 5 capítulos, cujos conteúdos se apresentam resumidamente nos parágrafos seguintes.

No primeiro capítulo realiza-se uma breve introdução ao tema e definem-se os principais objetivos a atingir.

No capítulo 2 abordam-se alguns conceitos gerais sobre os pavimentos rodoviários, atendendo ao tipo de pavimento e respetivas características, assim como à conservação e reabilitação dos mesmos.

No capítulo 3 abordam-se os passos principais a considerar numa metodologia de ACCV. A introdução deste capítulo faz referência aos custos envolvidos numa ACCV, às principais fases a considerar num estudo de análise económica e realça a importância e as particularidades associadas à realização de ACCV. A segunda parte do capítulo descreve uma metodologia da ACCV de referência (americana) através da descrição das várias etapas que a compõe.

O capítulo 4 diz respeito à aplicação prática da análise de custo de ciclo de vida a um pavimento rodoviário. Este caso de estudo contempla a aplicação da metodologia apresentada no capítulo 3 a uma extensão de 61km da A23 pertencente à Concessão Scutvias - Autoestradas da Beira Interior. A ACCV para a extensão considerada é realizada com recurso ao programa informático "Realcost v2.5", seguindo uma abordagem determinística. Neste capítulo é descrito todo o procedimento de aplicação do programa, assim como a justificação e fundamentação dos dados considerados. São posteriormente apresentados e discutidos os resultados obtidos. No final do capítulo apresenta-se uma breve referência a sugestões de adaptação da metodologia/programa ao cenário nacional.

Por último, mas não menos importante, o capítulo 5 contempla as considerações finais relativas à realização deste trabalho. Aqui são apresentadas as principais conclusões e resultados obtidos na ACCV realizada no caso de estudo, assim como uma reflexão final sobre o tema estudado.

CAPÍTULO 2 - CONCEITOS GERAIS SOBRE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

2.1. Introdução

Um pavimento rodoviário é um sistema multiestratificado, formado por várias camadas de espessura finita apoiadas numa camada de espessura teoricamente infinita, ou terreno de fundação. Cada uma das camadas do pavimento caracteriza-se pela função que desempenha, distinguindo-se a camada de desgaste e o corpo do pavimento. Sendo a fundação a plataforma de sustentação deste conjunto. De uma forma geral a constituição de um pavimento pode ser representada de acordo com a Figura 1.

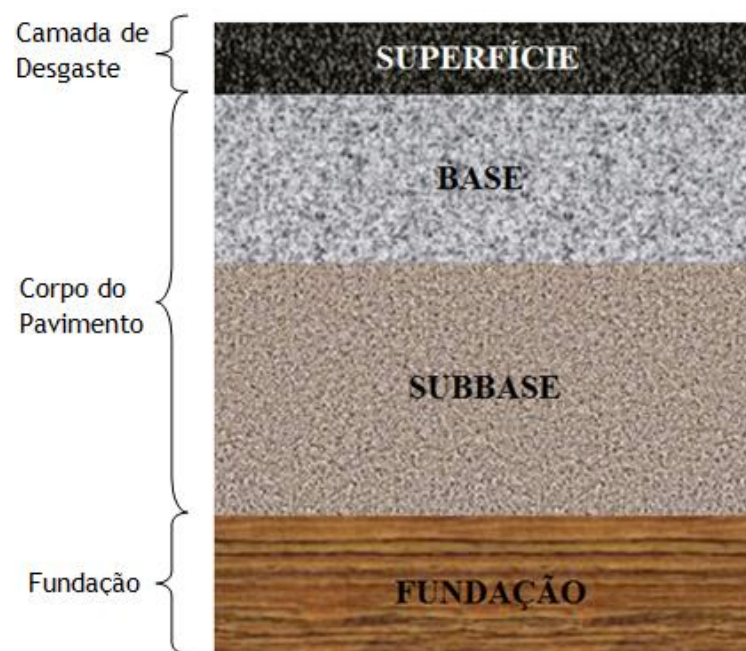


Figura 1 - Esquema da constituição básica dos pavimentos rodoviários (Adaptado de (Barry, et al., 2006)).

A camada de desgaste é a camada superficial onde se dá o rolamento dos veículos, ou seja, aquela que proporciona aos utentes conforto e segurança de circulação, contribuindo ainda para a durabilidade da estrutura através da impermeabilização do corpo do pavimento. O corpo do pavimento é constituído por camadas elementares, estabilizadas com ligantes hidráulicos ou betuminosos e outras simplesmente constituídas por materiais granulares, sendo deste conjunto que depende a capacidade de suporte da estrutura às cargas provocadas pelo tráfego. As camadas do corpo do pavimento diminuem de qualidade e resistência, da

superfície em direção ao solo de fundação, em conformidade com a degradação dos esforços atuantes.

A principal função dos pavimentos rodoviários é a de, durante um determinado período de tempo e sujeitos às ações climáticas e de tráfego, assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos em condições adequadas de segurança e comodidade.

Para que esta função seja assegurada, os pavimentos devem garantir uma determinada qualidade funcional e estrutural.

A qualidade funcional está relacionada com as exigências dos utentes no que respeita às características da superfície, tais como a regularidade geométrica, a textura, a aderência, o ruído de rolamento, sendo esta assegurada pela camada de desgaste.

A qualidade estrutural está diretamente relacionada com a integridade da estrutura e a sua capacidade de suportar as ações a que está sujeita (do tráfego e climáticas). A qualidade estrutural é assegurada pelo corpo do pavimento e traduz-se pela capacidade de resistência do pavimento ao aparecimento de fendas, depressões e outras degradações.

Com o aumento da intensidade de tráfego que se tem vindo a registar ao longo dos anos e, apesar de se assistir a um abrandamento nos anos mais recentes, as características funcionais dos pavimentos são cada vez mais relevantes, em especial devido à procura de melhores patamares de segurança. Fatores como a aderência entre pneu-pavimento, que permitem ao utente acelerar, travar e mudar de direção em condições de segurança, assim como fatores de impacto visual, como por exemplo a cor do pavimento, são características funcionais que têm vindo a ganhar maior importância. Outras características como a integridade, regularidade e o desempenho da superfície são características relacionadas ao desempenho estrutural de todo o pavimento. As características estruturais garantem a capacidade do pavimento para suportar as cargas sem sofrer alterações para além de determinados valores limite, as quais colocariam em causa a garantia da qualidade funcional, aquela que é captada pelos utentes.

2.2. Tipos de pavimentos e as suas características

Quando se define uma solução construtiva para um pavimento rodoviário há que atender às seguintes características:

- Tráfego;
- Clima;
- Materiais disponíveis;
- Condições de fundação;
- Custos de execução.

Do estudo destes fatores resultam as soluções de pavimento, classificados em função dos materiais utilizados e da sua deformabilidade, com diferentes tipos de comportamentos.

De uma forma geral, são considerados três tipos de pavimentos rodoviários: pavimentos flexíveis, pavimentos semirrígidos e pavimentos rígidos. Os pavimentos podem ser classificados segundo dois critérios, o tipo de materiais empregue e a deformabilidade conforme se mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade (Branco, et al., 2011).

Tipo de Pavimento	Materiais (ligante)	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonados e granulares	Elevada
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semirrígido	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida

Quanto á deformabilidade, cada um destes três tipos de pavimentos, sob a ação de uma determinada carga, apresenta diferentes valores de deformação vertical da sua superfície.

A intensidade e a forma de aplicação das cargas dos veículos, que podem ser expressas basicamente por uma pressão vertical na superfície do pavimento e por uma ação tangencial aplicada no plano entre o pneu e o pavimento, determinam diferentes comportamentos dos pavimentos, em particular devido ao facto de muitos materiais, em especial os betuminosos, terem comportamentos que variam com o modo como são solicitados

De uma forma geral, no caso de pavimentos flexíveis, cujos materiais constituintes lhe conferem deformabilidade elevada, é a capacidade de flexão das camadas que suporta a carga, sendo que as tensões são mais elevadas onde a carga é mais intensa. Para os pavimentos rígidos, com deformabilidade muito reduzida devido à alta rigidez da laje de betão que constitui uma das suas camadas, a distribuição das tensões acontece numa maior área. É ilustrado na Figura 2 a distribuição de tensões em ambos os tipos de pavimentos.

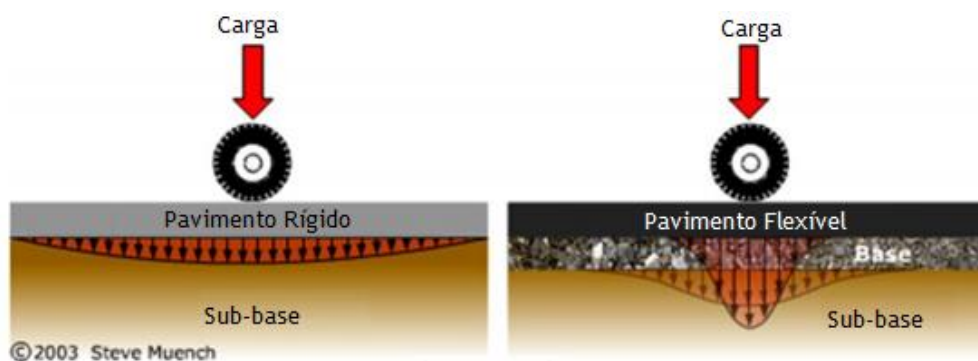


Figura 2 - Esquema de distribuição típica de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos. (Adaptado de (Ristu, 2012)).

A qualidade e resistência das camadas diminuem em profundidade, ou seja, as camadas superiores têm maior capacidade de resistência, absorvendo os maiores esforços, o que faz com que os esforços e tensões que chegam à fundação sejam uma pequena fração dos atuantes na camada de superfície, e portanto compatíveis com a capacidade de suporte da fundação.

2.2.1. Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis têm as suas camadas superiores constituídas por misturas compostas normalmente por agregados e betume asfáltico (sendo o material ligante o betume asfáltico), seguidas inferiormente por uma ou duas camadas de material granular (Branco, et al., 2011).

Na Figura 3 apresenta-se a constituição típica de um pavimento flexível.

Designação da Camada	Tipo de Material
Camada de Desgaste	Misturas de Betuminosos
Camada de Regularização (Camada Opcional)	Misturas de Betuminosos
Camada de Base	Misturas de Betuminosos ou Materiais Granulares
Camada de Sub-base	Materiais Granulares
Leito do Pavimento (Camada opcional)	Materiais Granulares ou Solos Tratados
Solo de Fundação	Solo Natural

Figura 3 - Constituição típica de um pavimento flexível.

As camadas betuminosas (superiores) dos pavimentos flexíveis são ligadas entre si (coladas), por forma a manter estados de tensão mais equilibrados. Quando estas camadas se encontram “descoladas” ocorrem, para cada uma delas, tensões máximas de compressão na face superior e tensões máximas de tração na face inferior, o que corresponde a um estado de tensão mais severo do que no caso em que as faces estão coladas e as tensões são equilibradas entre as duas ou mais camadas por se comportarem como uma só.

Segundo (Barry, et al., 2006), as camadas betuminosas de um pavimento flexível podem ser divididas, de forma simples em:

- Revestimento de selagem (“Seal coat”) - uma camada fina, líquida (normalmente de betume ou emulsão betuminosa) usada como tratamento para aumentar ou restaurar a impermeabilização e aderência (resistência à derrapegem) do pavimento. Protecção do pavimento contra a oxidação e danos causados pelo aparecimento das fendas de retração (efeito das baixas temperaturas).
- Camada de desgaste - na ausência do “seal coat”, esta é a camada do topo do pavimento, geralmente constituída por uma mistura betuminosa de alta densidade com a função de impermeabilizar, conferir aderência, resistência às deformações e regularidade e desempenho da superfície.
- Camada de regularização - camada betuminosa imediatamente abaixo da camada de desgaste. Em geral, por razões económicas ou porque a camada de topo é demasiado espessa para se executar numa única camada, é considerada a inclusão desta camada, normalmente constituída por uma maior percentagem de agregados e uma menor percentagem de betume em relação à camada de desgaste.

As camadas betuminosas estão apoiadas geralmente em uma ou duas camadas granulares. Em alguns casos de pavimentos flexíveis dispensa-se as camadas de base e subbase enquanto que em outros casos estas são estabilizadas com misturas betuminosas ou cimentícias.

Uma correta compactação das camadas durante a construção de um pavimento flexível é fundamental para garantir o seu bom desempenho estrutural e funcional. Técnicas inapropriadas de compactação levam a estados de deformação permanentes e excessivos nas camadas betuminosas. Estas deformações constantes provocam fendas que propiciam a infiltração de água nas camadas subjacentes, comprometendo a estabilidade destas, levando a uma degradação rápida do pavimento.

A constituição de um pavimento flexível varia em função da intensidade do tráfego, da resistência do solo de fundação e das características dos materiais disponíveis, assim sendo as soluções utilizadas para este tipo de pavimento são muito variadas.

Podem no entanto ser distinguidos dois tipos de pavimento flexíveis:

- Pavimentos flexíveis com camada de base em materiais granulares - nestes pavimentos as camadas de base e sub-base são constituídas por materiais granulares não ligados, sobre as quais é aplicado um tratamento superficial ou camadas de misturas betuminosas. Neste caso as camadas granulares representam o principal elemento resistente da estrutura, aquele que resiste e distribui as cargas até a

fundação, a camada superficial ou de desgaste impermeabiliza o pavimento e proporciona uma superfície de circulação cómoda e segura.

- Pavimentos flexíveis com camada de base em materiais betuminosos - são constituídos por camadas betuminosas de elevada espessura (até 28 cm de acordo com o manual MADIPAV (JAE , 1995)) aplicadas sobre camadas granulares não ligadas. Nestes pavimentos, quando a rigidez da camada de base é elevada o nível de tensões transmitidas á fundação diminui significativamente, caso contrário, se esta camada se comportar como uma camada com menor rigidez as tensões transmitidas à fundação são mais elevadas.

2.2.2. Pavimentos rígidos

Os pavimentos rígidos são constituídos por uma camada superior em betão de cimento composto por material granular estabilizado com ligante hidráulico, seguido de uma ou duas camadas inferiores constituídas também por material granular estabilizado com ligante hidráulico e/ou apenas constituídas por material granular.

De forma simplificada, a constituição de um pavimento rígido apresenta-se na Figura 4.

Designação da Camada	Tipo de Material
Camada de Desgaste	Laje de Betão de Cimento
Camada de Sub-base	Betão Pobre, Agregado de Granulometria extensa estabilizado com cimento, Solo-cimento
Fundação	Solo Natural

Figura 4 - Constituição típica de um pavimento rígido.

As camadas de um pavimento rígido podem ser definidas da seguinte forma:

- Camada de desgaste - camada de topo do pavimento ou camada de superfície, esta é constituída por uma laje de betão de cimento compactada por vibração. Neste tipo de pavimento, a laje de betão de cimento funciona como camada de desgaste e camada de base.
- Camada de regularização - esta camada é a sub-base do pavimento, é constituída por material granular, que dependendo da intensidade do tráfego, pode ou não ser estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre, solo-cimento).

A superfície de rolamento é conseguida misturando areia siliciosa no betão de forma a conferir-lhe uma textura adequada para o desenvolvimento do atrito pneu-pavimento.

A camada granular da base tem como função aumentar a resistência efectiva da laje, assim como prevenir a bombagem de solos finos para as juntas, fendas ou extremos das lajes. Muitas vezes estas camadas são estabilizadas com com ligante hidráulico (misturas do tipo betão pobre ou solo-cimento) de forma a melhorar esta última função.

A resistência do betão de cimento à flexão proporciona a estes pavimentos uma elevada resistência, mesmo quando submetidos a condições severas de tráfego pesado, intenso e lento, e a elevadas temperaturas, não sofrendo grandes deformações. Relativamente às tensões verticais, como estas são distribuídas por uma grande área da laje de betão, resultam apenas numa pequena fracção da pressão de contacto dos pneus quando chegam à fundação.

Neste tipo de pavimentos a função da subbase não visa tanto obter uma determinada capacidade, como no caso dos pavimentos flexíveis, mas antes obter uma camada regular que permita a execução da laje em boas condições, e que seja resistente à erosão, quer sob a acção do tráfego de obra, quer em serviço para evitar o descalçamento da laje (Branco, et al., 2011).

Quando o solo de fundação não apresenta a capacidade de carga requerida nem condições para lhe conferir impermeabilidade, torna-se necessário adoptar um leito de pavimento.

Na laje de betão ocorre uma retracção do material à medida que ocorre a presa e o endurecimento. Sendo esta retracção contrariada pelo atrito na interface com a camada inferior, desenvolvem-se na laje esforços de tracção a que o betão, ainda muito jovem e pouco resistente, não pode em geral resistir. Daí o aparecimento das fendas de retracção características destes pavimentos. (Branco, et al., 2011)

De acordo com (Barry, et al., 2006), estes pavimentos são classificados em 4 grupos:

- Pavimentos de betão não armado, com juntas transversais e longitudinais (JPCP). Estas lajes de betão simples requerem pequenos intervalos de espaçamento entre juntas transversais e longitudinais, usualmente entre juntas longitudinais o espaçamento é de acordo com a largura da via (aproximadamente 3,75m), em juntas transversais o espaçamento das juntas é geralmente entre 4,5 a 9 metros. Este tipo de pavimento pode ou não ser dotado de barras de transferência de carga (passadores) que permitem a transferência de carga entre as juntas.
- Pavimentos de betão armado, com juntas (JRCP). Nestes pavimentos a armadura não é projectada para aumentar a capacidade de carga do pavimento mas sim para resistir à fendilhação da laje quando submetida a altas temperaturas (*thermal stresses*), permitindo assim maiores espaçamentos entre as juntas transversais das

lajes. Estas podem ter espaçamentos entre 9 a 30 metros. São necessárias barras de transferência de cargas para garantir a correcta transferência de cargas através das juntas.

- Pavimentos de betão armado contínuo (CRCP). Neste tipo de pavimento não são utilizadas juntas transversais, em vez disso, o pavimento é projectado para que as fendas se desenvolvam em espaçamentos muito reduzidos (na ordem de 1 metro). As armaduras contínuas são projectadas para suportar a fendilhação transversal da laje quando submetida a altas temperaturas mantendo as fendas fechadas, e garantem também uma óptima transferência de cargas através das fendas. Para além do benefício de não possuir juntas transversais, estes pavimentos são em geral 2,5 a 5 cm mais finos que os convencionais referidos nos dois primeiros pontos.
- Pavimentos de betão pré-esforçado. Estes são similares aos pavimentos de betão armado contínuo, no entanto para este caso a armadura longitudinal consiste em cabos de aço contínuos pré-esforçados (tensionados antes da betonagem) ou pós-esforçados (tensionados após a betonagem). A tensão inicial dos cabos contrabalança as tensões provocadas pela carga e pelas altas temperaturas no betão, permitindo assim lajes mais finas. Estes pavimentos são mais usados em pavimentos aeroportuários, devido à geometria favorável das pistas, do que em autoestradas, devido à dificuldade de aplicar o pré-esforço em secções curvas. Secções deste tipo de pavimento têm também sido usadas para reabilitação de pavimentos.

2.2.3. Pavimentos semirrígidos

Os pavimentos semirrígidos combinam as características dos dois tipos de pavimentos referidos nos pontos anteriores, com uma ou duas camadas superiores constituídas por misturas betuminosas, seguidas de uma camada constituída por agregado estabilizado com ligante hidráulico, podendo ainda dispor de uma camada granular na sub-base.

As camadas betuminosas superiores têm constituição idêntica à dos pavimentos flexíveis, sendo a camada de base que diferencia este tipo de pavimento. Esta camada é constituída por um material granular estabilizado com ligante hidráulico, usualmente um betão pobre cilindrado.

A camada de subbase é, em geral, constituída por um material granular estabilizado mecanicamente. Neste tipo de pavimentos é a camada de base que absorve a maior parte dos esforços verticais devido à sua elevada rigidez, sendo que os esforços que resultam na fundação são muito reduzidos. (Branco, et al., 2011)

Apresenta-se na Figura 5 a constituição típica de um pavimento semi-rígido.

Designação da Camada	Tipo de Material
Camada de Desgaste	Misturas de Betuminosos
Camada de Regularização (Camada Opcional)	Misturas de Betuminosos
Camada de Base	Materiais Granulares Ligados com Cimento
Camada de Sub-base	Materiais Granulares ou Solos Tratados
Leito do Pavimento (Camada opcional)	Materiais Granulares ou Solos Tratados
Solo de Fundação	Solo Natural

Figura 5 - Constituição típica de um pavimento semirrígido.

Na camada tratada com cimento tem-se o mesmo fenómeno de fendilhação, devido à retracção do betão, que para os pavimentos rígidos, tornando o pavimento descontínuo, sendo neste caso mais grave uma vez que as fendas transversais ficam abertas, e com a passagem continua dos veículos estas tendem a propagar-se às camadas betuminosas subjacentes. Torna-se assim necessário adoptar disposições construtivas que contrariem ou retardem esta propagação.

2.3. Conservação e reabilitação de pavimentos

Os pavimentos rodoviários estão, durante todo o seu período de vida, expostos a condições adversas, como as elevadas cargas provocadas pelo tráfego (em especial dos veículos pesados) e as condições climáticas extremas, como elevadas temperaturas, chuva e neve. Estas agressões podem ocorrer apenas na superfície do pavimento, interferindo com a capacidade funcional, ou no corpo do pavimento, interferindo com a capacidade estrutural do mesmo.

Para além das condições climáticas e das condições de tráfego, outro fator que influencia o comportamento dos pavimentos são os materiais utilizados na sua constituição. Dependendo do tipo de material utilizado nas camadas dos pavimentos, betuminosos ou granulares, tem-se diferentes evoluções no processo de degradação. No caso dos materiais betuminosos, a evolução no processo de degradação está relacionada com o envelhecimento do ligante, no caso dos materiais granulares é a sua sensibilidade a ação da água.

De acordo com (Branco, et al., 2011), o processo de degradação de um pavimento depende de dois grupos de fatores:

- Fatores passivos - característicos do pavimento construído; São eles:
 - Espessura das camadas;
 - Materiais utilizados;
 - Qualidade da construção.
- Fatores ativos - principais responsáveis pelo processo de degradação, compreendendo as ações:
 - Do tráfego;
 - Dos agentes climáticos

Como a degradação dos pavimentos é um processo de evolução progressiva, as operações de manutenção são de extrema importância, pois operações de manutenção efetuadas no momento certo evitam a necessidade de grandes intervenções, não previstas, que acarretam elevados custos.

Existem degradações características de cada tipo de pavimento, pois como os materiais e o comportamento são diferentes também a sua forma de degradação varia. Assim, quando a mesma solicitação é imposta a cada tipo de pavimento, esta provoca diferentes anomalias.

As degradações mais relevantes nos pavimentos flexíveis compreendem o aparecimento de deformações permanentes e o desenvolvimento de fendilhamento nas camadas betuminosas (Branco, et al., 2011).

As causas mais comuns para a degradação dos pavimentos flexíveis são a capacidade de carga insuficiente e as deficiências na formulação ou execução das camadas (Fontul, 2005). Devido a estas causas as degradações mais frequentes são:

- Fendilhamento:
 - Fendas longitudinais;
 - Fendas transversais;
- Fendilhamento tipo “pele de crocodilo”;
- Rodeiras;
- Ondulações na superfície;
- Desagregações superficiais dos agregados.

Relativamente aos pavimentos rígidos, como a camada superficial é constituída por betão, geralmente as juntas de dilatação mal executadas constituem a maior causa de degradação do pavimento, assim como a perda de suporte da laje. Outras causas, como o tipo de fundação inadequado e a drenagem deficiente, são também muito comuns neste tipo de pavimentos.

Nos pavimentos rígidos as degradações que surgem com maior frequência são:

- Fendilhamento das lajes;
- Expulsão de selante;
- Desagregação nas juntas;
- Bombagem de finos;
- Escalonamento das lajes.

Atendendo por último aos pavimentos semirrígidos, as principais causas de degradação são a retração e as variações térmicas induzidas na camada em betão de cimento Portland. Para estes pavimentos a anomalia mais frequente são as fendas na camada betuminosa devido à reflexão do fendilhamento da camada subjacente. Os principais tipos de degradações neste tipo de pavimentos são:

- Fendilhamento em blocos;
- Fendilhamento tipo “pele de crocodilo”;
- Pelada.

Quando alguma destas degradações surge, têm obrigatoriamente que se realizar inspeções a fim de concluir se o dano afeta as características funcionais ou estruturais do pavimento, para depois se poder definir uma boa estratégia de recuperação.

Dependendo também do estado do pavimento as ações a realizar podem ser de conservação, ação que tem por objetivo manter as condições do pavimento no estado atual (prevenção), ou de reabilitação quando se pretende dotar o pavimento das suas características iniciais.

A conservação, ou reabilitação, das características funcionais tem por objetivo repor as características da superfície (por este motivo também se designam por características superficiais), quer quanto à respetiva textura (em relação direta com o atrito e logo com as condições de segurança), quer quanto à regularidade (longitudinal e também transversal) (Branco, et al., 2011).

A conservação ou reabilitação das características funcionais de um pavimento acontece ao nível da camada de desgaste, com a aplicação de revestimentos superficiais que conferem rugosidade, regularidade longitudinal e transversal e inclui também a impermeabilização do mesmo, o que terá também efeitos sobre o comportamento estrutural do pavimento. A reabilitação das características funcionais apenas se realiza quando as camadas estruturais ainda se encontram num estado de conservação que suporta a respetiva reabilitação, quando a degradação afetou já as características estruturais do pavimento, torna-se necessário proceder à sua reabilitação estrutural.

A conservação, ou reabilitação, das características estruturais procura atender ao objetivo de dotar a estrutura do pavimento de capacidade resistente, considerando um determinado

período de vida e condições de solicitação. Esta reabilitação terá em conta o estado atual do pavimento, e em particular o seu previsível estado futuro, após a reabilitação, considerando nomeadamente a nova qualidade das suas camadas, em particular as granulares e o solo de fundação, por exemplo, em função da melhoria das condições de drenagem interna (Branco, et al., 2011). Para a reabilitação das características estruturais são realizadas intervenções de reforço, antecedidas por trabalhos preparatórios como selagem e tratamento de fendas, extração e enchimentos localizados, e em casos em que o pavimento já se encontra em estado de degradação profunda utiliza-se a fresagem, que consiste em retirar as camadas degradadas e substituí-las por novas.

Uma estratégia para a conservação de pavimentos é a conservação periódica, esta consiste num leque de ações a realizar com determinada periodicidade. Estas ações podem ser de carácter preventivo ou reforços estruturais periódicos.

As ações de carácter preventivo são realizadas quando se conhecem as primeiras deficiências estruturais e/ou funcionais, constituem uma mais-valia em termos de custos, para a administração, por se tratar de aplicação de camadas de espessura reduzida, e para o utente, porque são operações de curta duração, o que reduz a interferência nos tempos de percurso. No entanto, como se realizam com alguma frequência, serão adequados para vias de baixa a média intensidade de tráfego.

Os reforços estruturais realizam-se apenas quando a degradação já atingiu um nível elevado e a intervenção é obrigatória, são usualmente praticados em vias de trânsito intenso, onde não é conveniente para o utente ter a via interrompida com alguma frequência, e realizam-se em intervalos alargados (normalmente 5 ou 10 anos).

Outro tipo de estratégia de conservação é a conservação corrente. Esta estratégia de conservação compreende trabalhos de manutenção como o tratamento de bermas, sistemas de drenagem e pequenas ações como o fechamento de pequenas fendas.

Em termos práticos, as ações de conservação e reabilitação mais comuns em pavimentos são:

- Tratamentos superficiais;
- Fresagem;
- Colocação de camadas delgadas;
- Reforços.

As ações de conservação e reabilitação representam os custos de ciclo de vida de pavimentos rodoviários, são estas ações as que maior influencia têm para as administrações a quando da realização da análise de custo de ciclo de vida, isto porque neste tipo de análise, os custos dos utentes a ser considerados são aqueles derivados das ações de manutenção e conservação que condicionam o normal funcionamento do tráfego.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIAS DE ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA DE PAVIMENTOS

3.1. Introdução

De acordo com (Santos, et al., 1996), a legislação portuguesa diz que um projeto de uma estrada deve, de um modo geral, desenvolver-se pelas seguintes fases:

- Programa preliminar - esta fase é definida pelo dono da obra e refere a ligação a estudar, especificando aspetos como onde começa e acaba, nível de serviço pretendido;
- Programa base - define a metodologia a seguir no estudo, os critérios gerais de dimensionamento, condicionamentos do terreno, exigências urbanísticas, aponta algumas soluções para o empreendimento e comenta a sua viabilidade, estima o custo do empreendimento e define os estudos especializados e elementos de trabalho necessários para o prosseguimento do projeto;
- Estudo prévio - é nesta fase que são indicadas e analisadas as soluções mais viáveis para a ligação pretendida tanto em termos de condicionamentos do traçado como do interesse económico do empreendimento. Deste estudo resulta a definição do corredor onde se situará o traçado definitivo;
- Projeto base - em Portugal esta fase estabelece a diretriz definitiva e a rasante aproximada. Com base nestes elementos é definida a “planta parcelar”, iniciando nesta fase a expropriação dos terrenos necessários a execução da obra que é um processo moroso, desta forma é possível ganhar algum tempo pois a expropriação acontece enquanto se elabora o processo de execução;
- Projeto de execução - define completamente a obra a realizar, em todos os seus pormenores.

Quando se estuda a construção de uma nova infraestrutura rodoviária, são consideradas várias alternativas de projeto. A escolha da alternativa mais viável é efetuada após um cuidadoso estudo prévio que envolve a consideração de múltiplos fatores tais como os condicionamentos do traçado (características do terreno, tráfego), os custos de construção, custos de manutenção, sendo que aquele que em geral tem maior impacto na decisão é o relacionado com os custos de construção.

No entanto, os custos de construção são apenas uma parte dos custos totais envolvidos na concretização e funcionamento de uma infraestrutura rodoviária, uma vez que este tipo de infraestrutura envolve períodos de concessão de várias décadas aos quais estão associados custos de funcionamento/operação que representam uma parcela significativa do custo total do ciclo de vida da infraestrutura. Torna-se assim necessário entender que os custos envolvidos e a considerar na tomada de decisão sobre a construção de uma determinada alternativa de uma infraestrutura rodoviária compreendem não só aqueles relacionados com o seu projeto e a sua construção, mas também aqueles relacionados com o seu funcionamento e manutenção ao longo de todo o seu ciclo de vida e também com o valor residual no fim do período de vida.

No que respeita aos pavimentos, o envelhecimento e a degradação dos mesmos requerem a programação de ações de preservação (manutenção e reabilitação) que permitam garantir ao longo do seu período de vida um determinado nível de serviço e a segurança dos utentes. Manter em boas condições os pavimentos representa custos tanto para os utentes como para a administração rodoviária. Para a administração são considerados os custos relacionados diretamente com as ações de manutenção, para os utentes são considerados os custos de operação dos veículos influenciados pelo estado do pavimento e os atrasos provocados pelas ações de manutenção que obrigam à redução da velocidade de circulação e até mesmo a desvios no percurso.

Distinguem-se assim dois grupos de custos:

- Os custos suportados pela administração rodoviária;
- Os custos suportados pelos utentes.

Segundo (Branco, et al., 2011), os custos dos utentes são de difícil determinação, estando todos eles, em graus diferentes, dependentes do estado do pavimento.

De uma forma geral, os custos envolvidos na avaliação das alternativas, construção e funcionamento de uma infraestrutura rodoviária consistem nos custos iniciais e de projeto, diretamente relacionados com a sua construção; nos custos que surgirão ao longo da vida da infraestrutura, relacionados com a manutenção e reabilitação do pavimento; nos custos relacionados com a influência destas ações na rotina dos utentes.

Os custos iniciais, suportados pela administração, são em geral conhecidos com bastante rigor, no entanto, os custos envolvidos na manutenção e reabilitação do pavimento ao longo do seu ciclo de vida têm de ser previstos, tal como os custos suportados pelos utentes. É aqui que surge o problema de como prever com rigor e precisão estes encargos. A determinação destes custos, para as várias alternativas de projeto consideradas, serve como ferramenta de apoio à decisão quanto à alternativa que de futuro proporciona a melhor rentabilidade em

termos de custos associados às ações de manutenção do pavimento, assim como aquela que representa maiores benefícios para os utentes.

Por forma a garantir a escolha mais rentável e benéfica, de entre as opções disponíveis, recorre-se então à avaliação económica de pavimentos. Esta análise económica é realizada com recurso a metodologias de análise de custos do ciclo de vida - ACCV (em inglês: *Lyfe Cycle Cost Analysis - LCCA*), neste caso, aplicadas aos pavimentos rodoviários.

A análise de custo de ciclo de vida deve ser realizada o mais cedo possível no ciclo de desenvolvimento do projeto. No que respeita as infraestruturas rodoviárias, esta análise deve ser conduzida ainda na fase de projeto. O nível de detalhe e informação requerida na análise devem ser proporcionais ao nível de investimento a realizar. Quanto maior for o investimento maior necessidade há em garantir uma análise mais detalhada.

A ACCV incorpora todos os custos e benefícios a longo prazo, sejam eles da administração, dos utentes, e quaisquer outros custos relevantes que ocorram durante a vida de uma infraestrutura rodoviária, e permite identificar o melhor valor para despesas de investimento (isto é, o menor custo a longo prazo que satisfaz o objetivo de desempenho pretendido). A ACCV pode ser aplicada a uma grande variedade de níveis de decisão em matéria de investimento, para avaliar o valor económico de vários projetos, alternativas ou estratégias de investimento do sistema para obter o melhor retorno sobre o investimento a realizar.

A ACCV apenas considera custos diferentes entre alternativas. Assim custos comuns entre alternativas não são incluídos nos cálculos realizados nesta análise. A exclusão dos fatores comuns simplifica a análise, no entanto, todos os fatores e hipóteses consideradas têm que ser abordadas, mesmo que apenas para referir o porquê da sua exclusão da análise. Os custos irrecuperáveis são também irrelevantes para a tomada de decisão e não são por isso incluídos na análise. Por vezes a dificuldade na determinação de alguns custos torna a sua omissão da análise a escolha mais sensata.

Assim, a avaliação económica considera atualmente todos os fatores influentes na evolução de um pavimento, para um determinado nível de qualidade exigida, de forma a encontrar o menor custo total. Para atingir este objetivo é necessário avaliar a história económica previsível do pavimento para cada período de tempo considerado (1 ano ou superior).

De acordo com (Branco, et al., 2011), um estudo de análise económica consiste nas seguintes fases:

- Identificação e definição das diferentes alternativas capazes de responder ao problema diagnosticado, incluindo também alternativas intermédias e a alternativa nula (não fazer nada), avaliando as respetivas consequências;

- Identificação e definição dos vários fatores que podem contribuir para a diferenciação do custo e benefício das diversas alternativas e fatores de custo;
- Conversão de todas as alternativas à mesma base de comparação, por exemplo com recurso ao “custo atual”, de modo a selecionar a mais rentável.

Para a realização deste último ponto torna-se necessário definir índices de conversão de custos e benefícios. Estes índices obtêm-se a partir da aplicação de métodos de avaliação económica, sendo eles (Branco, et al., 2011):

- Método do valor atual;
- Método do custo equivalente anual uniforme;
- Método da taxa de rendabilidade;
- Método da razão benefício-custo.

Sendo que no campo da engenharia os métodos mais utilizados são os dois primeiros.

O desenvolvimento de estas etapas resulta num cronograma de atividades, respetivos custos e momentos que podem ser representados num diagrama de fluxo de custos do ciclo de vida para cada alternativa (ver Figura 6). Utilizando técnicas económicas de conversão de valores, os custos envolvidos são convertidos em valores atuais e somados a cada alternativa de projeto, permitindo a comparação entre alternativas.

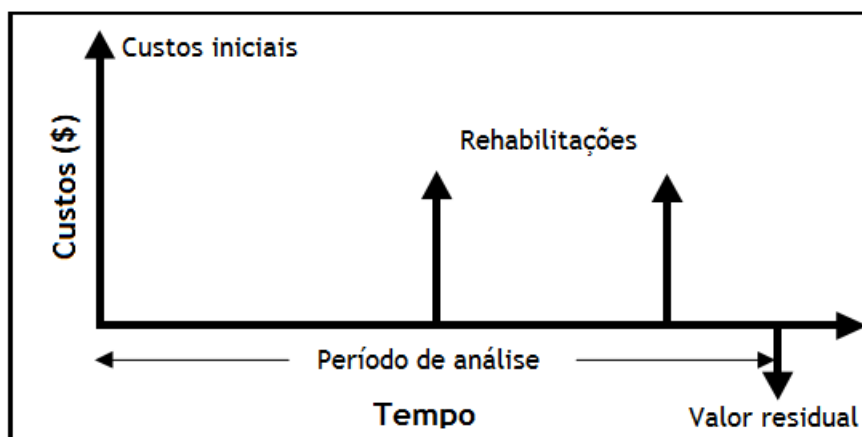


Figura 6 - Diagrama de fluxo de custos de ciclo de vida tipo para uma alternativa de pavimento. (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).

A metodologia de análise de custo de ciclo de vida proposta pelo FHWA apresenta uma formulação relativamente simples de aplicar e compreender, e os resultados que fornece são de extrema utilidade na tomada de decisão, porém, não é ainda uma ferramenta frequentemente utilizada em termos de projeto rodoviário, este facto deve-se essencialmente à incompreensão dos seus benefícios enquanto ferramenta de apoio a decisão de investimento. As entidades que escolhem a aplicação de uma análise de custo de ciclo de vida devem também conhecer algumas das suas particularidades, sendo as mais relevantes:

- Requisitos de informação - A ACCV é uma ferramenta que requer uma grande quantidade de informação, sendo que a qualidade desta informação é de extrema relevância, uma vez que condiciona os resultados da análise. As administrações rodoviárias recolhem vários tipos de informação ao longo dos anos, no entanto, a informação que a ACCV necessita (informação sobre manutenção a longo prazo) nem sempre está disponível, tornando-se necessário obter ou completar a informação existente recorrendo a várias fontes. A menos que uma determinada administração já tenha o seu processo de recolha e armazenamento de informação devidamente preparado para a aplicação de uma ACCV, o que é altamente improvável, é sempre necessário recorrer a múltiplas bases de dados, de diferentes entidades, para se conseguir reunir toda a informação necessária à aplicação de uma análise de custo de ciclo de vida.
- Incerteza e risco - A informação que suporta uma análise de custo de ciclo de vida tem sempre associado um certo grau de incerteza e risco. Esta incerteza e risco devem-se essencialmente ao facto de esta análise tratar de custos a longo prazo, e como todas as análises económicas a longo prazo, a previsão de custos a ocorrer no futuro vem sempre acompanhada de alguma incerteza e risco, uma vez que poderão sempre surgir imprevistos que alterem as premissas consideradas na análise. A incerteza e o risco representam uma particularidade porque o nível de confiança nos resultados analíticos obtidos é baseado na precisão e exatidão da informação utilizada na sua obtenção. O nível de confiança dos resultados pode sempre ser melhorado garantindo que a informação obtida é devidamente justificada, explicada e compreendida. Quanto maior for o grau de precisão da informação utilizada na análise, menor é o grau de incerteza que os resultados oferecem. É assim fundamental garantir que os técnicos que realizam a análise tenham um bom conhecimento de todas as ferramentas disponíveis para o estudo e avaliação da incerteza associada a determinado projeto, o que permite não só uma maior confiança nos resultados obtidos, como uma maior compreensão da análise de custo de ciclo de vida como uma ferramenta de rigor elevado e extremamente útil.
- Custos dos utentes - Os custos dos utentes representam o maior desafio em termos de informação na aplicação de uma análise de custo de ciclo de vida. Quando calculados, os custos dos utentes são geralmente tão elevados que podem exceder substancialmente os custos da administração, particularmente quando os projetos rodoviários visam áreas de alta densidade de tráfego. As administrações têm-se mostrado relutantes em relação à integração dos custos dos utentes na análise por várias razões, sendo que a que mais se destaca é a grande dificuldade sentida na determinação e estimativa destes custos. A maior dificuldade está relacionada com a avaliação do tempo de atraso, sendo extremamente difícil aplicar a este um custo, uma vez que não existe valor de mercado para este parâmetro, ainda assim, quando calculado, este valor é uma função das estatísticas oficiais sobre o salário médio,

remuneração base ou ganho médio mensal ou horário. O mesmo se verifica para os custos associados ao efeito das atividades de intervenção da administração nos custos dos acidentes assim como nos custos de operação de veículos, no entanto, vários estudos e abordagens ao cálculo destes valores têm vindo a ser desenvolvidos no estrangeiro e em Portugal (Em termos de custos de acidentes - (Anderson, 1999), (Morgado, et al., 2009), (Pigman, et al., 1988), (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2013), (U.S. ROADS Road Management & Engineering Journal, AASHTO, 1987), E metermos de custos de operação de veículos - (Santos, et al., 2012), (Santos, et al., 5 - 7th September 2012). Outro aspeto importante relacionado com os custos dos utentes é que estes não são contabilizados nos orçamentos das administrações rodoviárias. Ainda assim, uma análise de carácter mais rigoroso deve incorporar os custos dos utentes, ganhando especial significado quando calculados para as diferentes opções de intervenção de manutenção e reabilitação da infraestrutura em zonas de tráfego elevado.

Resumidamente, o processo de análise da ACCV inicia-se com a identificação e definição das alternativas de projeto que respeitam as características estruturais e funcionais pretendidas. Depois o analista define o calendário de atividades iniciais e futuras necessárias para cada alternativa concebida. De seguida, os custos destas atividades são estimados, incluindo não só os custos diretamente relacionados com as atividades realizadas pela administração (atividades de construção ou manutenção) mas também os custos que, durante a realização dessas atividades, são suportados pelos utentes. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)

No ponto seguinte são abordados as várias etapas que a metodologia de análise de custo de ciclo de vida compreende.

3.2. Metodologia de análise

3.2.1. Enquadramento

A metodologia de análise que se apresenta nos pontos seguintes é baseada na abordagem definida no documento “Life-Cycle Cost Analysis Primer” adotado no departamento de transportes americano (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office o Asset Management) e define a metodologia por eles aplicada na sua rede rodoviária.

Este documento representa uma diretiva seguida em mais de 40 estados e foi elaborado em 2002, no entanto desde os anos 1990 que o FHWA investiga a aplicação da ACCV, tendo começado em 1996 um projeto de demonstração, “Demonstration Project 115”, da aplicação da ACCV a pavimentos rodoviários.

Em 1998 o FHWA emite um boletim técnico, “Interin Technical Bulletin”, em ACCV denominado “Life Cycle Cost Analysis in Pavment Design”. O “Life-Cycle Cost Analysis Primer” foi criado para proporcionar conhecimento suficiente sobre a ACCV para a avaliação de alternativas de investimento numa infraestrutura. Adicionalmente, este “Primer” demonstra a importância da ACCV na tomada de decisões economicamente sólidas.

O FHWA explica, de forma simples, que a análise de custo de ciclo de vida representa uma ferramenta de suporte a uma escolha mais rigorosa no momento da tomada de decisão de investimento. Tem as suas bases fundamentadas em bons princípios de análise económica que tem sido utilizada para avaliar infraestruturas rodoviárias e outros investimentos públicos durante alguns anos, no entanto, a ACCV tem um maior foco no termo a longo prazo.

Nos EUA, o FHWA incentiva o uso da ACCV na tomada de decisões de investimento. De acordo com (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), trata-se de uma ferramenta analítica importante aplicável a uma ampla gama de decisões de rotina enfrentadas pelas administrações tanto estatais como locais, sendo apropriada a sua aplicação assim que seja tomada a decisão de realizar um projeto ou a melhoria duma infraestrutura, mas a abordagem específica para atingir o objetivo ainda não foi definida.

A metodologia abordada compreende genericamente cinco passos, sendo eles representados na Figura 7 e descritos pormenorizadamente nos pontos que se seguem.

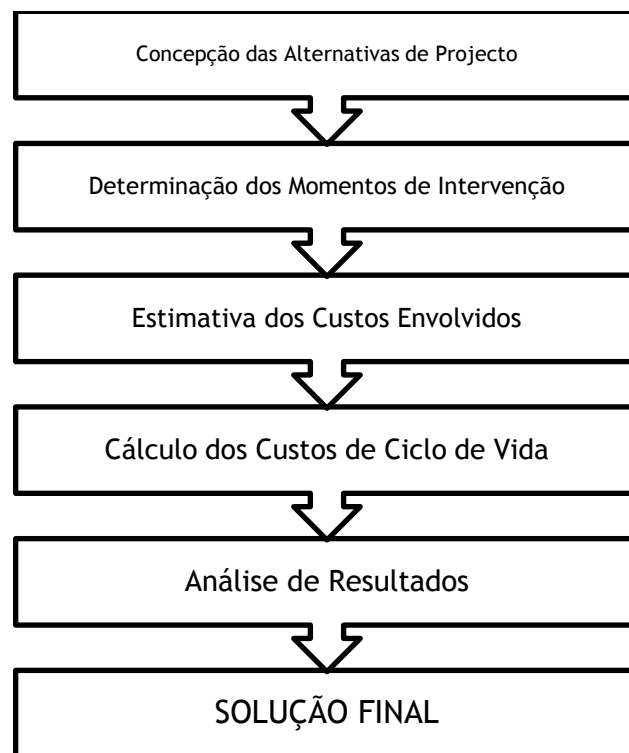


Figura 7 - Diagrama de fluxo da metodologia de ACCV adotada.

3.2.2. Passo 1: Conceção das alternativas de projeto

O processo do LCCA é iniciado após ter sido tomada a decisão de construir ou melhorar um determinado ativo, neste caso os pavimentos de uma determinada infraestrutura rodoviária. Devem ser consideradas pelo menos duas alternativas distintas.

Neste primeiro passo são definidas as atividades envolvidas em cada alternativa e o período de análise.

As várias alternativas de projeto concorrentes podem apresentar diferente vida útil, que é o período de tempo durante o qual aquele ativo vai estar disponível para o uso público. No entanto, as metodologias de ACCV adotam um período de tempo comum para as várias alternativas de forma a permitir avaliar a diferença de custos entre estas e a justa comparação dos resultados obtidos. Este período de tempo é designado como “período de análise”.

Na Figura 8 ilustra-se, a título de exemplo, que independentemente da duração da vida útil que cada alternativa oferece, o período de análise é igual para ambas. Esta diferente duração nos tempos de serviço influenciará depois o valor residual de cada alternativa.

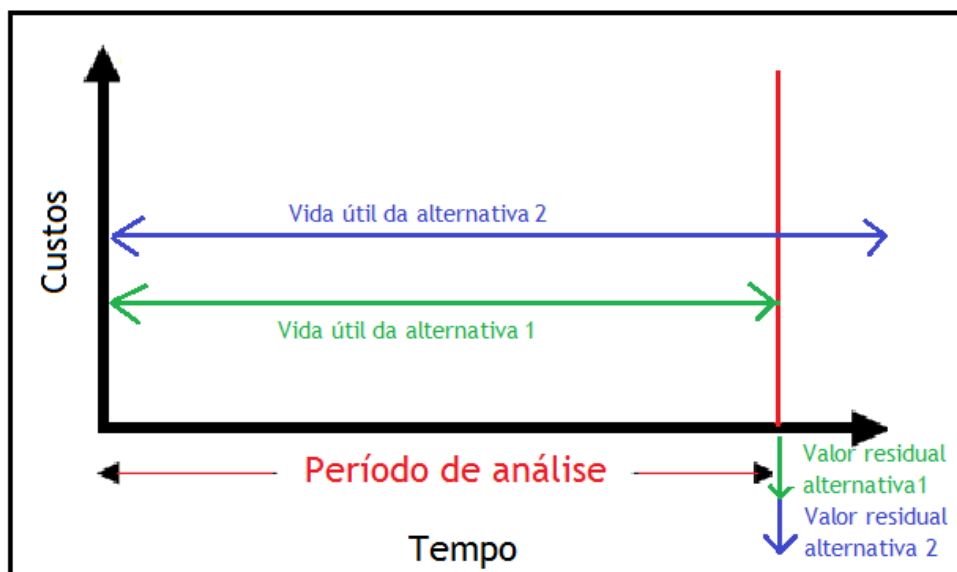


Figura 8 - Diagrama de fluxo considerando a duração das actividades das alternativas e a duração do período de análise.

O período de análise a adotar deve ser suficientemente longo para permitir demonstrar a diferença de custos totais entre alternativas, devendo incluir tanto os momentos da construção inicial como das ações de reabilitação maioritárias, garantindo sempre, pelo menos uma ação de reabilitação para cada alternativa. No entanto, as alternativas consideradas não precisam de ter o mesmo número de atividades de manutenção e reabilitação durante o período de análise.

Desta forma, é possível afirmar que as atividades a considerar na análise de ciclo de vida de pavimentos rodoviários são a construção inicial, as grandes intervenções de reabilitação e as atividades de manutenção necessárias à garantia de um determinado nível de serviço ao longo da sua vida útil. As várias alternativas de projeto podem apresentar diferentes atividades de manutenção e reabilitação de acordo com as práticas e políticas de cada administração rodoviária.

O principal objetivo deste primeiro passo é assim a definição do período de análise, ou seja, da linha de tempo comum a todas as alternativas, para a qual os custos iniciais e futuros serão avaliados. Em geral, o período do tempo a considerar deve ser suficientemente longo para incluir pelo menos uma grande intervenção de reabilitação, como ilustrado na Figura 9.

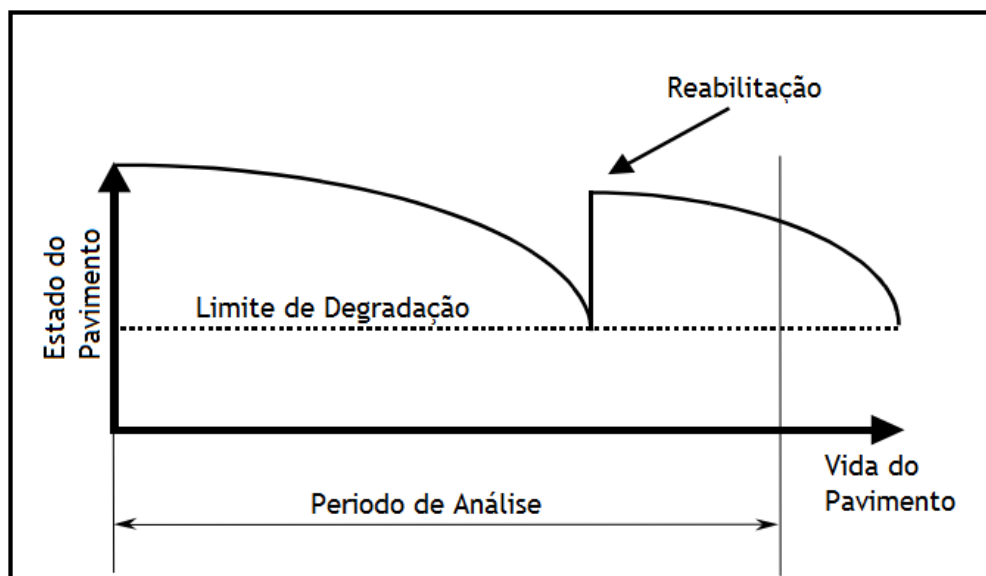


Figura 9 - Período de análise para uma alternativa de projeto. (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).

3.2.3. Passo 2: Determinação dos momentos de intervenção

Depois de determinadas todas as atividades envolvidas em cada alternativa de projeto concorrente, é definido o plano de intervenção das atividades de manutenção e reabilitação para cada alternativa. Efetivamente, este plano resulta num cronograma das atividades futuras, no qual é possível identificar os momentos em que a administração terá que dispor fundos, permitindo identificar quando e durante quanto tempo é necessário implementar zonas de intervenção (interferência com o normal funcionamento do trânsito).

Logo após a construção inicial, ou mesmo após a realização de grandes intervenções de reabilitação, os pavimentos rodoviários estão em boas condições e proporcionam o nível de serviço originalmente pretendido. O uso, o envelhecimento e o clima, constituem alguns dos fatores que provocam a degradação dos pavimentos, diminuindo progressivamente o nível de serviço.

Atividades de manutenção e reabilitação periódicas previnem e mantêm o nível de serviço pretendido, as condições de segurança e o desempenho do pavimento.

De acordo com o Federal Highway Administration (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), o ciclo de construção, degradação e reabilitação de um pavimento rodoviário pode ser representado como apresentado na Figura 9. À medida que o estado do pavimento se aproxima do limite máximo de degradação imposto pela administração rodoviária, são realizadas atividades de reabilitação.

O estado de degradação, influenciado pelas intervenções de manutenção efetuadas ao pavimento, dita o momento em que terão lugar as atividades futuras de reabilitação, ou seja, o intervalo de tempo até se verificar a necessidade de proceder a uma grande intervenção. A construção inicial é o ponto de partida do gráfico, correspondendo ao início do período de análise, aparecendo as ações futuras associadas aos anos para os quais foram previstas a sua realização.

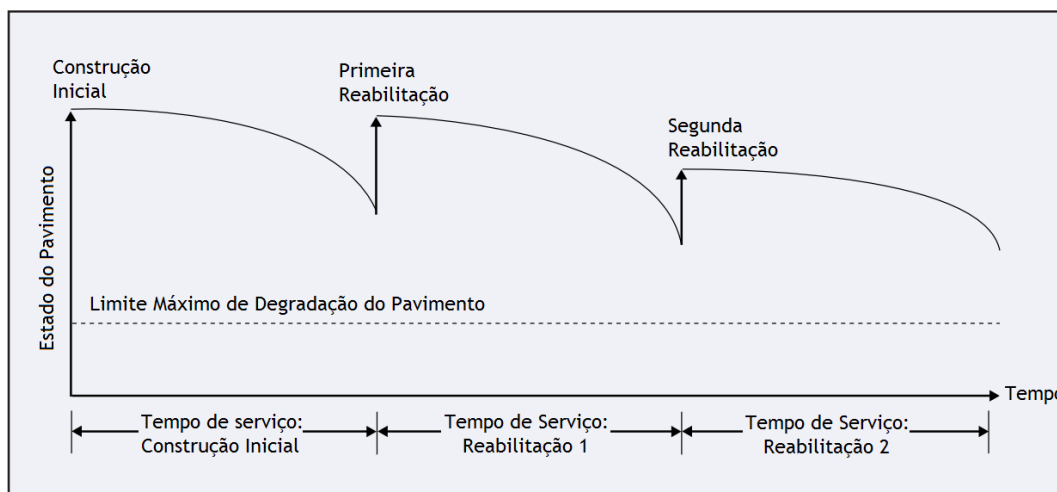


Figura 10 - Exemplo de cronograma de atividades para uma alternativa de projeto de um pavimento. (Adaptado de (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)).

A ACCV exige que as atividades de manutenção e reabilitação previstas para cada estratégia de intervenção sejam determinadas o mais precisa e rigorosamente possível devido ao elevado custo que estas representam e ao seu impacto no orçamento de ciclo de vida de um pavimento.

As datas das intervenções de reabilitação devem ser determinadas com base em informação já existente, proveniente de outras obras, e portanto disponível no sistema de gestão da administração rodoviária em causa. Quando não exista informação atualizada ou esta não seja aplicável ao caso em análise, a opinião de engenheiros experientes pode ser particularmente útil e determinante para a definição das datas de intervenção a considerar na análise.

3.2.4. Passo 3 - Estimativa dos custos envolvidos

Os custos considerados na ACCV incluem os custos suportados pelas administrações rodoviárias e pelos utentes das vias, resultantes das atividades de manutenção e reabilitação. A ACCV não exige que todos os custos associados a cada alternativa sejam calculados, apenas os custos que determinam as diferenças entre as alternativas devem ser explorados. Esta distinção revela-se muito importante, uma vez que permite simplificar os requisitos tanto analíticos como de informação. Por exemplo, no que diz respeito aos custos suportados pela administração rodoviária, os relacionados com as reabilitações devem ser incluídos na análise, no entanto, custos comuns a todas as alternativas, como custos com expropriações de terrenos, podem ser desprezados da análise.

No que toca aos custos dos utentes, embora possam diferir entre as alternativas ao longo do período de análise, as diferenças significativas e importantes a considerar no processo de ACCV são geralmente os associados às atividades da administração que requerem a delimitação de zonas de intervenção (de manutenção ou reabilitação), nas quais o tráfego fica condicionado, podendo aumentar o custo do tempo de viagem, entre outros. Por exemplo, os custos relacionados com a manutenção do automóvel podem ser desprezados da análise, uma vez que estes serão sensivelmente iguais para qualquer alternativa.

Assim, relativamente aos custos associados à gestão de pavimentos, como referido anteriormente, conclui-se que existem dois grupos: os custos suportados pela administração rodoviária e os custos suportados pelos utentes. Nos pontos que se seguem descrevem-se em pormenor os dois tipos de custos.

3.2.4.1. Custos suportados pela administração rodoviária

Os custos suportados pela administração rodoviária compreendem os custos relacionados com a construção inicial e com as atividades de manutenção periódica e de reabilitação dos pavimentos. Os custos de construção dizem respeito aos custos envolvidos para dotar a infraestrutura de condições de serviço.

Segundo (Branco, et al., 2011), os custos a considerar para a administração rodoviária, no âmbito da ACCV são:

- Custos de projeto

Estes envolvem todos os custos associados ao desenvolvimento do projeto, incluindo custos de obtenção de dados, tais como os referentes à caracterização do tráfego atual e futuro e, caso exista, à caracterização do pavimento existente. No conjunto dos custos considerados nas ACCV, esta será uma componente de peso relativamente pequeno.

- Custos de construção (custos iniciais)

Os custos de construção dizem respeito ao investimento inicial com a construção do novo pavimento. Quando a análise visa apenas a comparação de estratégias alternativas de conservação de pavimentos, em geral, não é necessário considerar esta componente de custos.

- Custos de conservação

Estes custos referem-se a todas as ações a implementar ao longo da vida do pavimento com o objetivo de mantê-lo acima de um determinado nível de qualidade ou limite de degradação. Estes custos incluem as atividades preventivas planeadas para prolongar a vida da infraestrutura, a manutenção de rotina que visa aspetos operacionais e de segurança e as atividades de reabilitação.

- Valor residual (custo negativo)

Outro valor considerado nos custos suportados pela administração é o valor do pavimento considerado na alternativa no fim do período de análise. Este custo pode ser determinado de duas formas, a primeira consiste em calcular o valor associado à reciclagem dos materiais do pavimento no final da sua vida útil. Outra forma de calcular este custo é atendendo ao seu valor do ponto de vista estrutural e funcional no fim do seu período de vida, este valor é determinado pela diferença entre o custo do pavimento inicial e o custo da reabilitação necessária para dotá-lo de características idênticas às iniciais.

3.2.4.2. Custos suportados pelos utentes

Os custos suportados pelos utentes que têm maior relevância para a aplicação do ACCV são os custos de operação dos veículos, os custos do tempo de percurso, os custos dos acidentes e os do desconforto. De acordo com (Santos, et al.) e (Branco, et al., 2011), os custos dos utentes definem-se da seguinte forma:

- Custo de operação dos veículos

Este custo traduz o custo associado aos gastos de combustível, pneus, óleo para o motor, manutenção e desvalorização dos veículos e é condicionado pelos seguintes fatores: tipo e estado de conservação do veículo, tipo e irregularidade da camada de desgaste, velocidade de circulação e características geométricas da estrada.

O tipo de camada de desgaste influencia a relevância da consideração deste custo na análise. Se a camada de desgaste é granular, o custo de operação varia para os diferentes tipos de veículos, sendo fundamental a sua consideração na análise económica. Para o caso de camadas de desgaste em mistura betuminosa ou hidráulica, o custo de operação dos

diferentes veículos apresenta uma variação muito reduzida, não sendo necessária a sua consideração na análise económica.

- Custo do tempo de percurso

O custo do tempo de percurso traduz, de forma simplificada, o valor do tempo que é basicamente uma função relativa ao valor do salário médio por unidade de tempo. Está diretamente relacionado com a velocidade de circulação dos veículos, que por sua vez depende das características geométricas da via, do tipo de veículo e do estado do pavimento. Esta componente dos custos dos utentes mostra-se extremamente relevante na comparação de diferentes estratégias, em particular quando se trata de vias com tráfego intenso. Estes custos podem ser muito elevados, dependendo da estratégia de conservação de cada alternativa, pelo que nestas situações devem ser considerados na análise e podem determinar a diferença nos custos globais para o utente.

- Custo dos acidentes

Neste grupo são contemplados os custos das vítimas de acidente rodoviário (mortais ou não mortais) e os custos dos danos materiais relacionados com a perda de produtividades, assistência médica, custos legais e de tribunais, custos dos serviços de emergência, seguros, atrasos no tráfego e danos de propriedade. Estes só são contabilizados na análise económica quando ocorrem em situações de alteração do normal funcionamento da via, ou seja, situações de intervenção para trabalhos de manutenção e/ou reabilitação.

- Custo do desconforto

É através da avaliação do conforto de circulação que a grande maioria dos utentes estabelece a sua classificação da via. No entanto, esta última componente dos custos dos utentes é de difícil determinação e por assim ser, na maioria dos casos não é introduzida na análise.

Estes custos são considerados na ACCV associados a duas situações distintas. A primeira, e mais relevante para a análise do custo de ciclo de vida, corresponde aos custos adicionais para os utentes devidos à ocorrência de trabalhos de manutenção e/ou reabilitação programados, que induzem essencialmente um custo adicional de operação dos veículos e do tempo de percurso. A segunda corresponde aos custos dos utentes relacionados com o normal funcionamento da infraestrutura.

Para o primeiro caso estes custos estão associados ao momento, duração, extensão, número e tipo de atividades de manutenção e/ou reabilitação a decorrer numa determinada zona de intervenção e para cada alternativa de projeto. Nas zonas de intervenção (*zonas de trabalhos*) o tráfego fica condicionado e a sua normal capacidade de funcionamento é

normalmente reduzida devido à necessidade de limitar a velocidade de circulação e à possibilidade de ocorrência de paragens e/ou desvios, o que induz atrasos no tráfego.

Na segunda situação, em que os custos dos utentes são considerados em condições de normal funcionamento da infraestrutura rodoviária, estes custos não são considerados para a análise por serem, em geral, iguais entre alternativas.

3.2.5. Passo 4: Cálculo dos custos do ciclo de vida

Neste ponto são apresentados um conjunto de aspetos a considerar na determinação do valor total dos custos do ciclo de vida para as alternativas de pavimento consideradas numa determinada análise. A obtenção destes custos totais permite que seja possível uma comparação objetiva entre as várias alternativas de projeto.

3.2.5.1. Métodos de avaliação económica

Para a determinação dos custos totais do ciclo de vida há que ter em atenção um fator de extrema relevância, o valor do dinheiro, já que uma determinada quantia de dinheiro não apresenta hoje o mesmo valor do que daqui a dez anos, por exemplo, verificando-se uma alteração do valor da moeda ao longo do tempo. Dinheiro gasto em diferentes momentos da análise apresenta diferentes valores relativamente à atualidade. Por este motivo, os custos previstos para cada alternativa não podem ser simplesmente somados, custos de atividades futuras têm que ser devidamente convertidos no valor da moeda atual e só depois somados.

Esta conversão é realizada através de métodos de avaliação económica disponíveis para converter os custos previstos para o futuro para o seu respetivo valor atual, isto para que os custos ao longo do ciclo de vida das diferentes alternativas possam ser diretamente comparados.

O valor do dinheiro é um dos factos mais relevantes para a correta compreensão e aplicação de uma análise de custo de ciclo de vida, uma vez que os custos incluídos neste tipo de análise ocorrem em diferentes momentos ao longo do tempo. Os diversos custos ocorridos nos diferentes momentos têm que ser convertidos para um mesmo momento, comum para todas as atividades de intervenção e para todas as alternativas. Esse momento é normalmente o ano base.

Para a realização desta conversão os métodos de avaliação económica mais utilizados em engenharia, como referido anteriormente, são:

- O método do valor atual;
- O método do custo anual uniforme equivalente.

O FHWA recomenda a utilização do método do valor atual. No entanto é também usado o método do custo anual uniforme equivalente. A adoção de qualquer um dos dois métodos é adequada a este tipo de análises, sendo a decisão de usar um ou outro da responsabilidade do analista. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)

3.2.5.1.1. *Método do valor atual*

O método do valor atual considera a determinação dos custos iniciais e futuros para um único momento no tempo, geralmente para o momento presente ou para a data ou momento da primeira despesa programada.

Para a aplicação deste método é necessário atender aos seguintes requisitos:

- Cálculo de todos os custos e benefícios previsíveis no período de análise (n), incluindo o valor residual;
- Cálculo da taxa de atualização (t);
- Avaliação do período de vida útil para as diferentes alternativas.

A taxa de atualização é o fator que permite a conversão dos custos futuros para o seu valor no ano base da análise.

O custo de oportunidade do capital pode ser traduzido pela “taxa de atualização” do dinheiro, t, a qual engloba, além do custo líquido do dinheiro (taxa de rendabilidade), a taxa de inflação. Alternativamente, pode ser utilizada a taxa do custo real do dinheiro, representada pela taxa de rendabilidade. Deste modo evita-se especular sobre a evolução das taxas de inflação. No entanto, em geral, nos métodos de avaliação económica é utilizada uma taxa de atualização, englobando o valor da inflação. Considerando uma taxa anual de atualização t, (1+t)€ ao fim de um ano equivalem a 1€ no início do ano, assim como, considerando t constante durante o período n, (1+t)ⁿ€ no fim do período de análise, equivalem a 1€ no início. (Branco, et al., 2011)

De acordo com (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), o valor da taxa de atualização a usar na análise de custo de ciclo de vida encontra-se entre 3% a 5%.

Também segundo (Walls, et al., 1998), o método do valor atual é o indicador económico de eleição e a fórmula de cálculo, simplificada, que permite determinar o valor atual líquido de qualquer custo futuro em relação ao ano base, é apresentada na equação (1).

$$\text{Valor Actual líquido} = \text{Custos iniciais} + \sum_{k=1}^n \text{Custos de Manutenção}_k \left[\frac{1}{(1+t)^{n_k}} \right] \quad (1)$$

Em que:

- $\frac{1}{(1+t)^{n_k}} \leq 1$ = Representa o fator do valor atual.
- t - taxa de atualização;
- n_k - número de anos decorridos até ao momento em que a despesa tem lugar (a contar desde o ano base).

Nesta formula são incluídos os custos dos utentes, da administração rodoviária, e o valor residual. Na primeira parcela “Custos iniciais” estão incluídos os custos da administração e dos utentes resultantes das zonas de trabalho no ano base, na segunda parcela “Custos de manutenção”, aquela que sofre a actualização através do factor do valor actual, estão incluídos os custos da administração resultantes das acções de manutenção e os custos dos utentes associados as “zonas de trabalho” dessas acções de manutenção assim como o valor residual do pavimento. O valor residual do pavimento também sofre actualização uma vez que ocorre no final do periodo de analise.

O valor residual é calculado, em geral, considerando apenas o efeito da ultima intervenção de reabilitação no pavimento, multiplicando o custo desta pela relação entre a restante duração do periodo de analise, a contar desde a ultima intervenção de reabilitação, e o numero de anos que essa actividade prolonga a vida util da estrutura. O calculo do valor residual é feito através da equação (2). (Walls, et al., 1998)

$$VR = C_i \times \frac{PR_i}{R_i} \quad (2)$$

Em que:

- VR - Valor Residual
- C_i - custo da ultima intervenção de reabilitação i
- PR_i - restante duração do periodo de analise, a contar desde a intervenção de reabilitação i
- R_i - duração da atividade de reabilitação

Para permitir uma melhor compreensão do funcionamento deste método e da aplicação da equação (1), apresenta-se de seguida um exemplo adaptado da mesma fonte.

Exemplo: Considere-se um periodo de análise de 35 anos no qual estão compreendidos os seguintes custos:

- custos iniciais administração (ano zero) - 1.1 milhões €
- custos dos utentes associados a “zona de trabalhos” inicial (ano zero) - 300 000€
- custos das intervenções de reabilitação (ano 15):
 - administração - 325 000€
 - utentes - 269 000€
- custos das intervenções de reabilitação (ano 30):

- administração - 325 000€
- utentes - 361 000€
- Valor residual (ano 35) = $\frac{10}{15} \times 325\ 000 = 217\ 000\text{€}$

O diagrama de fluxo dos custos do problema apresentado encontra-se na Figura 11.

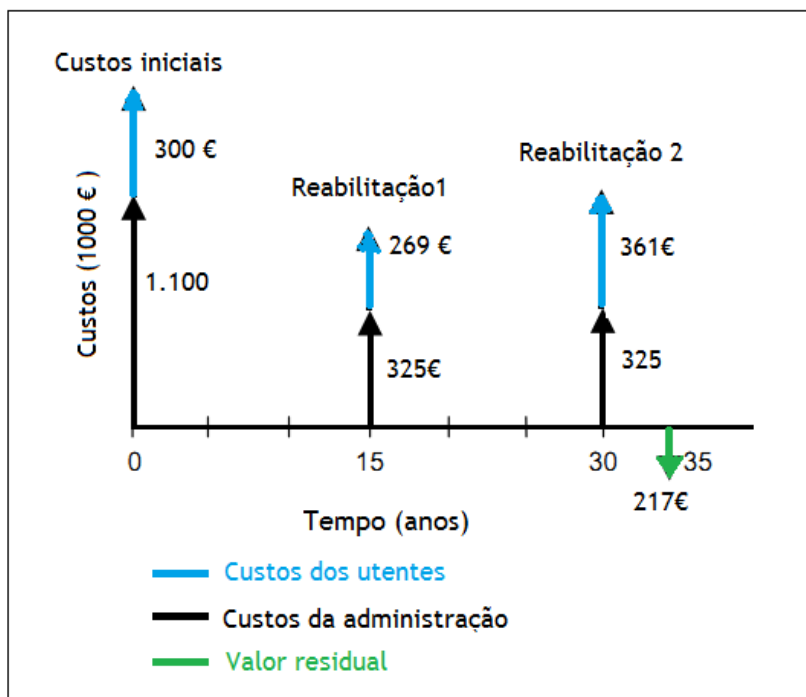


Figura 11 - Diagrama de Fluxo dos custos apresentados no problema exemplificativo. (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).

Admitindo uma taxa de actualização de 4%, calcula-se o factor do valor actual e posteriormente, calcula-se o valor actual líquido, multiplicando o custo previsto pelo factor do valor actual. Os valores obtidos apresentam-se na tabela 2.

Tabela 2 - Determinação do valor actual líquido para o problema exemplo. (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).

Descrição de cada componente	Ano	Custo (1000€)	Fator do valor actual	Valor actual liquido
Construção inicial	0	1000	1,000	1000
“Custos do utente associados a “zonas de trabalho” iniciais”	0	300	1,000	300
Reabilitação 1	15	325	0,555	180
Custos dos utentes devido as “zonas de trabalho” associadas a Reabilitação 1	15	269	0,555	149
Reabilitação 2	30	325	0,308	100
Custos dos utentes devido as “zonas de trabalho” associadas a Reabilitação 2	30	361	0,308	111
Valor residual	35	-217	0,253	-55
Valor actual liquido total (1000€)				1786

Os custos dos utentes em condições normais de funcionamento são normalmente semelhantes entre alternativas e por isso retirados da análise económica, no entanto, quando as condições de funcionamento são condicionadas devido a trabalhos na via, os custos adicionais dos utentes devem que ser considerados na análise.

Com o envelhecimento das redes rodoviárias, as administrações concentram-se cada vez mais na manutenção e preservação das infra-estruturas existentes. Independentemente de o objectivo ser reabilitar ou adicionar capacidade a determinado activo, as intervenções requerem a delimitação de “zonas de trabalho” para proteger tanto utentes como trabalhadores da construção civil. As “zonas de trabalho” implicam uma redução de capacidade de escoamento do tráfego e causam, por isso, custos adicionais para os utentes devido ao aumento do tempo de percurso, os custos de operação dos veículos também aumentam, e possivelmente o número e gravidade dos acidentes. Com a capacidade de transporte existente já tributada, as administrações precisam de se preocupar mais do que nunca sobre os efeitos das “zonas de trabalho” para os utentes. A metodologia da ACCV fornece uma estrutura para considerar uma solução de compromisso entre os custos dos utentes e os custos adicionais para a administração. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)

De acordo com (Santos, et al., 2013), a formulação base, sem distinção de classe de veículo, para a determinação dos custos dos utentes, para o cenário português, inclui os custos de operação dos veículos, de tempo de percurso, de acidentes e de portagens, e é traduzido pelas expressões de (3) a (7).

$$CUE = COV + CA + CTP + CPortagem \quad (3)$$

$$COV = TMDA \times \sum_{i=1}^4 (COV \times p_i) \quad (4)$$

$$CA = TMDA \times (\sum_{j=1}^3 CA_j + \sum_{k=1}^3 CV_k) \quad (5)$$

$$CTP = TMDA \times \sum_{i=1}^4 (CTP_i \times p_i) \quad (6)$$

$$CPortagem = TMDA \times \sum_{i=1}^4 cportagem_i \times p_i \quad (7)$$

Em que:

- CUE - custos dos utentes da estrada
- COV - Custos de operação do veículo
- CA - Custos dos acidentes
- CTP - custos do tempo de percurso
- CPortagem - custos das portagens
- VT - Valor do tempo de percurso

Considerando os efeitos das zonas de trabalho, a formulação base é completada como apresentado na expressão (8). (Santos, et al., 2013)

$$CUE_{total} = CUE \times L + CUE_{M\&R} \times L_{M\&R} + CUE_{PSI} \times L_{PSI} \quad (8)$$

Em que:

- $CUE_{M\&R}$ - Custo para o utente nos troços em obras $\left[\frac{\text{€}}{\text{km}} / \text{dia}\right]$
- $L_{M\&R}$ - Comprimento dos troços em obras [km]
- CUE_{PSI} - Custo adicional do utente da estrada devido ao estado dos pavimentos $\left[\frac{\text{€}}{\text{km}} / \text{dia}\right]$
- L_{PSI} - Extensão da rede com determinado valor de PSI [km]
- PSI - “*Present Serviceability Index*” - índice que representa o estado funcional dos pavimentos. Varia de 0 (pavimento muito degradado) a 5 (pavimento novo).

3.2.5.1.2. *Método do custo anual uniforme equivalente*

O método do custo anual uniforme equivalente considera custos anuais, para uma determinada alternativa, como se estes ocorressem uniformemente ao longo do período de análise. Como este método apresenta valores anuais, ele não enfatiza a diferença do valor total entre as alternativas como é o caso do método do valor atual. Contudo, o método do custo anual uniforme equivalente proporciona informação de como uma alternativa afeta os recursos da administração anualmente ao longo do período de análise, facto particularmente útil uma vez que o período de concessão de uma infraestrutura rodoviária é vinculativo ao longo de várias décadas.

3.2.5.2. *Abordagem determinística e probabilística*

Existem duas abordagens distintas para a realização da análise económica requerida para as ACCV: determinística e probabilística.

Com base no *Life-Cycle Cost Analysis Primer* (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), são descritas de seguida as características de cada uma das duas abordagens.

Uma abordagem determinística atribui, a cada uma das variáveis, um valor fixo discreto determinado pelo analista que avalia qual o valor mais provável de ocorrer para cada variável, com base em dados já disponíveis e julgamento profissional. Todos os valores introduzidos resultam numa estimativa de análise de custo de ciclo de vida. De acordo com o FHWA (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), a abordagem determinística é a tradicionalmente mais utilizada numa análise de custo de ciclo de vida. No entanto, esta abordagem não traduz o grau de incerteza associado à estimativa do valor atual. Torna-se assim necessário recorrer a uma análise de sensibilidade, o que se traduz numa sucessiva alteração dos valores das variáveis para diferentes cenários e à apresentação de um relatório onde se expõe o efeito que cada uma

das alterações provoca no resultado final do valor atual. Esta informação permite uma melhor compreensão da variabilidade associada a diferentes cenários, assim como facilita a identificação dos fatores e/ou cenários que requerem maiores cuidados ou que estão sujeitos a maiores riscos. Contudo, a análise determinística sensível não é adequada para uma alteração simultânea de múltiplas variáveis e não proporciona qualquer informação sobre a probabilidade de determinado valor considerado para uma variável ocorra. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)

A abordagem probabilística, embora proporcione uma maior quantidade de informação sobre a viabilidade económica de um projeto, não oferece um retrato completo do valor atual esperado, aspeto relevante no processo de tomada de decisão.

Por outro lado, a abordagem probabilística permite que o valor de cada variável seja definido por uma frequência de distribuição, ou seja, pela probabilidade de ocorrer. Para cada alternativa de projeto são identificadas as variáveis e para cada uma delas é desenvolvida uma amostra de distribuição dos valores possíveis. Programas de simulação atribuem aleatoriamente valores através da descrição probabilística de cada variável, usando estes valores para prever um único valor atual. Este processo de amostragem é repetido através de milhares de iterações, sendo gerada uma distribuição de probabilidade completa de todos os valores esperados para a alternativa de projeto, assim como uma distribuição de probabilidade do valor atual médio de cada alternativa. Depois de obtidas as distribuições de todas as alternativas de projeto, estas são comparadas entre si e a opção economicamente mais viável é determinada para um dado grau de risco.

A abordagem probabilística considera a incerteza e a variação individual de cada variável. Permite também o cálculo simultâneo de diversos cenários para muitas variáveis diferentes, e, ao contrário da abordagem determinística, permite ter informação sobre a probabilidade de um determinado custo previsto realmente acontecer. A aplicação deste tipo de abordagem em análises económicas é relativamente recente, tendo-se desenvolvido em grande parte graças à existência de meios informáticos que permitem que a análise seja realizada de forma simples, completa, rigorosa e rápida. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)

3.2.5.3. Diagramas de fluxo de despesas

Uma importante ferramenta de apoio à análise económica são os diagramas de fluxo de despesas referentes a cada alternativa. Estes diagramas permitem visualizar de forma simplificada a quantidade e o momento em que vão ocorrer os custos previstos ao longo do período de análise para cada alternativa. Um diagrama de fluxo de despesas retrata, para uma determinada alternativa de projeto, as atividades iniciais e futuras, os custos para a

administração e para os utentes associados a essas atividades e o momento em que essas atividades e custos vão ocorrer.

A Figura 12 apresenta um exemplo de diagrama de fluxo de despesas. No eixo vertical encontram-se representados os custos para a administração (linha contínua) e os custos suportados pelos utentes (linha interrompida). No eixo horizontal encontra-se representado o período de análise, onde figuram os vários momentos de intervenção ao longo desse período. O último custo apresentado no diagrama, o valor residual, é apresentado como um custo negativo.

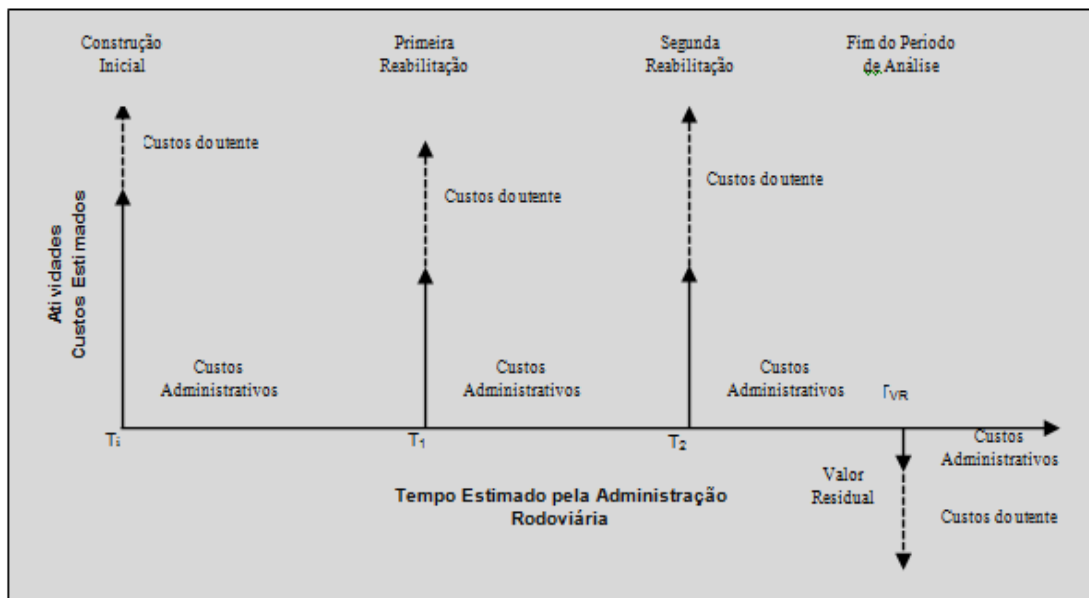


Figura 12 - Diagrama de fluxo de despesas, mostrando atividades, custos e momentos (adaptado por (Santos, et al., 2013) de (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002)).

3.2.6. Passo 5: Análise de resultados

Nesta fase são já conhecidos os resultados obtidos através da adoção de uma abordagem probabilística e/ou determinística para a ACCV. Da análise determinística resulta um único valor atual para cada alternativa, enquanto que da análise probabilística resulta uma gama de distribuição de valores atuais.

Como os resultados são apresentados de formas diferentes, dependendo da abordagem adotada, os métodos de comparação de resultados são também eles diferentes. Na abordagem determinística, a comparação é feita de forma simples entre as alternativas, procurando aquela que apresenta o menor valor atual. Por outro lado, sendo o resultado de uma abordagem probabilística uma gama de possíveis valores atuais e a respetiva probabilidade de ocorrência, a decisão é tomada com base no nível de risco que cada alternativa oferece.

CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO

4.1. Introdução

Tendo em conta os últimos números relativos ao tráfego nas autoestradas portuguesas, salienta-se a importância da realização da análise de custo de ciclo de vida neste momento, isto porque se verifica que na maioria das concessões não só o tráfego médio diário anual real é inferior ao previsto nos casos base, como se registou uma acentuada redução a partir de 2010. De acordo com a E.P. - Estradas de Portugal S.A. (2013), esta diferença encontra-se em média nos 60%, variando consoante a concessão, e esperando-se uma ligeira recuperação nos próximos anos. Ainda assim, esta recuperação encontra-se muito abaixo dos valores previstos. Considerando que a utilização por parte dos utentes é o fator determinante na definição dos momentos e custos das intervenções de manutenção, e sendo este valor muito abaixo do previsto, compreende-se que é necessário uma reavaliação do planeamento inicialmente feito para as previsões dos casos base.

De acordo com a mesma fonte “(...) a necessidade em realizar grandes reparações é muito mais dilatada no tempo, diluindo por prazos mais longos os respetivos custos, pelo que estes devem ser ajustados em conformidade.”

A justificada necessidade de ajustar os custos e prazos de intervenção pode ser satisfeita através da análise de custo de ciclo de vida, que aplicada corretamente permitirá encontrar as soluções mais eficazes para a situação atual.

Tendo em vista a aplicação da metodologia discutida nos capítulos anteriores, apresenta-se de seguida uma aplicação prática da análise de custo de ciclo de vida de um pavimento rodoviário. Esta análise será realizada mediante a utilização do programa informático “Realcost” desenvolvido pelo FHWA no âmbito da aplicação da ACCV (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2010).

Para a aplicação do programa foram definidas estratégias de manutenção de um pavimento já construído, com uma idade aproximada de 12 anos. Durante a definição destas estratégias teve-se sempre por base o cenário mais aproximado à realidade portuguesa, atendendo à informação disponibilizada pela agência concessionária Scutvias e pela administração rodoviária nacional E.P. - Estradas de Portugal, S.A..

Pretende-se, com a aplicação do programa, comparar as várias alternativas de manutenção definidas, fazendo variar os momentos e as frequências das intervenções, com vista à determinação da influência destes parâmetros nos custos da administração e nos custos dos utentes.

Nos pontos seguintes é realizada a caracterização do caso de estudo tendo em conta os parâmetros necessários à análise de custo de ciclo de vida, explicado o funcionamento do programa informático e justificados os dados utilizados.

4.2. Caracterização do caso de estudo

A análise de custo de ciclo de vida foi aplicada a uma extensão de 61 km da A23 - Autoestrada da Beira Interior. A extensão analisada está sob a responsabilidade da concessão “Scutvias - Auto-estradas da Beira Interior, S.A.” através de Contrato de Concessão entre o Estado Português e a Scutvias, tendo sido este celebrado em Setembro de 1999 e onde pode ver-se definido um prazo de concessão de 30 anos.

O projeto Scutvias apresenta duas fases distintas, sendo a primeira o Período Pré-operacional que decorreu desde o início da concessão até 31 de Dezembro de 2004, e o segundo, o Período Operacional que teve início em 1 de Janeiro de 2005 e irá estender-se até 2029, ano em que termina o contrato de concessão. A primeira fase corresponde assim ao período de investimento inicial, ou seja, à construção da infraestrutura propriamente dita, e a segunda fase, que correspondente ao período operacional, caracteriza-se pela entrada em funcionamento da infraestrutura, sendo nesta fase incluídas as atividades de operação e manutenção. A aplicação da análise de custo de ciclo de vida efetuada neste estudo incide sobre parte do período operacional da infraestrutura.

Dos 177,5 km totais da A23, a extensão em análise compreende cerca de 61 km localizados entre Castelo Branco Sul e Covilhã Norte, cujos lanços e sublanços se apresentam na Tabela 3.

Relativamente ao perfil transversal, esta extensão é composta por duas vias em cada sentido, cada uma com 3,75 metros de largura, separador central, e berma direita com 3 metros de largura.

Os pavimentos existentes na extensão estudada são do tipo flexível, construídos de novo no início da concessão, sendo por esta razão consideradas na análise apenas atividades de reforço da estrutura já existente, admitindo-se que em nenhum momento do seu ciclo de vida será necessária a substituição integral do pavimento.

Tendo em conta a informação disponibilizada pela concessionária Scutvias, S.A., e pela administração rodoviária nacional E.P., S.A., optou-se por efetuar uma abordagem determinística.

Uma vez que a análise de custo de ciclo de vida se destina a custos futuros, o período de análise considerado contempla o restante período de vida da infraestrutura, desde 2015 a 2029 inclusive.

Tabela 3 - Extensão da A23 em análise. (Adaptado de (Scutvias - Autoestradas da Beira Interior, S.A., 2011))

Laço	Sublaço	Extensão (km)
Gardete/Castelo Branco	Castelo Branco Sul - Hospital	5,7
	Hospital - Castelo Branco Norte	3,7
Castelo Branco - Alcaria	Castelo Branco Norte - Alcains	7,9
	Alcains - Lardosa	8,1
	Lardosa - Soalheira	4,7
	Soalheira - Castelo Novo	5,8
	Castelo Novo - Fundão	7,8
	Fundão - Alcaria	4,2
Alcaria - Belmonte (Teixoso)	Alcaria - Covilhã Sul	6,6
	Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8
Extensão total em análise (km)		61

4.3. Aplicação do programa “REALCOST”

O programa utilizado é composto por um conjunto de menus, sendo os primeiros pertencentes à categoria “Project-Level Inputs” relativos à introdução de dados do projeto e à determinação das características da análise pretendida, como se mostra na Figura 13.

Na segunda categoria de menus, “Alternative Level Inputs”, são introduzidos os dados relativos às alternativas de intervenção definidas. De uma forma genérica, são estas alternativas que o programa analisa e compara em termos de custos, mediante as condições de tráfego apresentadas. Na categoria “Simulation and Outputs” são apresentados os resultados da análise de acordo com o tipo de abordagem pretendida (determinística ou probabilística). O programa tem também um menu relativo a detecção de erros cometidos pelo utilizador na introdução de dados, “Input Warnings”.

A última categoria de menus, “Administrative Functions”, diz respeito a funções administrativas, como sendo guardar os dados ou sair do programa.

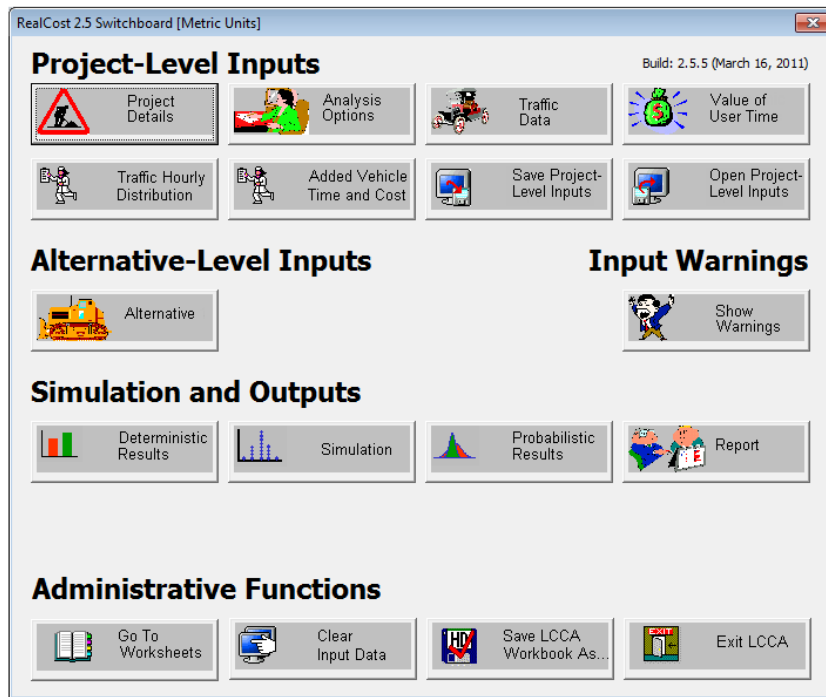


Figura 13 - Menus do Programa "Realcost".

4.3.1. Detalhes do projeto

A primeira fase da aplicação do programa consiste na introdução de dados gerais do projeto de análise de custo de ciclo de vida a iniciar. Como já referido no capítulo 4.2, será analisada uma extensão da A23 - Autoestrada da Beira Interior, cujos pontos quilométricos extremos, no sentido norte-sul são pk 175+275 e pk 114+200, perfazendo cerca de 60km de extensão. O menu inicial é apresentado na Figura 14, devidamente preenchido para o caso de estudo.

Figura 14 - Menu correspondente aos detalhes do projeto.

4.3.2. Opções da análise

- Custos dos utentes e valor residual

O programa oferece a opção de contabilizar ou não os custos relativos aos utentes e o valor residual, tanto para a administração como para os utentes. O valor residual para a administração corresponde, como anteriormente referido, ao valor do pavimento no final do período de análise, contabilizado como custo negativo, e pode ser determinado atendendo ou ao valor obtido pela reciclagem dos materiais que o constituem, ou do ponto de vista estrutural e funcional pelo valor da diferença entre o custo do pavimento inicial e o custo da reabilitação necessária para dota-lo de características idênticas às iniciais. O valor residual em termos de custo dos utentes é um novo custo introduzido nesta abordagem da metodologia, este compreende o benefício para os utentes no eventual caso de o pavimento continuar a poder ser utilizado após terminado o contrato de concessão. Exemplo desta situação é quando uma grande intervenção no pavimento é realizada pouco tempo antes de terminar a concessão, dotando o pavimento de boas características e aumentando o seu ciclo de vida de tal forma que os utentes possam continuar a usufruir dele.

Com vista à realização de uma análise mais rigorosa, os custos dos utentes, assim como o valor residual do pavimento para administração e para os utentes, serão contabilizados na análise.

- Unidades

O programa permite a introdução dos dados da análise no sistema de unidades métrico e no sistema de unidades inglês, tendo-se optado pelo sistema métrico, usado em Portugal.

- Número de alternativas

No que respeita às opções de manutenção do pavimento, serão consideradas 3 alternativas distintas que se apresentam detalhadamente mais a frente.

- Período de análise

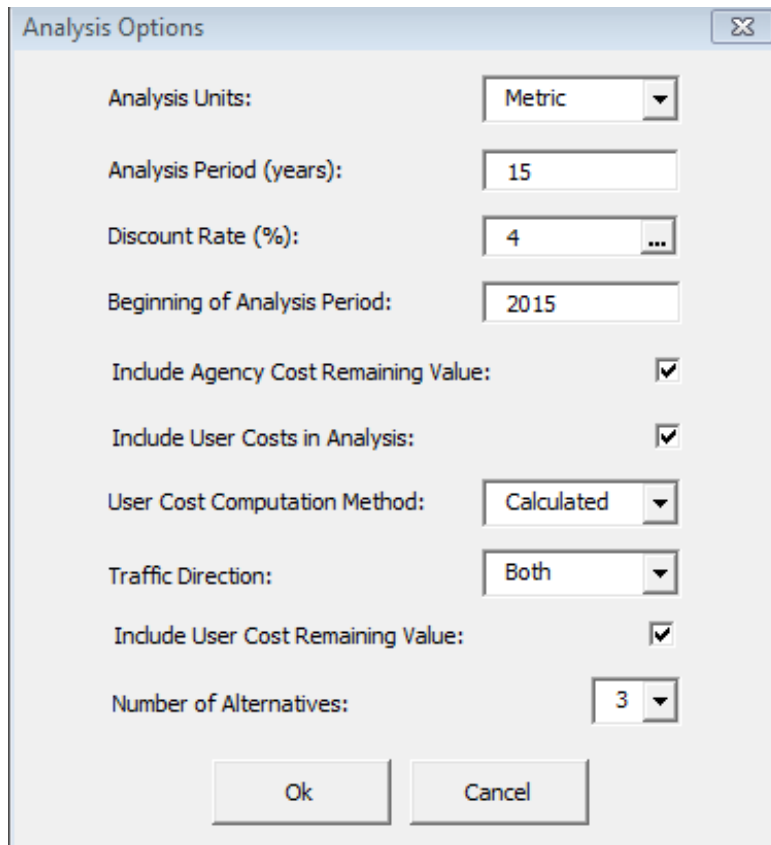
Sendo 2029 o último ano da concessão, e tendo em conta que a análise de custo de ciclo de vida que interessa realizar visa as necessidades de manutenção futuras, considerou-se um período de análise de 15 anos, compreendido entre 2015 a 2029 inclusive.

- Taxa de atualização

Tendo em conta os intervalos sugeridos no capítulo anterior (ver Cap. 3.2.5.1.1), optou-se por considerar uma taxa de atualização de 4%, respeitando as recomendações da entidade que

desenvolveu o programa (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002).

Os dados relativos às opções da análise são apresentados na Figura 15 tal como foram introduzidos no programa.



The image shows a dialog box titled "Analysis Options" with a close button in the top right corner. The settings are as follows:

Parameter	Value
Analysis Units:	Metric
Analysis Period (years):	15
Discount Rate (%):	4
Beginning of Analysis Period:	2015
Include Agency Cost Remaining Value:	<input checked="" type="checkbox"/>
Include User Costs in Analysis:	<input checked="" type="checkbox"/>
User Cost Computation Method:	Calculated
Traffic Direction:	Both
Include User Cost Remaining Value:	<input checked="" type="checkbox"/>
Number of Alternatives:	3

Buttons: Ok, Cancel

Figura 15 - Menu correspondente as opções da análise.

4.3.3. Dados do tráfego

Os dados relativos ao tráfego resultam da análise de informação relativa ao histórico de funcionamento da infraestrutura em análise.

- TMDA e repartição do tráfego

De acordo com a EP (2013), o TMDA real, atualmente, na Autoestrada da Beira Interior, é cerca de 70% inferior ao previsto para o caso base, estando os dados registados muito abaixo dos valores esperados. Como se pode ver na Figura 16, os valores de TMDA real estiveram sempre abaixo das previsões do caso base e a realidade contraria o crescimento inicialmente previsto, verificando-se mesmo um acentuado decréscimo a partir do ano de 2010, que se acentua ainda mais durante 2011, momento que coincide com a introdução de portagens reais na A23.

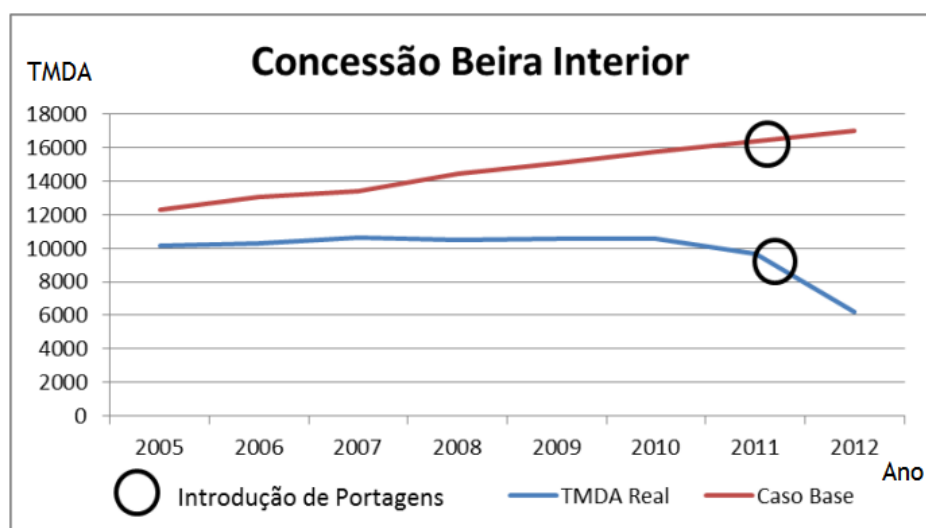


Figura 16 - Gráfico de comparação do TMDA real e do caso base na concessão da Beira Interior. (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013).

Na Tabela 4 apresentam-se os dados relativos à previsão do TMDA para o caso base e as previsões futuras de tráfego aproximadas à realidade.

As estimativas feitas para 2014 tiveram em conta o histórico verificado e o enquadramento económico-financeiro nacional (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013).

Tabela 4 - Previsões do TMDA para a concessão da Beira Interior (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013).

Ano	Previsões do Tráfego Médio Diário Anual	
	Caso base	Atualizadas
2014	18 276	5545
2015	18 882	5625
2016	19488	5707
2017	20 095	5789
2018	20 701	5874
2019	21 288	5968
2020	21 875	6082
2021	22 463	6199
2022	23 050	6318
2023	23 637	6439
2024	24 250	6562

Os valores apresentados na Tabela 4, relativamente ao tráfego médio diário anual dizem respeito a toda a extensão da A23, para os dois sentidos de circulação.

No Anexo 1 são apresentados os dados de tráfego relativos ao ano de 2010 para toda a extensão da concessão Scutvias, e os dados relativos apenas à extensão em análise.

Em 2010 o TMDA médio relativo a toda a extensão da A23 era de 10574 veículos, porém, o mesmo valor apenas para a extensão em estudo era de 11126 veículos. Para a análise em questão admite-se que a relação da variação de TMDA entre a extensão total e a extensão em análise se mantém constante ao longo dos anos. Assim sendo, o TMDA da extensão em análise a considerar, para o ano base de 2015, será determinado tendo em conta a razão entre TMDA's, como mostra a equação (12), sendo o valor de TMDA a assumir determinado através da equação (13):

$$10\ 574 \times x = 11\ 126 \leftrightarrow x = \frac{11\ 126}{10\ 574} \cong 1,0522 \quad (12)$$

$$\text{TMDA}^{(2015)} = 5625 \times 1,0522 \cong 5919 \quad (13)$$

Relativamente ao peso percentual que cada classe de veículo representa no valor total do tráfego médio diário anual, foram consideradas as percentagens determinadas apenas para a extensão em estudo (calculadas no Anexo 1), relativas ao ano de 2010 e apresentadas resumidamente na Tabela 5.

Tabela 5 - Peso de cada classe de veículo no TMDA, segundo cada direção.

Classe de Veículo	Peso de cada classe de veículo (% TMDA)		
	Norte - Sul	Sul - Norte	Total em ambos os sentidos
C - Motociclos	0.20	0.18	0.38
D - Automóveis	40.43	40.16	80.59
E - Ligeiros de Mercadorias	3.14	3.29	6.43
F - Camiões	1.14	1.05	2.19
G - Camiões com um ou mais reboques	0.33	0.24	0.57
H - Tratores com um ou mais reboques	5.00	4.03	9.03
I - Autocarros	0.39	0.39	0.78
J - Veículos especiais	0.03	0.01	0.04

Na Figura 17 apresenta-se graficamente os resultados obtidos a partir da Tabela 5, com os valores totais das percentagens do tráfego médio diário anual nos dois sentidos, arredondadas à unidade.

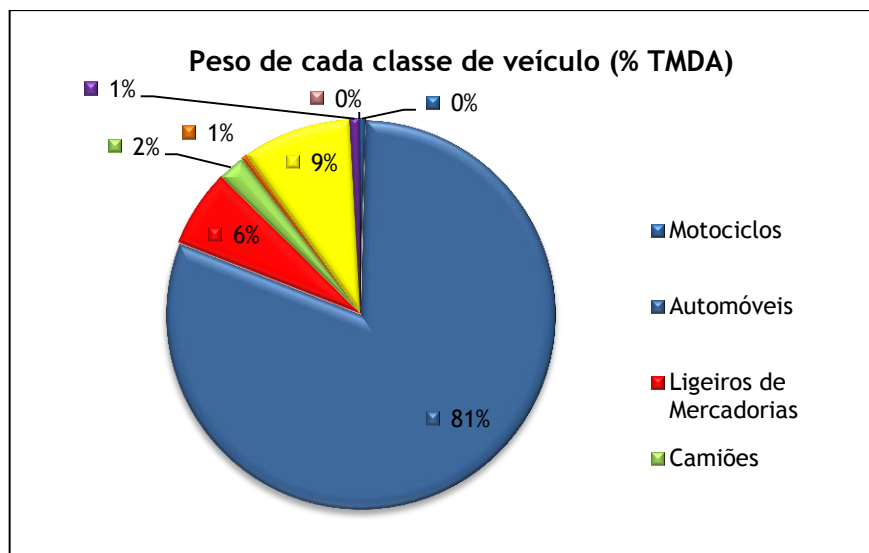


Figura 17 - Gráfico de distribuição percentual do TMDA de acordo com as classes de veículos.

- Taxa de Crescimento Anual do TMDA

Segundo as previsões da EP para o tráfego médio diário anual, entre 2014 e 2024 é esperado um crescimento de 1,7%, calculado de acordo com a equação (14) e com base nos valores apresentados na Tabela 4.

$$(TMDA)^n = (TMDA)^0 (1+t)^n \quad (14)$$

$$6562=5625 (1+t)^9 \leftrightarrow t = 1,7 \%$$

Considera-se que durante o período de análise em causa, 2015 a 2029, a taxa de crescimento anual do tráfego se mantém constante, assumindo o mesmo valor de 1,7% para as previsões atualizadas.

Na Figura 18 ilustra-se a evolução do TMDA admitindo um crescimento linear. Tendo em conta a evolução linear apresentada na Figura 18, os valores do TMDA para o intervalo de 2024 a 2029 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Previsões do TMDA considerando crescimento linear.

Ano	Previsões do Tráfego Médio Diário Anual	
	Previsões TMDA Caso base	Previsões TMDA Atualizadas
2025	24845	6621
2026	25440	6723
2027	26036	6825
2028	26631	6926
2029	27226	7028

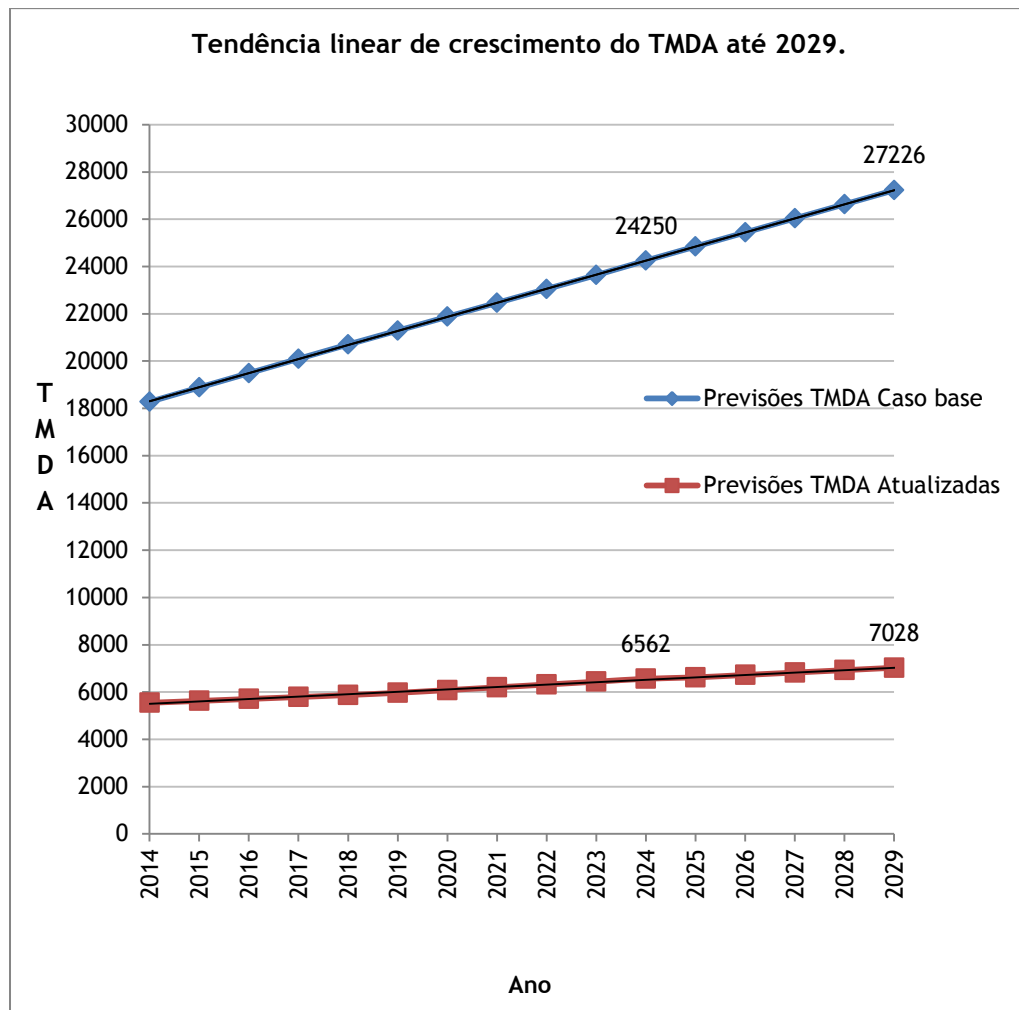


Figura 18 - Gráfico da tendência linear de crescimento do TMDA até 2029.

- Capacidade da estrada

A capacidade de uma autoestrada com velocidade de circulação de 120km/h, para as condições de base do tráfego e do traçado, é de 2400 veículos/h/via (Costa, et al., 2008) (HCM, 2010), no entanto este valor não contempla a presença de veículos pesados, entre outros.

O ajustamento da capacidade resultante da presença de veículos pesados é baseada no facto destes serem muito maiores do que os veículos de passageiros e como tal ocuparem mais espaço, para além de que, em rampas de inclinação acentuada e especialmente quando completamente carregados, estes veículos tornam-se extremamente lentos e difíceis de manobrar (Walls, et al., 1998).

Assim, por forma a obter um valor que compreendesse todas as condicionantes do presente caso de estudo, a capacidade foi calculada recorrendo à ferramenta de cálculo incorporada no programa, denominada “Free Flow Capacity Calculator”. A capacidade de dissipação é determinada tendo em conta as características de perfil das vias, tal como largura das vias,

largura das bermas, distância até ao separador, inclinação longitudinal da estrada e as percentagens de TMDA relativas a veículos pesados e autocarros já determinadas. Como já referido anteriormente, existem duas vias em funcionamento em cada sentido. A largura das vias é de 3,75 metros, das bermas direitas é de 3 metros e a distância ao separador é de 2 metros. A inclinação considerada foi de 2% uma vez que as rampas existentes na extensão em estudo são em número reduzido e dotadas de via adicional para lentos, não condicionando significativamente o normal funcionamento das restantes vias.

Com esta informação é assim calculada a capacidade de dissipação do tráfego em condições normais de funcionamento, o valor obtido é 1903 veículos por hora e por via (ver Figura 19).

A velocidade de circulação em condições normais de funcionamento foi considerada igual a 120 km/h.

Free Flow Capacity Calculation

Number of Lanes in Each Direction: 2

Lane Width (m): 3.75

Proportion of Trucks and Buses (%): 12.56

Upgrade (%): 2

Upgrade Length (km): 61,08

Obstruction on Two Sides:

Distance to Obstruction / Shoulder Width (m): 2

Calculate

Free Flow Capacity (vphpl): 1903

Copy to Free Flow Capacity Field Cancel

Figura 19 - Menu de Cálculo da capacidade de dissipação do tráfego.

- Capacidade de dissipação das filas de trânsito

Tendo em conta o sobredimensionamento da A23, facto justificado pelos valores de TMDA previstos serem largamente superiores aos reais, admite-se que não existe formação de filas e

assim a capacidade de dissipação das filas seria igual à capacidade de escoamento das vias em normal funcionamento.

No entanto, de acordo com o FHWA (Walls, et al., 1998), a capacidade de dissipação do tráfego em filas deve ser inferior à capacidade de dissipação em condições normais de funcionamento, mesmo quando as vias não estão interditas ao trânsito (por exemplo, em trabalhos na berma as vias não estão interrompidas mas existe condicionamento da velocidade de circulação), esta redução é em geral de 200 veículos por hora e por via.

A mesma fonte refere que em condições normais de funcionamento, para uma infraestrutura com 2 vias em cada sentido, a capacidade de dissipação do tráfego é de 2200 veículos por hora e por cada via, o que se assemelha aos resultados obtidos neste caso de estudo (ver figura 19), como tal, adotou-se a mesma variação para o caso português, o que resulta em 1703 veículos por hora e por via.

- Valor máximo de TMDA nas duas direções

Admite-se que o tráfego médio anual máximo em ambos os sentidos corresponde ao máximo valor previsto no caso base para o ano horizonte de 2029. Tendo em conta o crescimento considerado na Figura 18 para o caso base, o valor máximo do TMDA para toda a extensão da A23 é de 27226 veículos.

Aplicando o fator calculado anteriormente para converter o tráfego da extensão total para o tráfego da extensão em análise, tem-se um TMDA máximo de 28648 veículos.

- Máximo comprimento da fila


O máximo comprimento da fila é considerado na modelação dos efeitos dos desvios nos custos dos utentes. Estas filas dizem respeito, por exemplo, ao condicionamento do tráfego no acesso a zonas em obra. (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2010)

Embora se admita, pelo exposto nos pontos anteriores, que não há formação de fila, esta informação é necessária ao programa, como tal considerou-se que esta distância corresponde ao máximo comprimento entre sublanços, que no presente caso de estudo é de 8,1 km (Tabela 3).

A distribuição horária considerada é em meio rural.

Na Figura 20 apresenta-se o menu do programa relativo aos dados de tráfego necessários para realização da análise, devidamente preenchido.

Traffic Data Inputs

AADT at Beginning of Analysis Period (total both directions): 5919
 Single Unit Trucks as Percentage of AADT (%): 2.18
 Combination Trucks as Percentage of AADT (%): 9.6
 Annual Growth Rate of Traffic (%): 1.7 ...
 Speed Limit Under Normal Operating Conditions (kph): 120
 Lanes Open in Each Direction Under Normal Conditions: 2
 Free Flow Capacity (vphp): 1903 ...
 Free Flow Capacity Calculator 
 Queue Dissipation Capacity (vphp): 1703 ...
 Maximum AADT (total for both directions): 28648
 Maximum Queue Length (km): 8.1
 Rural or Urban Hourly Traffic Distribution: Rural

Ok Cancel

Figura 20 - Menu correspondente aos dados do tráfego.

4.3.4. Custos dos utentes - valor do tempo

No que respeita os custos dos utentes, interessa para a análise conhecer o custo relativo ao valor do tempo. O valor do tempo varia de acordo com a classe do veículo. Para a realização da ACCV considera-se a distinção entre veículos ligeiros e veículos pesados. Nos veículos ligeiros serão agrupadas as classes referentes a motociclos, automóveis e ligeiros de mercadorias, e todas as classes restantes são agrupadas nos veículos pesados (ver Tabela 5).

De acordo com (Santos, et al., 2012), no ano de 2010 o valor do tempo para veículos ligeiros era de 6,93€ e para veículos pesados de 9,61€.

A atualização destes valores foi realizada através da aplicação, ao valor base de 2010, da taxa de inflação nos anos que se seguiram. Os valores da taxa de inflação registados até 2013 são apresentados na Tabela 7.

As taxas de inflação relativas aos anos de 2014 e 2015 são valores previstos pelo Banco de Portugal e são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Valores registados da Taxa de Inflação (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2014).

Ano	Taxa de Inflação (%)
2011	3.73
2012	2.80
2013	0.25

Tabela 8 - Taxas de inflação previstas para 2014 e 2015 (Banco de Portugal, Eurosistema, Junho 2014).

Ano	Taxa de inflação prevista (%)
2014	0.20
2015	1.00

Tendo em conta os valores referentes às taxas de inflação apresentadas nas tabelas 7 e 8, determina-se o valor do tempo para o ano base de 2015, cujos resultados se apresentam na Tabela 9.

Tabela 9 - Previsão do valor do tempo de acordo com as taxas de inflação registadas e previstas.

Ano	Taxa de inflação (%)	Valor do tempo (€)	
		Ligeiros	Pesados
2010	-	6,93	9,61
2011	3.73	7.19	9.97
2012	2.80	7.39	10.25
2013	0.25	7.41	10.27
2014	0.20	7.42	10.29
2015	1.00	7.50	10.40

Na Figura 21 apresenta-se o menu correspondente aos dados relativos ao valor do tempo dos utentes.

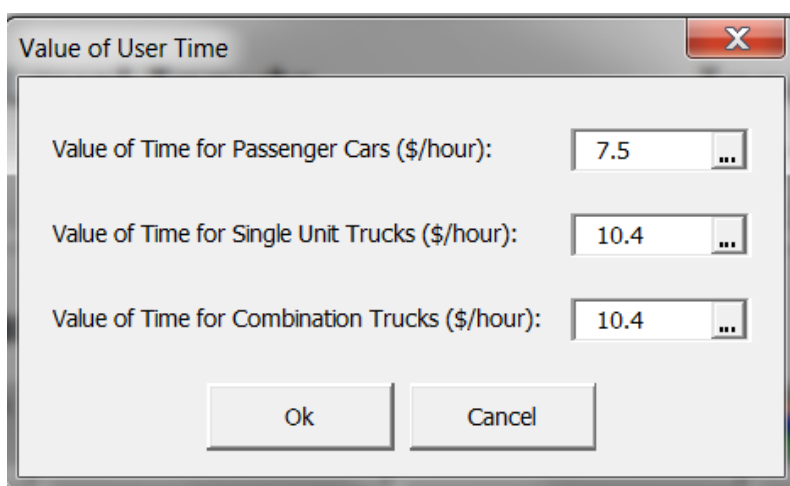


Figura 21 - Dados de preenchimento do menu relativo aos custos dos utentes.

4.3.5. Distribuição horária do tráfego

Foram considerados dados relativos à distribuição horária do tráfego correspondentes à semana representativa de ponta, neste caso a semana de Páscoa de 2014, para a qual a concessionária Scutvias disponibilizou informação. Destes dados foram selecionados dois dias, um correspondente a um dia de semana, e outro correspondente a um dia de fim de semana. A distribuição horária do tráfego para estes dias é apresentada nas Tabelas 10 e 11.

Para obter um valor aproximado da distribuição horária do tráfego por sentido, procedeu-se à soma dos valores de tráfego de cada lanço segundo cada sentido, disponibilizados pela concessionária Scutvias, S.A., determinou-se as percentagens totais, e as percentagens relativas a cada sentido. Considerou-se que a distribuição horária do tráfego se mantém constante ao longo do ano. Na análise foi considerada a distribuição horária do tráfego para o dia de semana representativo.

Tabela 10 - Distribuição horária do tráfego da concessão Scutvias segundo cada sentido, para o dia da semana representativo.

Dia Tipo 1 - Dia da Semana (16 Abril 2014)								
Hora	Norte - Sul		Sul - Norte		Total em ambos os sentidos	%	% Tráfego diário Norte-Sul	%Tráfego diário Sul-Norte
	ΣLigeiros	ΣPesados	ΣLigeiros	ΣPesados				
0-1	238	101	308	84	731	1,019	46,37	53,63
1-2	119	91	199	78	487	0,679	43,12	56,88
2-3	86	91	96	17	290	0,404	61,03	38,97
3-4	52	69	36	32	189	0,264	64,02	35,98
4-5	79	103	107	43	332	0,463	54,82	45,18
5-6	171	144	159	80	554	0,773	56,86	43,14
6-7	449	242	232	202	1125	1,569	61,42	38,58
7-8	995	265	804	244	2308	3,219	54,59	45,41
8-9	1914	322	1658	247	4141	5,775	54,00	46,00
9-10	2063	363	1961	196	4583	6,392	52,93	47,07
10-11	2012	318	2102	219	4651	6,487	50,10	49,90
11-12	2094	339	2071	185	4689	6,540	51,89	48,11
12-13	1887	321	2475	200	4883	6,810	45,22	54,78
13-14	1585	287	1883	203	3958	5,520	47,30	52,70
14-15	1899	287	2130	261	4577	6,383	47,76	52,24
15-16	2238	300	2137	211	4886	6,814	51,94	48,06
16-17	2122	354	2173	221	4870	6,792	50,84	49,16
17-18	2359	291	2568	280	5498	7,668	48,20	51,80
18-19	2516	286	2845	241	5888	8,212	47,59	52,41
19-20	1780	300	2358	256	4694	6,547	44,31	55,69
20-21	1176	153	1727	134	3190	4,449	41,66	58,34
21-22	748	77	1146	81	2052	2,862	40,20	59,80
22-23	563	155	845	58	1621	2,261	44,29	55,71
23-24	446	127	891	41	1505	2,099	38,07	61,93
Totais	29591	5386	32911	3814	71702	100,00	48,78	51,22

Tabela 11 - Distribuição horaria do tráfego segundo cada sentido, para o dia representativo de fim de semana.

Dia tipo 2 - Dia de Fim de Semana (20 de Abril de 2014)								
Hora	Norte - Sul		Sul - Norte		Total em ambos os sentidos	%	% Tráfego diário Norte-Sul	%Tráfego diário Sul-Norte
	ΣLigeiros	ΣPesados	ΣLigeiros	ΣPesados				
0-1	362	45	473	44	924	0,91	44,05	55,95
1-2	184	30	225	40	479	0,47	44,68	55,32
2-3	119	65	211	8	403	0,40	45,66	54,34
3-4	101	68	158	65	392	0,39	43,11	56,89
4-5	114	49	115	53	331	0,33	49,24	50,76
5-6	149	92	118	9	368	0,36	65,49	34,51
6-7	262	58	187	8	515	0,51	62,14	37,86
7-8	278	82	277	7	644	0,63	55,90	44,10
8-9	649	136	533	30	1348	1,33	58,23	41,77
9-10	1096	61	875	50	2082	2,05	55,57	44,43
10-11	2081	66	1729	107	3983	3,92	53,90	46,10
11-12	2892	79	2628	119	5718	5,62	51,96	48,04
12-13	2837	67	2907	93	5904	5,81	49,19	50,81
13-14	2439	73	2305	61	4878	4,80	51,50	48,50
14-15	4206	61	1600	54	5921	5,82	72,07	27,93
15-16	8384	106	2137	58	10685	10,51	79,46	20,54
16-17	9593	125	2734	114	12566	12,36	77,34	22,66
17-18	9175	103	2998	108	12384	12,18	74,92	25,08
18-19	6960	101	2477	118	9656	9,50	73,13	26,87
19-20	4495	88	2389	185	7157	7,04	64,04	35,96
20-21	3187	71	1506	178	4942	4,86	65,92	34,08
21-22	2894	64	1207	201	4366	4,29	67,75	32,25
22-23	2353	66	1029	110	3558	3,50	67,99	32,01
23-24	1294	60	990	132	2476	2,44	54,68	45,32
Totais	66104	1816	31808	1952	101680	100,00	66,80	33,20

4.3.6. Custos relativos a atrasos e paragens dos veículos

De acordo com o ponto 3 do Artigo 8.º do decreto-lei nº24/2007 de 18 de Julho, relativo a condições mínimas de circulação nos troços em obras, “o limite máximo da velocidade no troço em obras não pode ser inferior a um terço do fixado para o troço em funcionamento” (Lei n.º24/2007 de 18 de Julho). Assim para o caso português, de acordo com o exposto no Artigo 8.º, não é permitido paragens, existindo mesmo uma velocidade de circulação mínima, o que implica que não sejam considerados na análise custos relativos a paragens. Os custos relativos a atrasos, devido à redução da velocidade de circulação em troços em obra, são calculados a partir da velocidade de circulação fixada para as zonas em obras, dos valores do tempo para cada classe de veículo, e da distribuição horária do tráfego.

É de referir que este ponto está de acordo com o pressuposto atrás mencionado de que não há formação de filas, assim, mesmo adotando custos para este cenário, como por exemplo, os

custos padrão apresentados na folha de cálculo do programa, eles não vão influenciar a análise, uma vez que só são considerados quando há formação de filas com paragens.

4.3.7. Definição das alternativas de projeto

De acordo com o Michigan Department Of Transportation (Galehouse, 2002), uma estratégia preventiva satisfaz as condições de segurança e conforto, mantendo os pavimentos em bom estado de conservação. Segundo a mesma fonte, a melhor estratégia combina intervenções a longo prazo (reconstrução), intervenções a médio prazo (reabilitação) e intervenções a curto prazo (manutenção corrente), sendo que cada uma destas intervenções, a ter lugar em diferentes momentos do ciclo de vida do pavimento, têm um papel essencial no melhoramento das futuras condições do pavimento. Uma intervenção de reconstrução (manutenção a longo prazo) implica a completa substituição do pavimento existente por um novo, esta intervenção prolonga a vida da estrutura por um período nunca inferior a 20 anos (Galehouse, 2002).

Na Figura 22 apresenta-se um exemplo da evolução do estado de conservação da uma rede rodoviária considerando apenas intervenções de reconstrução a longo prazo.

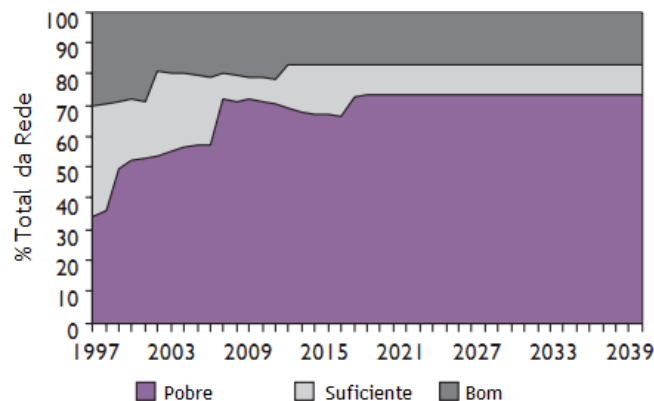


Figura 22 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan sofrendo apenas intervenções de reconstrução para um período de 40 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).

Intervenções de reabilitação, ou manutenção a médio prazo, têm como características a melhoria nas condições estruturais do pavimento, aumentado a capacidade de carga do mesmo e prolongando a sua vida útil, estas intervenções são projetadas para uma duração entre 10 a 20 anos (Galehouse, 2002).

Na Figura 23 apresenta-se um exemplo da evolução do estado de conservação da uma rede rodoviária considerando uma combinação de intervenções a médio e a longo prazo. Nesta figura é possível observar melhorias na medida em que a percentagem de pavimentos classificados no nível de qualidade mais baixo, “Pobre”, diminui ligeiramente em relação ao apresentado na Figura 22, que apenas contempla intervenções a longo prazo.

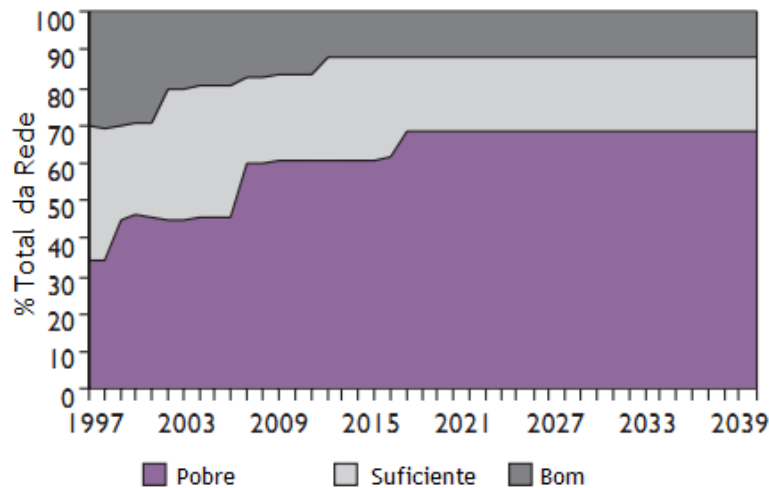


Figura 23 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan combinando programas de reconstrução e reabilitação, com intervenções entre 10 a 30 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).

A manutenção corrente ou de rotina consiste na aplicação de tratamentos de baixo custo por forma a retardar a degradação do pavimento, corrigindo pequenas deficiências antes que estas se tornem degradações mais profundas, mantendo ou melhorando as suas condições funcionais. Este tipo de manutenção tem uma duração média entre 5 a 10 anos. A manutenção corrente aplicada no momento certo - quando o pavimento ainda se encontra maioritariamente em boas condições - proporciona melhorias significativas a um baixo custo (Galehouse, 2002).

Na Figura 24 apresenta-se a evolução do estado de conservação para o mesmo exemplo de uma rede rodoviária considerando uma combinação de intervenções correntes, a médio e a longo prazo. Nesta figura, é possível observar que a combinação dos três tipos de intervenção proporciona pavimentos de maior qualidade em toda a rede rodoviária.

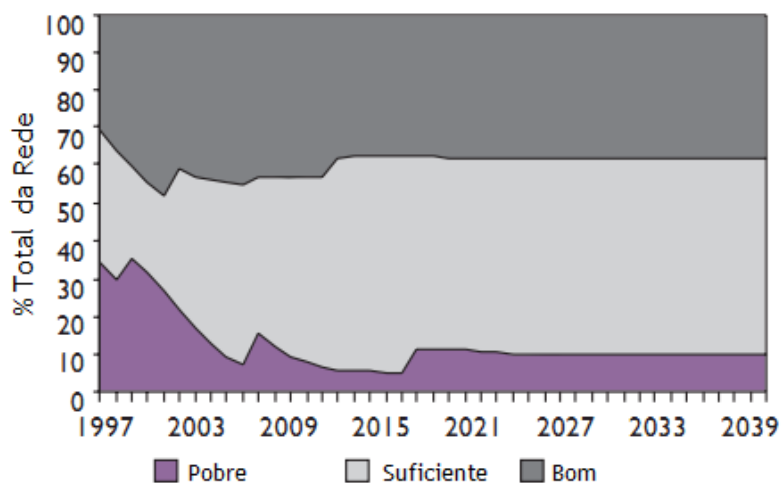


Figura 24 - Previsão da qualidade dos pavimentos da rede de autoestradas no estado do Michigan combinando programas de reconstrução, reabilitação e prevenção, com intervenções entre 5 a 30 anos (Adaptado de (Galehouse, 2002)).

Observando os gráficos apresentados nas figuras 22, 23 e 24, é possível verificar que no último, a percentagem de rede com classificação de “Pobre” é muito reduzida quando comparada com o primeiro ou segundo, sendo evidente que a combinação dos três tipos de manutenção é a estratégia mais eficaz e a que permite melhor qualidade dos pavimentos.

Em Portugal, as intervenções são classificadas pela EP, como apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Definição das intervenções (Adaptado de (Tavares, 2013) e (Fonseca, 2013) citando (E.P. - Estradas de Portugal, S.A., 2010)).

Tipo de conservação	Duração (anos)	Nomenclatura da intervenção	Intervenção	Atividades/Trabalhos
Conservação Periódica	≥20	Requalificação	Duplicação Alargamentos Retificações	Além de atividades de reabilitação, contempla trabalhos de aumento de capacidade e melhorias de traçado, exigindo a construção de novos pavimentos (até 25% da extensão).
	10 -20	Reabilitação	Reabilitação estrutural/funcional	Reforços estruturais ou aplicação de camadas de regularização com a finalidade de restabelecer a capacidade estrutural do pavimento ou as características superficiais dos pavimentos, dos órgãos de drenagem e dos equipamentos de segurança e de sinalização.
Conservação corrente	5 - 10	Beneficiação	Tratamento superficial (Conservação Preventiva)	Atividades de melhoria das condições superficiais com vista a preservação da integridade estrutural e da qualidade funcional (revestimento superficial, micro-aglomerado betuminoso, microbetão betuminoso).
			Saneamentos Fresagens Estabilização de taludes (Conservação curativa)	Trabalhos dirigidos às degradações localizadas (obras individualizadas)
	1 - 5	Conservação corrente por contrato	Conservação corrente	Atividades de conservação de modo a evitar a degradação das condições de serviço, realizando intervenções diversas na estrada e zona adjacente, das quais se destacam a sua limpeza e a dos órgãos de drenagem, a selagem de fendas, a tapagem de covas, a ceifa de vegetação e a poda de árvores.

No presente caso de estudo, as alternativas de manutenção previstas para o pavimento existente terão uma vida útil máxima de 15 anos, uma vez que o pavimento existente, construído de novo na fase pré-operacional da concessão, tem uma idade de cerca de 9 anos e que este período corresponde ao término do contrato de concessão da infraestrutura. Fica assim excluída da análise uma manutenção a longo prazo, uma vez que esta ultrapassaria o contrato de concessão da A23. Tendo em conta a informação apresentada, tanto em termos de período de análise como de garantia de melhores condições de pavimento, definiu-se que as estratégias a seguir compreenderiam uma combinação de manutenção corrente e de manutenção a médio prazo.

Uma das alternativas de manutenção a considerar seria o cenário “sem intervenções”, ou seja, admitindo que nos próximos 15 anos do ciclo de vida do pavimento não seria realizada qualquer ação de manutenção no pavimento existente, no entanto, o programa “Realcost” não permite a simulação deste cenário, pelo que esta opção não foi analisada.

Definiram-se 3 opções de intervenção com diferentes atividades e diferentes momentos de intervenção.

Admitiu-se para a definição das estratégias de manutenção que o pavimento tem histórico, ou seja, que existiram outras ações de manutenção e conservação antes do ano zero da análise, 2015, e que as alternativas propostas seriam para por em prática a partir desse mesmo ano, quando o pavimento atinge determinado grau de conservação.

De acordo com a concessionária Scutvias, a auscultação do estado de conservação dos pavimentos é feita todos os anos e em função dos resultados obtidos são ajustados os programas de conservação, já que identificam as zonas mais degradadas. É ainda indicado que toda a extensão da A23 sofre, num período de 15 anos, algum tipo de intervenção de manutenção na via da direita, sendo esta a mais solicitada, pois é onde circulam os pesados, considerando um ciclo de vida dos pavimentos de 15 anos.

Já a administração rodoviária nacional, E.P., S.A., refere que para a rede sob a sua gestão direta, com cerca de 14 000 km, a manutenção periódica é feita em cerca de 150 km por ano, e a manutenção corrente em 500 km por ano, o que equivale, respetivamente, a 1% e 3,6% da extensão intervencionadas anualmente. Isto representa que toda a extensão seria intervencionada com algum tipo de manutenção em 22 anos.

Tendo por base a informação disponibilizada por ambas as entidades, considerou-se como cenário, para um período de análise de 15 anos, as seguintes extensões de intervenção, relativamente a todas as vias, em ambos os sentidos:

- 1/3 da extensão total em análise é alvo de manutenção periódica;
- 2/3 da extensão total em análise é alvo de manutenção corrente.

Assim sendo, a extensão em análise compreende 4 vias de circulação com 61 km, o que perfaz um total de 244 km a intervir, dos quais 81 km serão alvo de manutenção periódica e 163 km serão alvo de manutenção corrente.

Para a definição das atividades das alternativas consideradas assumiu-se que ocorre degradação do pavimento apenas ao nível da camada de desgaste, sendo esta intervencionada assim que identificado o seu estado deficiente de qualidade. Não se considera reforço uma vez que, como já referido atrás, segundo a E.P. (2013), o tráfego diminui, apresenta um crescimento muito baixo, e a tendência aponta para um cenário semelhante no futuro (ver Figura 18).

Considerou-se, neste caso de estudo, que todas as intervenções de manutenção ocorrem durante o período noturno, o que de acordo com o Artigo 8.º do decreto-lei nº24/2007 de 18 de Julho, relativo a condições mínimas de circulação nos troços em obras, determina que a velocidade não pode ser inferior a um terço da velocidade de circulação em condições normais de funcionamento e que os trabalhos inerentes a manutenção e pavimentação, que requerem o encerramento de uma via ao tráfego, devem ocorrer entre as 21h00 e as 07h00. No ponto 4.º do mesmo artigo acrescenta-se ainda que a extensão dos constrangimentos dos troços em obras não pode exceder os 3,5 quilómetros.

No que respeita ao comprimento das zonas de trabalho, este valor compreende não só a extensão da intervenção, mas também a distância ocupada pela sinalização temporária. De acordo com a distância de sinalização recomendada no Manual de Sinalização Temporária da J.A.E. (J.A.E - Junta Autónoma da Estradas, 1997), para estradas com duas vias em cada sentido, com constrangimento na via da direita ou da esquerda, o comprimento da zona de trabalhos a considerar é determinado como se mostra na Figura 25.

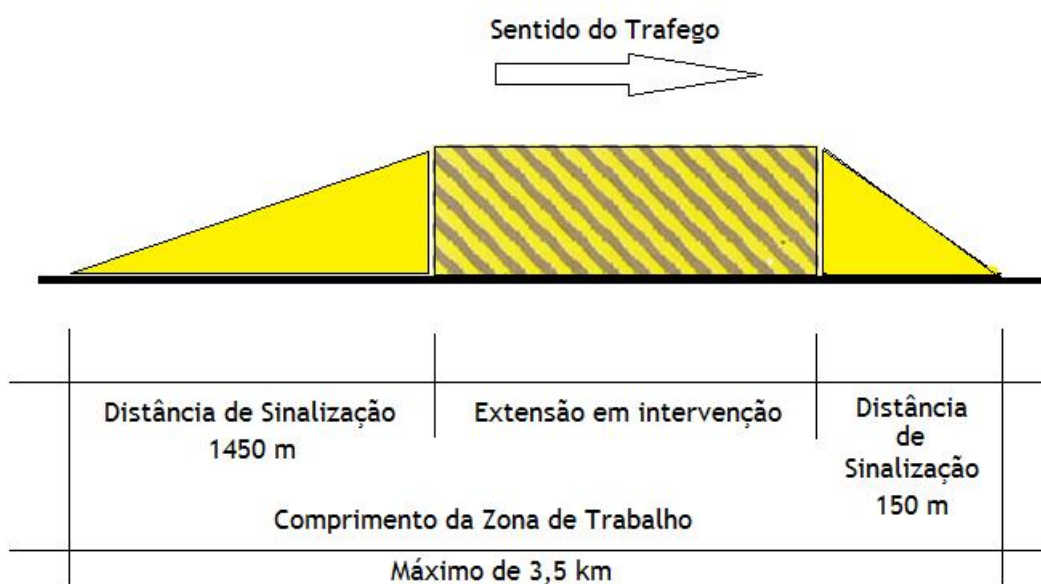


Figura 25 - Definição do comprimento da "zona de trabalho" em planta.

Para as intervenções consideradas nas alternativas, admitiu-se que será sempre necessário encerrar uma via ao trânsito, e por isso foi necessário determinar a capacidade de dissipação do tráfego associada à zona de trabalhos. De acordo o FHWA (Walls, et al., 1998), foram realizados vários estudos para determinar estes valores, assim, dependendo do grau de confiança pretendido, os valores de capacidade da zona de trabalhos são dados pelo gráfico apresentado na Figura 26.

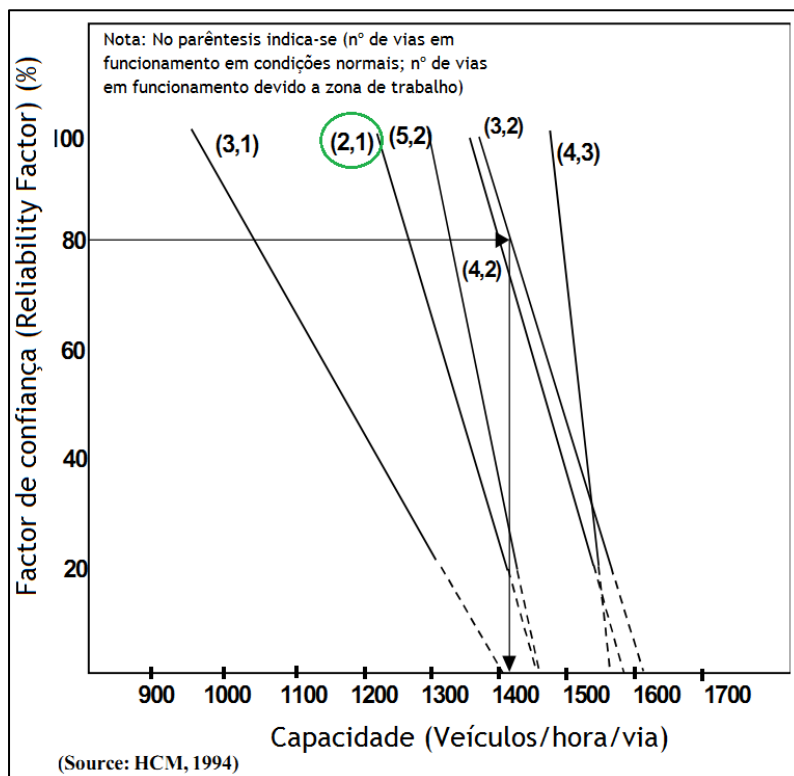


Figura 26 - Distribuição cumulativa de capacidades observadas em zonas de trabalhos (Adaptado de (Walls, et al., 1998)).

O presente caso de estudo contempla a situação assinalada a verde, com duas vias abertas em condições normais de funcionamento num sentido e uma via aberta em condições de existência de zona de trabalhos no sentido contrário. Assim, considerando um grau de confiança de 80%, tem-se uma capacidade na zona de trabalhos de 1340 veículos por hora e por via.

Relativamente aos custos, foram consultadas duas entidades, a concessionária Scutvias e a E.P.. Os valores divulgados pelas duas entidades são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Custos de manutenção de acordo com a EP e a Scutvias.

	Scutvias	E.P.
Manutenção corrente	25 €/m ² (Valor indicado aos bancos)	2500 €/km/ano
Reabilitação do pavimento - Fresagem 5cm+nova camada de desgaste (tradicional) com 5cm	Total=93750€/km/via	25 500 €/km/via

Apresentam-se, de forma resumida, as características adotadas para cada alternativa na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo das características das alternativas adotadas.

Alternativa	Conservação periódica e preventiva				Manutenção corrente (km)
	Atividade	Extensão intervencionada (km)	Duração (anos)		
			Funcional (intervalo até à atividade seguinte)	Estrutural	
1	1 - Reabilitação	81 (ano 0)	15	15	163 (ao longo de 15 anos)
2	1 - Reabilitação	40,5 (ano 0)	8	15	163 (ao longo de 15 anos) + 40,5 (ao longo dos primeiros 8 anos)
	2 - Reabilitação	40,5 (ano 7)	8	15	
3	1 - Reabilitação	27 (ano 0)	5	15	163 (ao longo de 15 anos) + 27 (ao longo de 5 anos) + 27 (ao longo de 10 anos)
	2 - Reabilitação	27 (ano 5)	5	15	
	3 - Reabilitação	27 (ano 10)	5	15	

Definem-se nos pontos seguintes as alternativas de intervenção adotadas, assim como os respetivos custos para a administração.

- **Alternativa 1 - intervenção de reabilitação com fresagem e conservação corrente**

Nesta primeira alternativa considera-se que toda a extensão que é alvo de intervenção periódica é intervencionada de uma só vez, no ano 0, e que a extensão alvo de manutenção corrente é intervencionada anualmente de forma repartida, ao longo dos 15 anos. Considera-se que anualmente são realizadas inspeções ao estado do pavimento e realizada a intervenção. Considera-se assim uma intervenção mais profunda mas menos frequente.

Para determinar o custo da atividade de reabilitação determinou-se o seu custo por km, multiplicando este pelo número de quilómetros que é necessário intervencionar. Para a manutenção corrente multiplicou-se o seu custo anual por km pelo número de quilómetros a intervencionar, uma vez que o seu valor é anual.

Os valores considerados são os usados pela E.P., S.A. (Morgado, 2012). As atividades e custos da alternativa 1 são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Descrição e custo das atividades da alternativa 1.

Descrição da atividade		Custo
Atividade de reabilitação (15 anos)	Fresagem de 0,05 m (€/m ²)	2,00
	Camada de desgaste tradicional 0,05m (€/m ²)	4,80
	Total (€/m ²)	6,80
	Largura da via (m)	3,75
	Custo total da intervenção (€/km)	25 500
	Extensão de intervenção (km)	81
	Total (€)	2 065 500
Manutenção corrente (Anual)	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	163
	Total para os 15 anos (€)	6 112 500
	Total por cada intervenção anual (€)	407 500

De acordo com os valores obtidos, determinou-se o cronograma de atividades e custos apresentado na Figura 27, de acordo com os custos calculados na Tabela 16.

Tabela 16 - Momentos e custos das atividades da Alternativa 1.

Alternativa 1			
Ano	Custo da Manutenção Periódica (81 km) (€)	Custo da Manutenção Corrente (163 km) (€)	Custo Anual (€)
2015	2 065 500	407 500	2 473 000
2016	-	407 500	407 500
2017	-	407 500	407 500
2018	-	407 500	407 500
2019	-	407 500	407 500
2020	-	407 500	407 500
2021	-	407 500	407 500
2022	-	407 500	407 500
2023	-	407 500	407 500
2024	-	407 500	407 500
2025	-	407 500	407 500
2026	-	407 500	407 500
2027	-	407 500	407 500
2028	-	407 500	407 500
2029	-	407 500	407 500
		Custo Total (€)	8 178 000

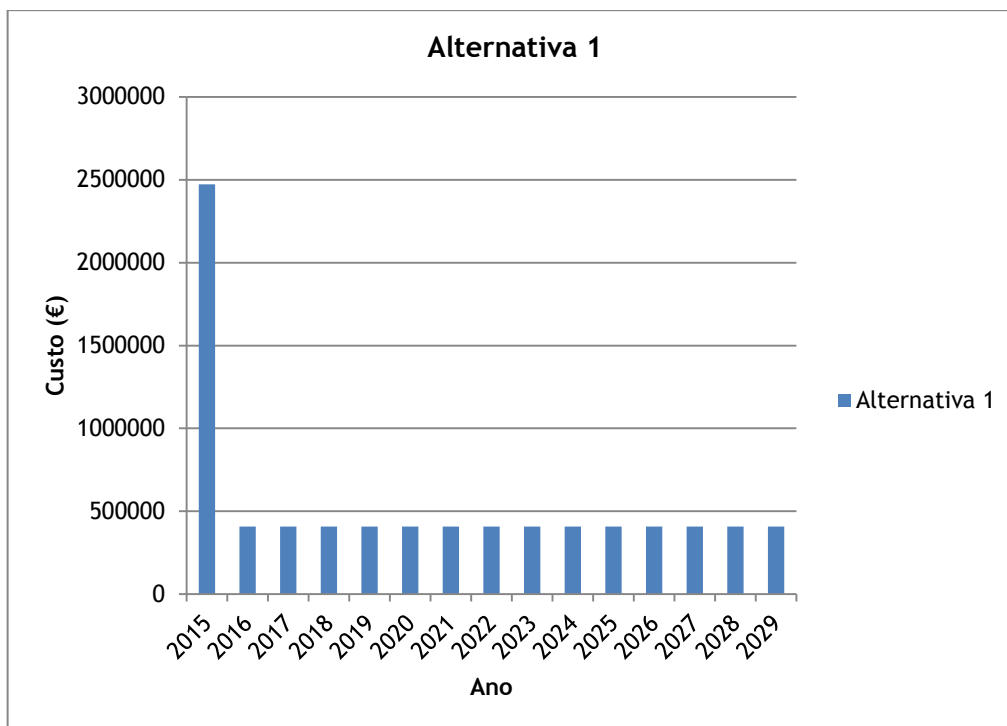


Figura 27 - Cronograma de atividades e custos totais da alternativa 1.

Para a determinação das características das zonas de trabalho foram considerados os rendimentos divulgados pela E.P. (Anexo 2). Com estes rendimentos calculou-se a duração de cada atividade, assim como o comprimento da respetiva zona de trabalhos. O comprimento da zona de trabalhos foi calculado somando o avanço diário, em km, ao comprimento da sinalização necessária (Anexo 3).

Na tabela 17 são apresentadas as características das zonas de trabalho para a atividade da alternativa 1. Devido ao facto de as atividades de manutenção corrente serem de carácter pontual, e por isso não representarem condicionamento significativo ao normal funcionamento do tráfego, não são consideradas pelo programa zonas de trabalho a elas associadas.

Tabela 17 - Características da zona de trabalhos da Alternativa 1.

		Reabilitação
Rendimento (segundo a E.P.)	(Dias/km)	1,45
Duração	(Dias)	118
Comprimento	(km)	2,3

O menu do programa “Realcost v2.5” correspondente à alternativa 1 apresenta-se devidamente preenchido na Figura 28.

Alternative 1

Alternative: 1

Alternative Description: M. Reabilitação Number of Activities: 1

Activity 1

Activity Description: Fresagem 5cm;camada de desgaste 5 cm; em 81 km

Activity Cost and Service Life Inputs

Agency Construction Cost (\$1000): 2473 Activity Service Life (years): 15

User Work Zone Costs (\$1000): User Work Zone Costs (\$1000): Activity Structural Life (years): 15

Maintenance Frequency (years): 1 Agency Maintenance Cost (\$1000): 407,5

Activity Work Zone Inputs

Work Zone Length (km): 2,3 Work Zone Duration (days): 118

Work Zone Capacity (vphp): 1340 Work Zone Speed Limit (kph): 40

No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone: 1 Traffic Hourly Distribution: Week Day

Work Zone Hours

	Inbound		Outbound	
	Start	End	Start	End
First Period of Lane Closure:	0	7	0	7
Second Period of Lane Closure:	21	24	21	24
Third Period of Lane Closure:				

Copy Activity

Paste Activity

Open... Save... Ok Cancel

Figura 28 - Menu do programa "Realcost v2.5" correspondente a alternativa 1.

- **Alternativa 2 - intervenção de reabilitação em 2 fases com fresagem e conservação corrente**

Esta alternativa consiste na realização de uma intervenção de reabilitação em intervalos de 8 anos por forma a reduzir o nível de investimento inicial. A primeira intervenção é realizada apenas em metade da extensão alvo, 40,5 km, a outra metade é intervencionada 8 anos depois. Durante os primeiros 8 anos a 2ª parte da extensão alvo de manutenção periódica sofre manutenção corrente por forma a manter o limite de degradação até ao momento da segunda intervenção de reabilitação. Nesta alternativa a necessidade de intervenção periódica é assim dividida em duas fases, e a extensão alvo de manutenção corrente durante a primeira fase é agora 163 km mais 40,5 km. Tal como para a atividade anterior, a manutenção corrente é feita anualmente. A descrição e respetivos custos das atividades da alternativa 2 apresentam-se na Tabela 18.

De acordo com os valores obtidos determinou-se o cronograma de atividades e custos para a administração, distinguindo a manutenção corrente de prevenção associada à segunda

intervenção da manutenção corrente aplicada à extensão alvo de 163 km, sendo apresentado na Figura 28, de acordo com os custos totais calculados na Tabela 19.

Tabela 18 - Descrição e custo das atividades da alternativa 2.

Descrição da atividade		Custo
Atividade de reabilitação (repete-se a cada 8 anos) em 40,5 km Vida funcional=8 anos Vida estrutural=15 anos	Fresagem de 0,05 m (€/m ²)	2,00
	Camada de desgaste tradicional 0,05m (€/m ²)	4,80
	Total (€/m ²)	6,80
	Largura da via (m)	3,75
	Custo total da intervenção (€/km)	25 500
	Extensão de intervenção (km)	40,5
	Total (€)	1 032 750
Manutenção corrente (anual) de prevenção em 40,5 km	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	40,5
	Total para os 8 anos (€)	810 000
	Total por cada intervenção (€/ano)	101 250
Manutenção corrente (Anual) em 163 km	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	163
	Total para os 15 anos (€)	6 112 500
	Total por cada intervenção (€/ano)	407 500

Tabela 19 - Momentos e custos das atividades da Alternativa 2.

Alternativa 2				
Ano	Manutenção periódica (€)	Manutenção corrente preventiva associada à 2ª atividade de reabilitação (40,5 km) (€)	Manutenção corrente (163 km) (€)	Total (€)
2015	1 032 750	101 250	407 500	1 541 500
2016	-	101 250	407 500	508 750
2017	-	101 250	407 500	508 750
2018	-	101 250	407 500	508 750
2019	-	101 250	407 500	508 750
2020	-	101 250	407 500	508 750
2021	-	101 250	407 500	508 750
2022	-	101 250	407 500	508 750
2023	1 032 750	-	407 500	1 440 250
2024	-	-	407 500	407 500
2025	-	-	407 500	407 500
2026	-	-	407 500	407 500
2027	-	-	407 500	407 500
2028	-	-	407 500	407 500
2029	-	-	407 500	407 500
			Custo Total (€)	8 988 000

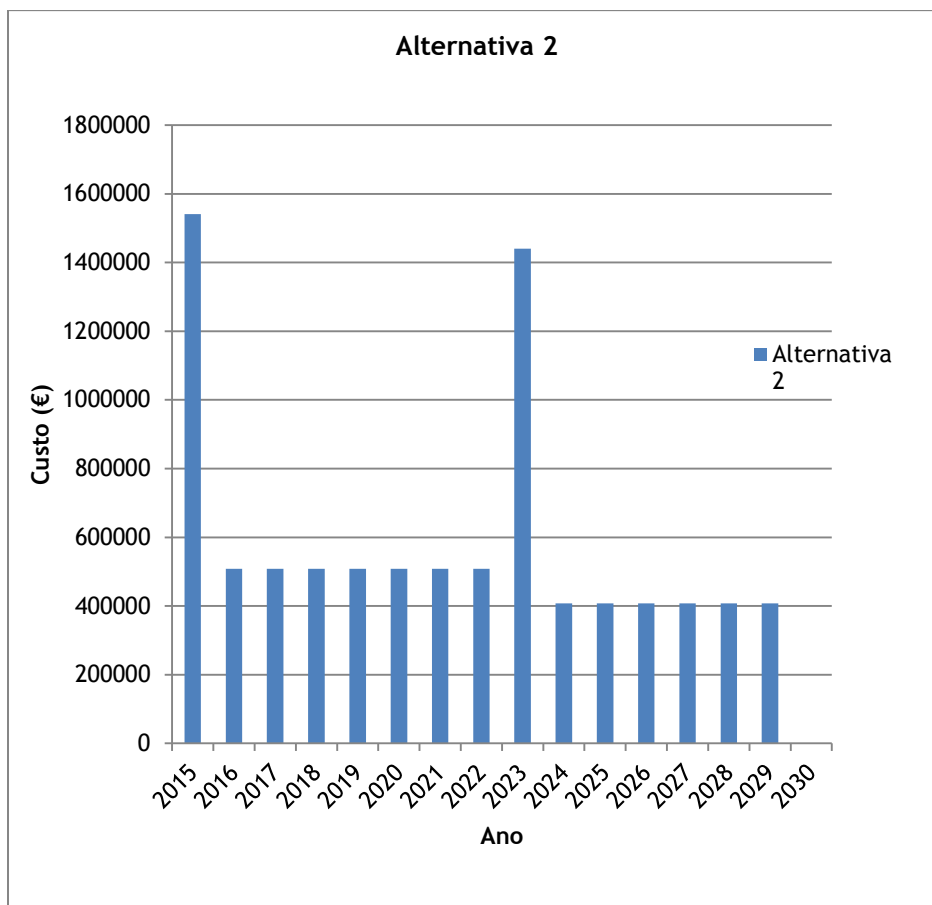


Figura 29 - Cronograma de custos totais e atividades da alternativa 2.

Tal como na alternativa 1, não são consideradas na análise as zonas de trabalhos associadas à manutenção corrente.

As características da zona de trabalhos da alternativa 2 para cada uma das atividades de reabilitação são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Características da zona de trabalhos de cada atividade da Alternativa 2.

		Intervenção de Reabilitação
Rendimento (segundo a E.P.)	(Dias/km)	1,45
Duração	(Dias)	59
Comprimento	(km)	2,3

Com os dados apresentados, preencheu-se o menu de cálculo do programa “Realcost v2.5”, relativo às atividades da alternativa 2, como se mostra nas Figuras 30 e 31.

Alternative 2

Alternative: 2

Alternative Description: M. Reabilitação em 2 fases Number of Activities: 2

Activity 1 | Activity 2

Activity Description: fresagem 5cm+camada de desgaste 5cm; em 40,5 km

Activity Cost and Service Life Inputs

Agency Construction Cost (\$1000): 1541,5 ... Activity Service Life (years): 8 ...

User Work Zone Costs (\$1000): ... Activity Structural Life (years): 15 ...

Maintenance Frequency (years): 1 ... Agency Maintenance Cost (\$1000): 508,75 ...

Activity Work Zone Inputs

Work Zone Length (km): 2,3 Work Zone Duration (days): 59 ...

Work Zone Capacity (vphpl): 1340 ... Work Zone Speed Limit (kph): 40

No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone: 1 Traffic Hourly Distribution: Week Day ▾

Work Zone Hours

	Inbound		Outbound	
	Start	End	Start	End
First Period of Lane Closure:	0	7	0	7
Second Period of Lane Closure:	21	24	21	24
Third Period of Lane Closure:				

Copy Activity
Paste Activity

Open... Save... Ok Cancel

Figura 30 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 2 - atividade 1.

Alternative 2

Alternative: 2

Alternative Description: M. Reabilitação em 2 fases Number of Activities: 2

Activity 1 | Activity 2

Activity Description: fresagem 5cm+camada de desgaste 5cm; em 40,5 km

Activity Cost and Service Life Inputs

Agency Construction Cost (\$1000): 1440,25 ... Activity Service Life (years): 8 ...

User Work Zone Costs (\$1000): ... Activity Structural Life (years): 15 ...

Maintenance Frequency (years): 1 ... Agency Maintenance Cost (\$1000): 407,5 ...

Activity Work Zone Inputs

Work Zone Length (km): 2,3 Work Zone Duration (days): 59 ...

Work Zone Capacity (vphpl): 1340 ... Work Zone Speed Limit (kph): 40

No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone: 1 Traffic Hourly Distribution: Week Day ▾

Work Zone Hours

	Inbound		Outbound	
	Start	End	Start	End
First Period of Lane Closure:	0	7	0	7
Second Period of Lane Closure:	21	24	21	24
Third Period of Lane Closure:				

Copy Activity
Paste Activity

Open... Save... Ok Cancel

Figura 31 - Menu do programa "Realcost" correspondente a alternativa 2 - atividade 2.

- **Alternativa 3 - intervenção de reabilitação em 3 fases com fresagem e conservação corrente**

Esta alternativa consiste na realização de uma intervenção de reabilitação em intervalos de 5 anos por forma a reduzir em parcelas mais pequenas o investimento. Cada intervenção é realizada em 1/3 da extensão alvo, cerca de 27 km. O procedimento de intervenção assemelha-se ao da alternativa 2 mas agora em três momentos. Por forma a manter o limite de degradação até às intervenções seguintes, durante os primeiros 5 anos, a extensão correspondente à segunda e terceira intervenções é alvo de manutenção corrente, ou seja, um total de 163+27+27 km, após a segunda intervenção, apenas a extensão correspondente à terceira intervenção é alvo de manutenção corrente até ao momento da terceira intervenção, resultando em 163+27 km. Tal como para a atividade anterior, a manutenção corrente é feita anualmente. A descrição e custos das atividades da alternativa 3 são apresentados na Tabela 22.

Tabela 21 - Descrição e custo das atividades da alternativa 3.

Descrição da atividade		Custo
Atividade de reabilitação (repete-se a cada 5 anos) em 27 km Vida funcional=5 anos Vida estrutural=15 anos	Fresagem de 0,05 m (€/m ²)	2,00
	Camada de desgaste tradicional 0,05m (€/m ²)	4,80
	Total (€/m ²)	6,80
	Largura da via (m)	3,75
	Custo total da intervenção (€/km)	25 500
	Extensão de intervenção (km)	27
	Total (€)	688 500
Manutenção corrente (anual) de prevenção em 27 km associada à 2ª intervenção	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	27
	Total para os 5 anos (€)	337 500
	Total por cada intervenção (€/ano)	67 500
Manutenção corrente (anual) de prevenção em 27 km associada à 3ª intervenção	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	27
	Total para os 10 anos (€)	675 000
	Total por cada intervenção (€/ano)	67 500
Manutenção corrente (anual) em 163 km	Manutenção Corrente (€/km/ano)	2500
	Extensão de intervenção (km)	163
	Total para os 15 anos (€)	6 112 500
	Total por cada intervenção (€/ano)	407 500

De acordo com os valores calculados na Tabela 22, determinou-se os custos totais em cada momento de intervenção, apresentados na Tabela 23. Distinguindo a manutenção corrente de prevenção associada às intervenções de reabilitação da manutenção corrente aplicada à

extensão alvo de 163 km, determinou-se o cronograma de atividades e custos para a administração relativo à alternativa 3, apresentado na Figura 32.

Tabela 22 - Cronograma de custos totais e atividades da alternativa 3.

Alternativa 3					
Ano	Manutenção periódica (€)	M. corrente preventiva associada à 2ª atividade de reabilitação (27 km) (€)	M. corrente preventiva associada à 3ª atividade de reabilitação (40,5 km) (€)	Manutenção corrente (€)	Total (€)
2015	688 500	67 500	67 500	407 500	1 231 000
2016	-	67 500	67 500	407 500	542 500
2017	-	67 500	67 500	407 500	542 500
2018	-	67 500	67 500	407 500	542 500
2019	-	67 500	67 500	407 500	542 500
2020	688 500	-	67 500	407 500	1 163 500
2021	-	-	67 500	407 500	475 000
2022	-	-	67 500	407 500	475 000
2023	-	-	67 500	407 500	475 000
2024	-	-	67 500	407 500	475 000
2025	688 500	-	-	407 500	1 096 000
2026	-	-	-	407 500	407 500
2027	-	-	-	407 500	407 500
2028	-	-	-	407 500	407 500
2029	-	-	-	407 500	407 500
				Custo Total (€)	9 190 500

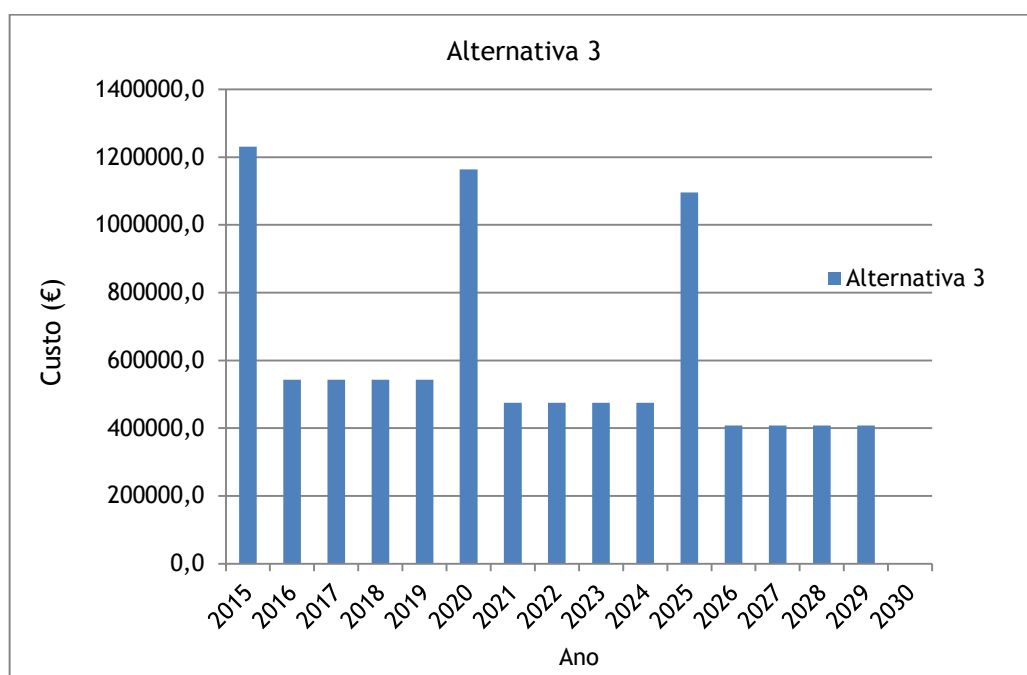


Figura 32 - Cronograma de custos e atividades da alternativa 3.

Tal como nas alternativas anteriores, não é considerada na análise as zonas de trabalhos associadas à manutenção corrente. As características da zona de trabalhos das atividades da alternativa 3 são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 23 - Características da zona de trabalhos da Alternativa 3.

		Intervenção de Reabilitação
Rendimento (segundo a E.P.)	(Dias/km)	1,45
Duração	(Dias)	40
Comprimento	(km)	2,3

Os menus do programa “Realcost” relativos às atividades da alternativa 3 são apresentados nas Figuras 33, 34 e 35 devidamente preenchido.

Figura 33 - Menu do programa "Realcost v2.5" correspondente a alternativa 3 - atividade 1.

Alternative 3

Alternative: **3**

Alternative Description: M. Reabilitação em 3 fases Number of Activities: 3

Activity 1 | **Activity 2** | Activity 3

Activity Description: fresagem 5cm+camada de desgaste 5cm; em 27 km

Activity Cost and Service Life Inputs

Agency Construction Cost (\$1000): 1163,5 Activity Service Life (years): 5

User Work Zone Costs (\$1000): Maintenance Frequency (years): 1 Activity Structural Life (years): 15 Agency Maintenance Cost (\$1000): 475

Activity Work Zone Inputs

Work Zone Length (km): 2,3 Work Zone Duration (days): 40

Work Zone Capacity (vphpl): 1340 Work Zone Speed Limit (kph): 40

No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone: 1 Traffic Hourly Distribution: Week Day

Work Zone Hours

	Inbound		Outbound	
	Start	End	Start	End
First Period of Lane Closure:	0	7	0	7
Second Period of Lane Closure:	21	24	21	24
Third Period of Lane Closure:				

Copy Activity Paste Activity

Open... Save... Ok Cancel

Figura 34 - Menu do programa "Realcost v2.5" correspondente a alternativa 3 - atividade 2.

Alternative 3

Alternative: **3**

Alternative Description: M. Reabilitação em 3 fases Number of Activities: 3

Activity 1 | Activity 2 | **Activity 3**

Activity Description: fresagem 5cm+camada de desgaste 5cm; em 27 km

Activity Cost and Service Life Inputs

Agency Construction Cost (\$1000): 1096 Activity Service Life (years): 5

User Work Zone Costs (\$1000): Maintenance Frequency (years): 1 Activity Structural Life (years): 15 Agency Maintenance Cost (\$1000): 407,5

Activity Work Zone Inputs

Work Zone Length (km): 2,3 Work Zone Duration (days): 40

Work Zone Capacity (vphpl): 1340 Work Zone Speed Limit (kph): 40

No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone: 1 Traffic Hourly Distribution: Week Day

Work Zone Hours

	Inbound		Outbound	
	Start	End	Start	End
First Period of Lane Closure:	0	7	0	7
Second Period of Lane Closure:	21	24	21	24
Third Period of Lane Closure:				

Copy Activity Paste Activity

Open... Save... Ok Cancel

Figura 35 - Menu do programa "Realcost v2.5" correspondente a alternativa 3 - atividade 3.

4.3.8. Outputs/Resultados obtidos

Após o preenchimento de todos os dados requeridos, obtém-se os resultados da abordagem pretendida, neste caso, determinística.

Os resultados obtidos, correspondentes a valores em Euro (embora o símbolo que o programa apresente seja referente ao dólar americano), estabelecem a comparação entre as três alternativas e apresentam aquelas que representam menores custos para os utentes e para a administração.

Apresentam-se na Tabela 24 os resultados obtidos para cada alternativa, tanto em termos de custos dos utentes como de custos para a administração e valor residual, em milhares de euros. Aqui é possível perceber com exatidão em que momento as intervenções irão acontecer e quais os custos a elas associados. A alternativa 1 não gera valor residual, pois a duração da intervenção de reabilitação coincide com a duração da análise, 15 anos. Nas alternativas 2 e 3, como se considerou que as últimas intervenções tinham uma duração estrutural de 15 anos, esta supera o período de análise restante e portanto há valor residual para estas duas alternativas.

Tabela 24 - Fluxograma de custos com indicação do valor residual para as três alternativas.

Fluxograma de Custos						
Ano	Alternativa 1: M. Reabilitação; M. Corrente		Alternativa 2: M. Reabilitação em 2 fases; M. Corrente		Alternativa 3: M. Reabilitação em 3 fases; M. Corrente	
	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utentes (1000 €)	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utentes (1000 €)	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utentes (1000 €)
2015	2.473,00	26,02	1.541,50	13,01	1.231,00	8,82
2016	407,50		508,75		542,50	
2017	407,50		508,75		542,50	
2018	407,50		508,75		542,50	
2019	407,50		508,75		542,50	
2020	407,50		508,75		1.163,50	9,60
2021	407,50		508,75		475	
2022	407,50		508,75		475	
2023	407,50		1.440,25	14,89	475	
2024	407,50		407,50		475	
2025	407,50		407,50		1.096,00	10,44
2026	407,50		407,50		407,50	
2027	407,50		407,50		407,50	
2028	407,50		407,50		407,50	
2029	407,50		407,50		407,50	
Valor residual	-	-	(768,13)	(7,94)	(1.118,50)	(10,16)

Nas duas figuras seguintes, Figuras 35 e 36, são apresentados, respetivamente, os fluxogramas de custos para a administração e para os utentes das três alternativas consideradas.

Considerou-se para as três alternativas que a manutenção corrente nos 163 km é realizada anualmente, independentemente das atividades de carácter mais profundo. As reparações pontuais da manutenção corrente, sem grandes exigências de custo e sem a necessidade de interromper prolongadamente o normal funcionamento do tráfego, não são consideradas nos custos dos utentes.

Em termos de custos da administração, a alternativa 1 requer maior investimento inicial, no entanto, tem-se apenas uma atividade de intervenção ao longo de todo o período de análise. Em termos de custos dos utentes, a alternativa 1 não oferece uma boa solução, isto porque embora apenas se realize uma atividade de reabilitação, esta atividade vai condicionar o tráfego durante um período de 118 dias (4 meses).

A alternativa 2 consiste na mesma atividade de reabilitação que a atividade 1, mas faseada, isto é, dividiu-se a extensão com necessidades expectáveis de reparação no período de 15 anos em duas fases, intervindo cerca de 40,5 km em cada fase. Assim, neste cenário são intervencionados 40,5 km em 2015 e os restantes 40,5 km são sujeitos a manutenção corrente limitando o seu nível de degradação até à intervenção de reabilitação seguinte em 2023. Para a administração este cenário representa custos mais diluídos ao longo do tempo, requerendo um investimento inicial mais baixo, mas com um valor de manutenção corrente mais elevado nos primeiros 8 anos. Para os utentes reduziu-se a duração das zonas de trabalho, mas agora, para o momento da segunda intervenção, os custos são mais elevados, isto porque se prevê um crescimento do tráfego. Mesmo sendo muito reduzido, esse crescimento existe, o que implica mais veículos a circular e mais custos para os utentes. Porém, no momento da segunda intervenção não é só o aumento do tráfego que influencia os custos, a taxa de atualização já tem que ser considerada neste momento (custos futuros). A aplicação da taxa de atualização aos custos do ano 8, traduz-se em custos totais dos utentes, atualizados, inferiores em relação a alternativa 1.

Relativamente à alternativa 3, esta representa uma solução com custos mais diluídos ao longo do tempo para a administração, trata-se da mesma intervenção de reabilitação que nas alternativas anteriores, mas agora dividida em três fases, intervindo um terço da extensão total alvo de manutenção periódica de cada vez, ou seja, cerca de 27 km. Por forma a limitar o nível de degradação da restante extensão (27+27 km) até às intervenções seguintes, esta é alvo de manutenção corrente, como acontece na alternativa 2, cada extensão em espera sofre manutenção corrente até à intervenção de reabilitação a ela destinada acontecer. Em termos de custos da administração, a diluição das despesas num período mais longo permite baixar o investimento em cada momento mas aumenta o custo da manutenção corrente uma vez que ela é agora aplicada a uma extensão mais longa. Em termos de custos dos utentes, a duração das atividades é agora mais baixa, no entanto, tal como acontece na alternativa 2, estes aumentam da primeira para a terceira atividade devido ao aumento do tráfego, sendo

também esta subida depois compensada pela aplicação da taxa de atualização, que resulta em custos dos utentes mais baixos em relação às alternativas anteriores.

Como se referiu anteriormente, apenas as alternativas 2 e 3 têm valor residual, pois são aquelas em que a duração das suas atividades se prolonga além do período de análise.

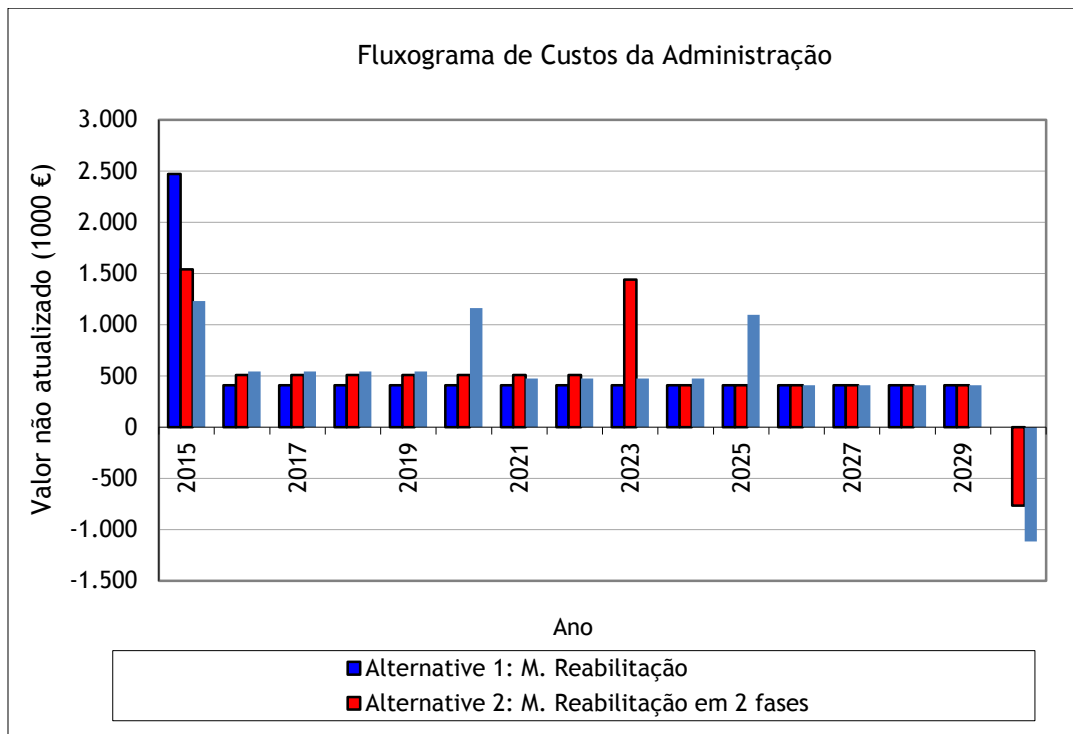


Figura 36 - Diagrama de Fluxo dos custos da administração para cada alternativa.

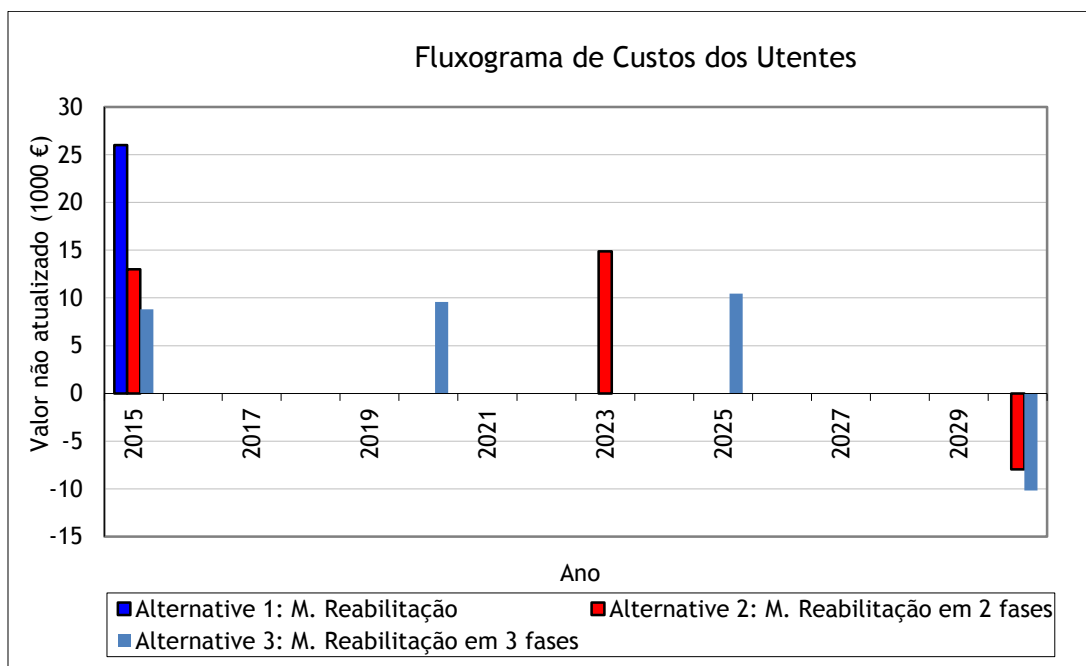


Figura 37 - Diagrama de Fluxo dos custos dos utentes para cada alternativa.

Em termos de comparação de resultados dos custos da administração, observando o gráfico apresentado na Figura 37, a alternativa que menores custos tem para a administração é a alternativa 3 com um custo total de 6 692 330 €. A alternativa mais cara para a administração é a alternativa 2 com um custo de 6 781 780 €.

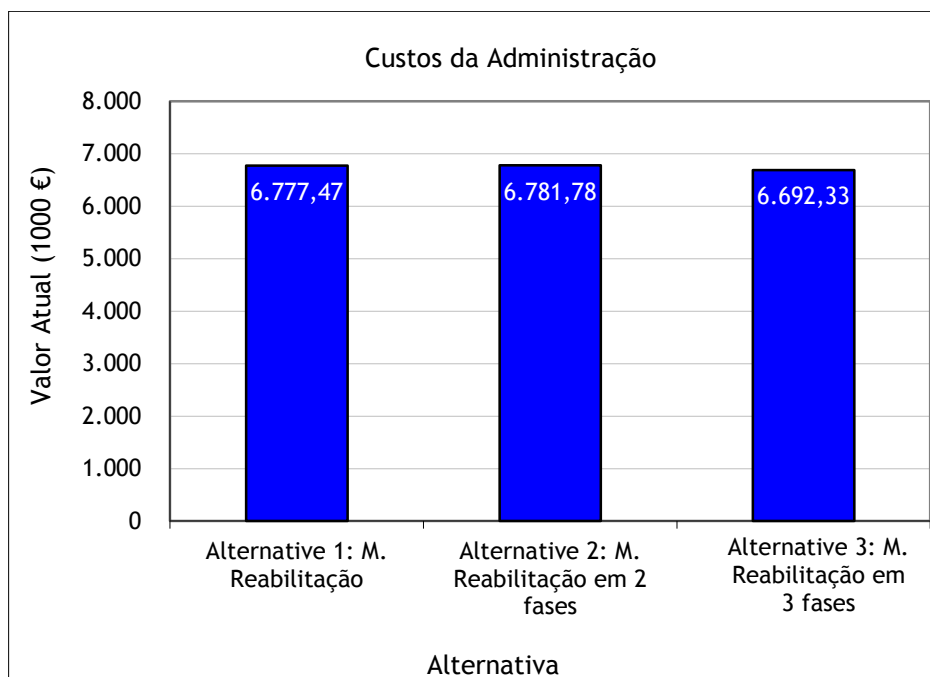


Figura 38 - Custos da administração para cada alternativa.

Em termos de custos dos utentes, atendendo à Figura 38, a alternativa com menores custos é a alternativa 3, com valor de 18 120€, e a alternativa com custos mais elevados é a alternativa 1 com um valor de 26 020€.

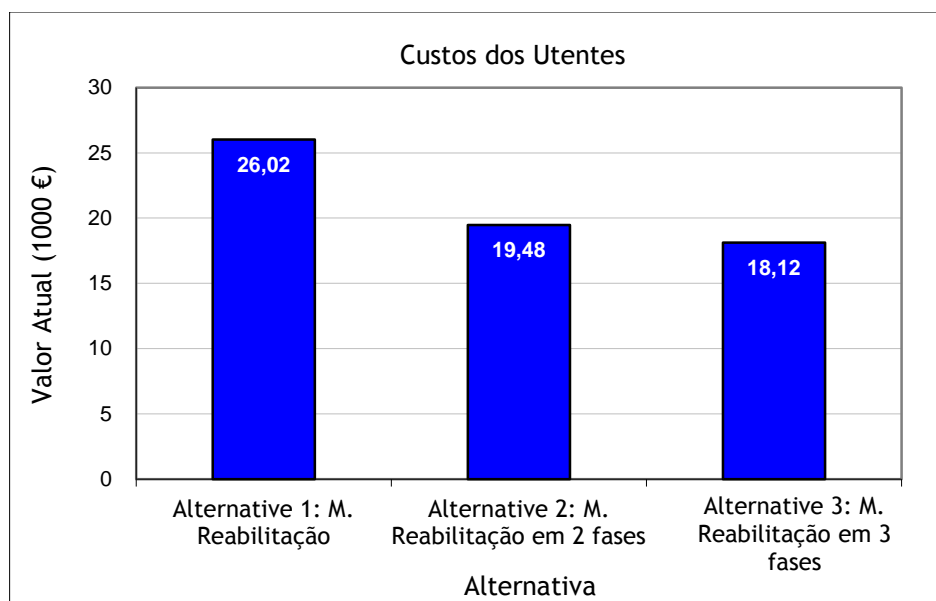


Figura 39 - Custos dos Utentes para cada alternativa.

Do caso de estudo tratado, os resultados apontam para uma única solução, significando que aquela alternativa é a que oferece melhores custos para utentes e administração. Em fase de decisão a alternativa 3 seria a escolha recomendada pela ACCV por beneficiar tanto administração como utentes. Na tabela 25 são apresentados os resultados, em valor atual, para as três alternativas consideradas na ACCV através do programa “Realcost”, assim como destacadas aquelas que oferecem custos mais baixos. Na mesma tabela apresenta-se também o valor do custo anual uniforme equivalente (“Equivalent Uniform Annual Cost” - EUAC).

Tabela 25 - Custos Totais obtidos a partir do “Realcost v2.5” da ACCV para administração e utentes

Custos Totais						
Custos totais	Alternativa 1: M. Reabilitação; M. Corrente		Alternativa 2: M. Reabilitação em 2 fases; M. Corrente		Alternativa 3: M. Reabilitação em 3 fases; M. Corrente	
	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utilizadores (1000 €)	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utilizadores (1000 €)	Custos da administração (1000 €)	Custos dos utilizadores (1000 €)
Valor sem atualização	8.178,00	26,02	8.219,87	19,96	8.072,00	18,70
Valor atual	6.777,47	26,02	6.781,78	19,48	6.692,33	18,12
EUAC	609,57	2,34	609,96	1,75	601,92	1,63
Custo mais baixo para a administração (valor atual)		Alternativa 3: M. Reabilitação em 3 fases				
Custo mais baixo para os utilizadores (valor atual)		Alternativa 3: M. Reabilitação em 3 fases				

Na Tabela 27 apresenta-se um resumo dos valores totais da ACCV para as três alternativas concorrentes. O valor total é determinado subtraindo o valor residual ao valor inicial. O valor atual é determinado com a aplicação da taxa de atualização, e o custo total atualizado é obtido somando o valor atual da administração e dos utentes.

Tabela 26 - Resumo dos custos considerados e obtidos na ACCV.

Custos (€)	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	Administração	Utentes	Administração	Utentes	Administração	Utentes
Valor inicial	8 178 000	26 020	8 988 000	27 900	9 190 500	28 860
Valor residual	0	0	768 130	7 940	1 118 500	10 160
Valor total	8 178 000	26 020	8 219 870	19 960	8 072 000	18 700
Valor atual	6 777 470	26 020	6 781 780	19 480	6 692 330	18 120
Custo total atualizado	6 803 490		6 801 260		6 710 450	

4.4. Análise de resultados e recomendações

Tendo em conta a ACCV realizada para o caso de estudo apresentado, é possível apontar algumas recomendações tanto em termos do funcionamento e aplicação do programa usado, como relativamente a ACCV propriamente dita.

As indicações sugeridas têm em conta o observado no caso de estudo e contemplam apenas a situação de tráfego em meio rural.

Começa-se assim por fazer referência a um fator de extrema relevância na ACCV, que são os custos suportados pelos utentes da estrada.

Na ACCV, como já referido anteriormente, são considerados os custos dos utentes inerentes às intervenções de manutenção que provocam atrasos, desvios e congestionamento, sendo estes essencialmente custos associados a mudança de velocidade e paragens. Em Portugal a lei não permite paragens nas autoestradas, impondo um limite mínimo de velocidade de circulação nos troços em obras. Esta situação vem anular da equação os custos dos utentes relativos a paragens. No entanto, estes custos podem significar uma parcela significativa dos custos totais para outros tipos de estradas (nacionais, municipais e urbanas).

Quanto aos atrasos e formação de filas para o caso de estudo, esta situação pode ser tratada de duas formas distintas. Na primeira, em que não se verificam paragens do tráfego, não havendo formação de filas de trânsito, é considerada uma redução da velocidade e o consequente atraso, mas o tráfego continua ser escoado, não se verificando a situação de formação de filas. Na segunda, e determinante para a formação de filas, está o facto de o TMDA apresentar, atualmente na rede, um valor muito abaixo do considerado no caso base, cerca de 72% abaixo do esperado (E.P. - Estradas de Portugal S.A., Novembro de 2013). Assim, se se considerar as necessidades de utilização das autoestradas face à sua capacidade em normal funcionamento, rápido se percebe que uma via interrompida ao trânsito não provoca, na maioria dos casos, qualquer congestionamento, sendo a capacidade de uma via suficiente para escoar o tráfego sem formação de filas.

Porém, o cenário descrito no parágrafo anterior pode mudar e não se verifica em todas as autoestradas, para além de que o programa não é apenas aplicável a estas redes, pelo que é uma vantagem ter incorporado a possibilidade de incluir as paragens devido a congestionamento

Apesar de ser possível adaptar a introdução da informação para aplicar o programa a todos os tipos de redes, seria de todo vantajoso adaptar a análise ao tipo de rede e às condicionantes legais em termos de sinalização temporária, comprimento de zonas de intervenção, períodos

de intervenção e velocidades limite. A associação desta informação simplificaria o processo de definição das alternativas de manutenção.

Para uma análise mais rigorosa seria desejável incorporar o impacto de zonas de trabalho de manutenção corrente de beneficiação em redes de tráfego elevado uma vez que podem provocar, para determinados trabalhos como os tratamentos superficiais, atrasos significativos. Relativamente à manutenção corrente mais simples, em geral, estes custos podem ser retirados da análise uma vez que são semelhantes entre as alternativas, isto é, todas as alternativas apresentam custos de manutenção corrente e respetivas zonas de trabalho semelhantes e por isso não vão influenciar a decisão final.

Uma importante observação sobre o cenário estudado permite apontar também como recomendação a aplicação do programa “Realcost v2.5” a extensões mais reduzidas, como por exemplo ao nível dos sublanços (5 a 10 km). No presente caso de estudo optou-se por realizar a análise em pouco mais de um lanço, o que resultou numa extensão de 61 km. Para uma extensão desta dimensão as atividades de manutenção a considerar compreendem a manutenção periódica, a manutenção corrente associada ao troço que sofre manutenção periódica e a manutenção corrente dos troços que não necessitam de manutenção periódica. O desenvolvimento de estratégias e cronogramas que permitam um correto cálculo e introdução de custos no programa para uma extensão desta dimensão é de elevada dificuldade, uma vez que o programa considera a manutenção corrente associada às atividades de carácter periódico, dificultando a definição dos dois tipos de manutenção para locais diferentes da rede em análise. Tendo em conta este aspeto, sugere-se a aplicação do programa a extensões mais reduzidas, por forma a que a extensão em estudo seja a correspondente aos tratamentos de manutenção periódica e a manutenção corrente a esta associada. No entanto, apesar da dificuldade em contornar a forma como os dados de entrada poderiam ser introduzidos no programa para refletir a estratégia de conservação pretendida, esta aplicação permitiu obter uma análise comparativa para a extensão total.

Embora estas análises sejam recomendadas para períodos mais longos (35 a 40 anos) (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management, 2002), foi possível fazer uma aplicação a um período mais pequeno, de 15 anos, tendo em conta a mudança de panorama do crescimento do tráfego neste tipo de redes em Portugal, permitindo adequar as estratégias de conservação inicialmente definidas às condições atuais e previstas.

No que diz respeito aos resultados obtidos, estes apontam para uma única solução, a alternativa 3, que minimiza em simultâneo os custos para os utentes, administração e totais, incluindo para além dos anteriores o custo residual do pavimento.

A repartição do custo total das alternativas pelas parcelas de custo consideradas (administração e valor residual, utentes), assim como a variação de cada custo em relação ao custo mais elevado são apresentados na tabela 27.

Tabela 27 - Variação e repartição do custo total das alternativas pelas parcelas de custo consideradas.

Custos	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	%	$\Delta\%$	%	$\Delta\%$	%	$\Delta\%$
Administração + Valor Residual	99,62	-0,06	99,71	0,00	99,73	-1,32
Utentes	0,38	0,00	0,29	-25,13	0,27	-30,36

Nota: a variação da percentagem é calculada em relação ao custo mais elevado para cada parcela de custo.

Para os custos dos utentes, as variações são significativas, entre 25 a 30%, no entanto, a sua representatividade neste caso é baixa devido ao tráfego reduzido.

Relativamente aos custos da administração e valor residual, a variação entre a alternativa mais cara (2) e as restantes alternativas, é no caso mais agravado de 1,32%, a pequena variação deve-se ao fato de estas se referirem ao mesmo tipo de tratamento de manutenção.

Embora a variação seja pequena, pode ter-se em conta que o custo da alternativa 3 é mais favorável para a administração apenas quando se considera o valor residual, admitindo que a concessionária não pode entregar a rede em mau estado de conservação. Considerando esta condicionante, seria necessário algum tipo de tratamento na extensão intervencionada na primeira fase (1/3 de 81km), uma vez que a sua vida estrutural termina no mesmo momento que o período de análise.

Aplicando o mesmo princípio às restantes alternativas, ou seja, que estas teriam que ser entregues em determinado estado de conservação, a alternativa 2 necessitaria de tratamento também na extensão intervencionada na primeira fase (40,5km). A alternativa 1, que teve toda a extensão intervencionada num único momento necessitaria de tratamento na totalidade da extensão (81km) antes de finalizar o período de análise, para entregar a rede a um nível aceitável de conservação.

Os fatos apresentados nos pontos anteriores referentes ao final da vida estrutural do pavimento para as diferentes alternativas representam alterações significativas nos resultados da ACCV, assim como a consideração de diferentes tratamentos de manutenção. Como tal, recomenda-se que a definição de cada estratégia de manutenção e respetivos tratamentos sejam os mais adequados às condições do estado do pavimento pretendidas no final do período de análise.

Mesmo assim, admitindo que para entregar a rede num estado limite de degradação seria apenas necessário a aplicação de manutenção corrente, no último ano da análise, às respetivas extensões cuja vida estrutural das intervenções tenha terminado, determinou-se o valor acrescido desta manutenção para cada alternativa, como se mostra na Tabela 28.

Tabela 28 - Custo total de cada alternativa com acréscimo do custo mínimo para garantir o limite de degradação no final do período de análise.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Extensão alvo de tratamento suplementar de conservação corrente (km)	81	40,5	27
Acréscimo (€)	$2500 \times 81 = 202\ 500$	$2500 \times 40,5 = 101\ 250$	$2500 \times 27 = 67\ 500$
Acréscimo atualizado (€)	116 938,7	58 469,4	38 979,6
Custo total atualizado (€)	6 920 428	6 859 729	6 749 430

Em termos de valor final atualizado com o acréscimo da manutenção corrente, a alternativa 1 mantém-se aquela cujo valor final é mais alto, isto porque a única intervenção de carácter periódico acontece no ano zero e por isso toda essa extensão é alvo de manutenção corrente no ano 15 para garantir as condições limite no estado de conservação do pavimento. As alternativas 2 e 3, tendo as suas intervenções de carácter periódico mais diluídas ao longo do tempo, já beneficiam da redução desta extensão de intervenção complementar, e por isso o acréscimo é mais reduzido.

Desta forma, para além de a alternativa 3 ser aquela que representa custos mais baixos e melhor estado de conservação no momento em que termina o período de análise, é também aquela cujo valor de acréscimo é mais baixo.

Concluindo, a decisão da alternativa a seguir fica a cargo do julgamento do analista, que baseado na sua experiência e na informação relativa a outros casos deverá tomar a decisão da estratégia a implementar. Na tomada de decisão deverá ser dada especial atenção aos custos dos utentes, uma vez que para volumes de tráfego baixos estes custos mantêm-se baixos, mas para volumes elevados estes custos aumentam significativamente, podendo condicionar a escolha da alternativa de manutenção. Dependendo dos tratamentos e dos momentos de intervenção considerados, o mesmo pode não acontecer com os custos suportados pela administração, uma vez que para um determinado estado dos pavimentos, com determinadas necessidades de intervenção, este aspeto não interfere na definição dos custos de manutenção. Assim, outra recomendação em termos da aplicação da ACCV é a de considerar sempre os custos dos utentes.

Em termos de fiabilidade da ACCV e suporte à decisão, a criação de uma ampla base de dados portuguesa sobre as atividades de manutenção e conservação e respetivos custos, assim como um histórico de intervenções em toda a rede rodoviária e respetivo desempenho, resultaria numa melhor aplicação desta análise e fundamentação das decisões a tomar, uma vez que as decisões dependem da experiência e julgamento do analista, mas também do rigor dos dados introduzidos na análise.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estado de conservação dos pavimentos reflete-se em custos tanto para as administrações rodoviárias e concessionárias, como para os utentes. Pavimentos em mau estado de conservação requerem intervenções mais profundas e como tal, mais dispendiosas para as administrações rodoviárias e mais penalizantes para os utentes, com aumento dos custos de operação dos veículos, redução da velocidade de circulação (atrasos), e aumento da sinistralidade. Para beneficiar administração e utentes é desejável que o estado dos pavimentos se mantenha de acordo com determinados níveis de qualidade. Bons níveis de qualidade estrutural para necessidades de intervenção menos profundas e bons níveis de qualidade funcional não só para conforto e segurança dos utentes, mas também para minimizar os custos por estes suportados.

O bom funcionamento de um pavimento rodoviário depende largamente da sua manutenção, não só periódica, mas também das pequenas ações de manutenção corrente. Segundo a bibliografia consultada (Galehouse, 2002), uma estratégia preventiva, com combinação dos vários tipos de manutenção, permite um estado otimizado do pavimento ao longo do seu ciclo de vida, isto é, proporciona as melhores condições de circulação aos utentes com uma qualidade funcional elevada, enquanto previne a degradação da qualidade estrutural do pavimento. Assim, com menor investimento, é possível garantir bons níveis de qualidade.

Por forma a avaliar a longo prazo o nível de investimento necessário por parte das administrações e o nível de constrangimento para os utentes, são realizadas análises de custo de ciclo de vida através da avaliação económica a longo prazo de todos os custos envolvidos na construção e manutenção dos pavimentos rodoviários (custos da administração e custos dos utentes).

A metodologia de ACCV fornece uma abordagem estruturada para avaliar várias alternativas de projeto, recorrendo a métodos de conversão económica, como o “Custo atual”, por forma a converter os custos de todas as alternativas à mesma base de comparação, e assim obter a solução mais rendável. Centrando-se sobre o ciclo de vida do projeto, a aplicação de uma ACCV a pavimentos rodoviários requer não só os custos iniciais do projeto, mas o momento, o alcance e os recursos necessários para as atividades de reabilitação e manutenção futuras. Uma correta aplicação da ACCV também direciona a análise no sentido de quantificar e comparar os efeitos de diferentes opções de implementação do projeto sobre os utentes da estrada, já que podem representar custos significativos devido a problemas de gestão e segurança associados a zonas de trabalhos de conservação.

Na maioria das análises os custos dos utentes são considerados iguais para todas as alternativas e por isso eliminados da análise, no entanto, embora esta justificação seja razoavelmente válida para a conservação corrente, o mesmo não se pode dizer de operações de alternativas de conservação mais profundas, como as periódicas e eventualmente a preventiva, dependendo do tipo de tratamento, duração e momentos de intervenção.

Ao incorporar a metodologia da ACCV na prática corrente das administrações rodoviárias, estas são também capazes de demonstrar e comprovar a boa administração dos ativos que têm a seu cargo. A documentação associada ao processo da ACCV fornece um registro claro para cada decisão em caso de futura controvérsia. Mais importante ainda, a preservação deste tipo de documentos e informação é um importante contributo para a criação de bases de dados cada vez mais completas, o que permite maior facilidade de acesso ao conhecimento nos projetos futuros.

A implementação deste tipo de análises pode exigir formação específica de técnicos e ajustes no processo de tomada de decisão da administração ou concessionária, no entanto, ela representa claramente um meio de identificar as opções de investimento mais rentáveis para as administrações.

Importa salientar que numa análise de custo de ciclo de vida a recolha e o processamento da informação representa o maior condicionante, sendo a principal vantagem da aplicação desta análise, em fase de projeto, a de permitir obter, logo a partida, uma visão ampla sobre os custos a longo prazo das alternativas de projeto consideradas, representando assim um importante suporte na tomada de decisão.

A ACCV pode revelar-se também como uma importante ferramenta na reavaliação de situações como a atualmente vivida em Portugal, onde infraestruturas rodoviárias com elevada capacidade têm vindo a registar acentuadas reduções nos níveis de tráfego (desde 2010). Esta situação implica a reformulação das estratégias e orçamentos inicialmente previstos, uma vez que os níveis de tráfego são mais baixos e conseqüentemente também as necessidades de manutenção, sendo estas mais diluídas ao longo do tempo. A ACCV permite realizar novas avaliações com base nos valores e previsões atuais, adaptando as soluções de manutenção e gerando novos orçamentos.

Pretendendo avaliar a aplicabilidade da metodologia do FHWA a um cenário português através da utilização do programa Realcost v2.5 e tendo em conta o cenário descrito no parágrafo anterior, recorreu-se à aplicação da ACCV a um caso prático com vista a uma melhor compreensão do efeito que diferentes alternativas de manutenção dos pavimentos podem provocar nos custos para a administração e utentes.

A aplicação da ACCV incidiu sobre parte da Autoestrada da Beira Interior - A23, na extensão compreendida entre os nós Covilhã Norte e Castelo Branco Sul, com um comprimento analisado de aproximadamente 61 km. Nesta aplicação foram consideradas três alternativas de manutenção com diferentes custos para a administração e diferentes estratégias de intervenção.

A aplicabilidade do programa a um caso português foi verificada, no entanto, foi necessário reunir um conjunto alargado de dados para a sua aplicação, desde dados relativos ao crescimento do tráfego, a taxas de atualização do dinheiro, estratégias e custos de manutenção e conservação, velocidades de circulação nas zonas em obras, até custos do tempo de percurso por tipo de veículo.

Na introdução dos dados para a determinação dos custos dos utentes simplificou-se a análise, tendo-se considerado apenas os atrasos associados a uma velocidade de atravessamento das zonas em obras mais reduzida, mas constante. Não foram considerados os custos adicionais de operação dos veículos, o atraso associado à verificação de variações da velocidade, nem os custos do atraso e de operação devido à formação de filas (que não devem ocorrer nas zonas de trabalhos segundo o enquadramento legislativo para este tipo de estradas).

Considerou-se, para todas as 3 alternativas, manutenção corrente anual e o mesmo tratamento de conservação periódica (constituído por fresagem com 5 cm de profundidade e aplicação de camada de desgaste tradicional com 5 cm de espessura).

Tendo em conta os aspetos descritos, para a primeira alternativa, com um investimento inicial alto por parte da administração e manutenção corrente anual, constatou-se que há benefícios para a administração em realizar o investimento relativo à manutenção periódica todo de uma só vez, mas não há benefícios para os utentes. Se por um lado há benefício em que só exista um momento de intervenção periódica, por outro há prejuízo de este único momento requerer uma intervenção mais profunda e por isso mais longa.

Na segunda alternativa, com intervenções periódicas também de carácter profundo aplicadas à mesma extensão da estrada, mas em dois momentos distintos, observou-se uma redução dos custos para utentes e um ligeiro aumento para os custos da administração, uma vez que existe uma maior extensão com necessidade de manutenção corrente. Dado que a vida útil da última intervenção periódica ultrapassa o período de análise, nesta alternativa existe um valor residual para a administração e para os utentes.

Por último, na terceira alternativa, as intervenções periódicas são aplicadas na mesma extensão mas em três momentos distintos ao longo do período de análise. Nesta hipótese verificou-se a redução dos custos tanto para administração como para utentes. A intervenção dividida em vários momentos, ou seja, a diluição dos custos ao longo do tempo, permite uma

maior influência da taxa de atualização no valor do dinheiro, o que leva à redução dos custos. Nesta alternativa também o valor residual representa ganhos para ambas as partes, uma vez que a segunda e terceira intervenções periódicas têm duração superior ao período de análise.

Assim, conclui-se que das três estratégias consideradas na ACCV, a terceira alternativa é a que proporciona menores custos para a administração e para os utentes. Este custo mais baixo deve-se à influência da taxa de atualização no valor das últimas duas intervenções e ao valor residual associado, uma vez que esta alternativa é a que tem as intervenções mais divididas ao longo do tempo.

Em relação aos valores finais de custos obtidos através do programa para a alternativa mais favorável (alternativa 3), refere-se que os custos da administração incluindo o valor residual representam cerca de 99,7% dos custos totais, os custos dos utentes representam cerca de 0,3%. Neste caso de estudo os custos dos utentes representam uma pequena parcela, no entanto, para condições de tráfego intenso podem pesar significativamente na análise e condicionar a escolha da alternativa numa ótica global de custos.

A alternativa mais favorável (alternativa 3) varia, em termos de custos da administração e valor residual, em relação à alternativa menos favorável (alternativa 2) cerca de 1,32%, no entanto, apesar de a variação não ser muito significativa, a rede chega ao final do período de análise em melhores condições, uma vez que para a alternativa 1, seria necessário reabilitar para valores mínimos de qualidade 1/3 da rede antes do final do período da concessão. A alternativa 1 varia em relação a alternativa menos favorável cerca de 0,06%, neste caso a extensão a reabilitar para valores mínimos de qualidade seria a totalidade da extensão alvo de manutenção periódica.

Em termos de variação de custos de utentes, as alternativas 2 e 3 variam em relação à alternativa 1 (menos favorável), respetivamente, 25,13% e 30,36%, embora esta variação seja acentuada, a sua representatividade é baixa devido ao tráfego reduzido.

Os problemas encontrados na aplicação do programa a uma extensão significativa de uma rede rodoviária, devido à dificuldade e limitações encontradas na definição dos tipos, duração e momentos de conservação, sugerem que a sua utilização é mais adequada para a análise de extensões mais pequenas, por exemplo, ao nível do sublanço. A este nível, se se admitir que todas as ações de intervenção são aplicadas na mesma extensão, a introdução de dados no programa torna-se mais simples. Por forma a obter posteriormente o resultado para a totalidade da extensão pretendida realiza-se uma análise integrada somando os valores obtidos para cada sublanço.

Atendendo aos resultados obtidos recomenda-se para trabalho futuro a aplicação do programa “Realcost v2.5” aos sublanços da extensão analisada para comparação dos resultados das duas análises.

Propõe-se também a aplicação do programa a outro tipo de estradas com volumes de tráfego variados para avaliar a repartição dos diferentes custos e a inclusão da informação necessária para completar a avaliação dos custos dos utentes das estradas, assim como o estudo de alternativas de intervenção com tratamentos distintos, por forma a distinguir aqueles que menores custos representam a ambas as partes, administração e utentes.

BIBLIOGRAFIA

Lei n.º24/2007 de 18 de Julho. s.l. : Assembleia da República.

Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal, E.P.E. 2012. *Portugal - Ficha País*. Setembro de 2012.

An Application to Measure the Whole Life Cost and Whole Life Carbon Footprint of Pavement Maintenance. Finnie, Steven B. 2012. Nottingham, UK : URS Infrastructure & Environment UK Limited, 2012.

Anderson, Roy W. 1999. AASHTO - Issues New Report on Accidents in Work Zones. 1999.

Banco de Portugal, Eurosistema. Junho 2014. *Boletim Económico*. Lisboa : s.n., Junho de Junho 2014. ISSN 2182-0368.

Barry, Christopher R., Schwartz, Charles e Boudreau, Richard. 2006. *Geotechnical Aspects of Pavements*. Washington, D.C. : National Highway Institute, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2006. FHWA NHI-05-037.

Branco, Fernando, Pereira, Paulo e Santos, Luís Picado. 2011. *Pavimentos Rodoviários*. 4.^a Reimpressão. s.l. : Edições Almedina, S.A., 2011. ISBN 978-972-40-2648-0.

Bureau of Transport Economics. 1990. *Pavement Management: Development of a Life Cycle Costing Technique*. Bureau of Transport Economics. Australia : s.n., 1990.

Costa, Américo Henrique Pires da e Macedo, Joaquim Miguel Gonçalves. 2008. *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes. Níveis de Serviço em Estradas e Auto-estradas*. s.l. : CCDRN - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Dezembro de 2008.

Costa, Hugo Bernardo Campos Branquinho Matos da. 2008. *Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Instituto Superior Técnico : Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

E.P. - Estradas de Portugal S.A. Novembro de 2013. *Concessões Rodoviárias: Um Novo Paradigma Operacional - Relatório de Análise de Tráfego*. Novembro de 2013.

E.P. - Estradas de Portugal, S.A. 2010. "Designação das intervenções em Vias e Obras de Arte". Almada : s.n., 2010.

Fonseca, João. 2013. *Análise Comparativa de Soluções Adoptadas para a Reabilitação de Pavimentos Flexíveis que Integram a Rede Rodoviária Nacional*. *Dissertação para a Obtenção*

do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil de Vias de Comunicação e Transportes. s.l. : ISEL - Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2013.

Fontul, Simona. 2005. Caracterização do Estado dos Pavimentos. s.l. : LNEC, 2005.

Fuller, Sieglinde K. e Peterson, Stephen R. 1995. *Life-Cycle costing Manual*. Washington, DC 20585 : U.S. Department of Energy, Office of the Assistant Secretary for Conservation and Renewable Energy, Federal Energy Management Program, February 1996 de 1995. NIST Handbook 135.

Fundação Francisco Manuel dos Santos. 2014. Taxa de Inflação (Taxa de Variação - Índice de Preços no Consumidor) em Portugal. *PORTADATA - Base de dados Portugal Contemporâneo*. [Online] 06 de Agosto de 2014. [Citação: 29 de Julho de 2014.] <http://www.pordata.pt/>.

Galehouse, Larry. 2002. Strategic Planning for Pavement Preventive Maintenance. *Capital Preventive Maintenance Program*. Lansing, Michigan : Michigan Department of Transportation, 2002.

Inventário do Ciclo de Vida de Pavimentos Rodoviários . **Francisco, Angela, et al. 2011.** Rio de Janeiro, Brasil : XVI CILA - Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto, 2011. IBP2131_11.

J.A.E - Junta Autónoma da Estradas. 1997. Manual de Sinalização Temporária. 1997. Vols. Tomo I - Estradas com Dupla Faixa de Rodagem.

JAE - Junta Autónoma de Estradas. Norma de Traçado JAE P3/94.

Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure . **Rahman, S. e Vanier, D.J. 2004.** Toronto, Canadá : National Research Council Canada , 2004. NRCC-46774.

Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Management at Project Level. **Santos, J. e Ferreira, A. 2011.** 6 de October de 2011, International Journal of Pavement Engineering (ISI Journal), pp. 1-14. DOI:10.1080/10298436.2011.618535.

Life-Cycle Cost Analysis System for Pavement Management at Project Level: Sensitivity Analysis to the Discount Rate. **Santos, J. e Ferreira, A. 2012.** 3 de September de 2012, International Journal of Pavement Engineering (ISI Journal), pp. 1-19. DOI: 10.1080/10298436.2012.719618.

Morgado, J. e Neves, J. 2009. Accounting for user costs when planning pavement maintenance and rehabilitation activities . *Proceedings of the International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV6)*. Torino : s.n., 2009.

Morgado, João Gomes. 2012. *Road Pavement Maintenance and Rehabilitation Planning: An Integrated Approach*. Lisboa : Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos (DECivil), 29 de Fevereiro de 2012. Prova de Doutoramento em Engenharia Civil.

Pigman, Jerry G. e Agent, Kenneth R. 1988. *Analysis of Accidents In Construction and Maintenance Work Zones*. 1988.

Probabilistic Lifecycle Cost Optimization For Pavement Management at the Project-Level. **Jawad, Dima e Ozbay, Kaan. 2006.** Washington, D.C. : National Academy of Science, 2006.

Ristu, Teklezghi. 2012. *Pavement Evaluation Based on the Life-Cycle Cost Analysis: Application to a Typical Portuguese Motorway*. s.l. : Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2012.

Roberts, Jon e Roper, Ron. 1998. *The ARRB Integrated Project Level Pavement Performance And Life Cycle Costing Model for Sealed Granular Pavements*. ARRB Transport Research. Australia : s.n., 1998. ARR 324.

Santos, Bertha Maria Batista, Santos, Luís Guilherme Picado e Cavaleiro, Victor Manuel Pissarra. 2012. *Refinement of a simplified road-user cost model*. s.l. : Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport, 2012. ISSN: 0965-092X, E-ISSN: 1751-7710, DOI: 10.1680/tran.12.00057..

Santos, Bertha, et al. 5 - 7th September 2012. "User costs in road life-cycle cost evaluation and optimization", in Proceedings of the EPAM4 - 4th European Pavement and Asset Management Conference. Malmö, Sweden : s.n., 5 - 7th September 2012.

Santos, Bertha, Santos, Luís Picado e Cavaleiro, Victor. *Custos do Utente na Gestão da Conservação de Pavimentos Rodoviários: Metodologias existentes*.

Santos, Bertha, Santos, Luís Picado e Cavaleiro, Victor. 2013. *Custos dos Utentes para a Análise de Custos de Ciclo de Vida de Estradas Portuguesas*. 2013.

Santos, Luís Picado e Branco, Fernando E. F. 1996. *Vias de Comunicação*. 1ª. Coimbra : Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 1996. Vol. 1, LUT, edição de 2000/2001.

Scutvias - Autoestradas da Beira Interior, S.A. 2011. *Relatório de Gestão do Concelho de Administração Exercício de 2010*. Lisboa : s.n., 2011. Relatório e contas 2010.

Tavares, Manuel Jacinto Gonçalves. 2013. *Sistemas de apoio à conservação corrente. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*. s.l. : Universidade da Beira Interior, 2013.

U.S ROADS Road Management & Engineering Journal, AASHTO. 1987. *Issues New Report on Accidents in Work Zones.* [<http://www.usroads.com/journals/rmej/9904/rm990403.htm#top>] 1987.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management. 2002. Life-Cycle Cost Analysis Primer. 2002. FHWA IF-02-047.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration - Office of Asset Management. 2010. *Realcost v2.5 User Manual.* October de 2010. Life-Cycle Cost Analysis.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2013. - *Facts and Statistics - Work Zone Injuries and Fatalities.* [http://www.ops.fhwa.dot.gov/wz/resources/facts_stats/injuries_fatalities.htm] 2013.

Walls, James e Smith, Michael R. 1998. Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design- In Search of Better Investment Decisions. *Interim Technical Billetin.* U.S.A : Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1998. FHWA-SA-98-079.

WSDOT. 2007. *Washington State Department of Transportation.* [Online] 2007. www.wsdot.wa.gov.

Zhang, Han. 2009. *Sustainable Pavement Asset Management Based on Life-Cycle Models and Optimization Methods.* Center os Sustainable Systems, University of Michigan. EUA : s.n., 2009. CSS09-14.

ANEXOS

Anexo 1 - Dados de tráfego para aplicação do caso de estudo

A1.1 - TMDA para a extensão total da A23, sentido Norte-Sul, 2010

	Ext. R (km)	Norte - Sul		
		Ligeiros	Pesados	Total
g) IP6 Abrantes / Mouriscas				
Abrantes Oeste - Abrantes Este	4,8	2.227.602	394.337	2.621.939
Abrantes Este - Mouriscas	7,3	2.137.840	345.457	2.483.297
Total	12,1	4.365.442	739.794	5.105.236

c) IP2 Mouriscas / Gardete		Ext. R		
Mouriscas - Mação	8,4	1.652.830	282.162	1.934.992
Mação - Gavião	6,0	1.472.794	274.015	1.746.809
Gavião - Envendos	8,2	1.458.254	264.726	1.722.980
Envendos - Gardete	5,6	1.395.787	271.916	1.667.703
Total	28,2	5.979.665	1.092.819	7.072.484

d) IP2 Gardete / Castelo Branco		Ext. R		
Gardete - Riscada	4,8	1.544.789	297.067	1.841.856
Riscada - Fratel	4,5	1.514.370	306.869	1.821.239
Fratel - Perdigão	5,4	1.536.861	296.789	1.833.650
Perdigão - Alvaiade	4,8	1.787.160	319.777	2.106.937
Alvaiade - Sarnadas / Retaxo	11,4	1.874.890	333.816	2.208.706
Sarnadas / Retaxo - Castelo Branco Sul	4,4	1.893.460	323.711	2.217.171
Castelo Branco Sul - Hospital	5,7	1.525.268	283.130	1.808.398
Hospital - Castelo Branco Norte	3,7	1.383.471	284.449	1.667.920
Total	44,7	13.060.269	2.445.608	15.505.877

f) IP2 Castelo Branco / Alcaria		Ext. R		
Castelo Branco Norte - Alcains	7,9	2.377.177	287.935	2.665.112
Alcains - Lardosa	8,1	1.853.051	269.070	2.122.121
Lardosa - Soalheira	4,7	1.837.234	275.734	2.112.968
Soalheira - Castelo Novo	5,8	1.781.480	274.945	2.056.425
Castelo Novo - Fundão	5,5	1.851.016	327.028	2.178.044
Fundão - Alcaria	4,2	1.892.280	270.086	2.162.366
Total	36,2	11.592.238	1.704.798	13.297.036

e) IP2 Túnel da Gardunha	2,3	1.851.016	327.028	2.178.044
---------------------------------	------------	------------------	----------------	------------------

a) IP2 Alcaria / Teixoso		Ext. R		
Alcaria - Covilhã Sul	6,6	1.783.751	265.503	2.049.254
Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8	1.110.716	242.271	1.352.987
Covilhã Norte - Belmonte Sul	9,1	1.549.973	264.339	1.814.312
Total	21,5	4.444.440	772.113	5.216.553

b) IP2 Teixoso / Guarda		Ext. R		
Belmonte Sul - Belmonte Norte	8,5	1.298.954	251.488	1.550.442
Belmonte Norte - Benespera	9,0	1.391.448	257.131	1.648.579
Benespera - Guarda	9,6	1.469.581	259.349	1.728.930
Guarda - Pinhel	5,4	1.325.582	273.825	1.599.407
Total	32,5	5.485.565	1.041.793	6.527.358

Total	177,5	44.927.619	7.796.925	52.724.544
-------	-------	------------	-----------	------------

Veiculos_kms	295.710.679	50.976.116	346.686.794
TMDA_Extensão	810.166	139.661	949.827
TMDA	4.564	787	5.351

Peso das classes (TMDA)	43,17%	7,44%	50,61%
-------------------------	--------	-------	--------

A1.2 - TMDA extensão total da A23, sentido Sul-Norte, 2010.

	Ext. R (km)	Norte - Sul		
		Ligeiros	Pesados	Total
g) IP6 Abrantes / Mouriscas				
Abrantes Oeste - Abrantes Este	4,8	2.193.150	355.127	2.548.277
Abrantes Este - Mouriscas	7,3	2.146.343	313.852	2.460.195
Total	12,1	4.339.493	668.979	5.008.472

c) IP2 Mouriscas / Gardete		Ext. R		
Mouriscas - Mação	8,4	1.669.807	238.061	1.907.868
Mação - Gavião	6,0	1.487.699	229.782	1.717.481
Gavião - Envendos	8,2	1.459.539	230.514	1.690.053
Envendos - Gardete	5,6	1.422.647	227.991	1.650.638
Total	28,2	6.039.692	926.348	6.966.040

d) IP2 Gardete / Castelo Branco		Ext. R		
Gardete - Riscada	4,8	1.540.900	256.145	1.797.045
Riscada - Fratel	4,5	1.512.427	263.263	1.775.690
Fratel - Perdigão	5,4	1.532.501	257.310	1.789.811
Perdigão - Alvaiade	4,8	1.785.724	290.571	2.076.295
Alvaiade - Sarnadas / Retaxo	11,4	1.870.027	291.939	2.161.966
Sarnadas / Retaxo - Castelo Branco Sul	4,4	1.880.634	286.024	2.166.658
Castelo Branco Sul - Hospital	5,7	1.472.031	240.444	1.712.475
Hospital - Castelo Branco Norte	3,7	1.298.712	242.309	1.541.021
Total	44,7	12.892.956	2.128.005	15.020.961

f) IP2 Castelo Branco / Alcaria		Ext. R		
Castelo Branco Norte - Alcains	7,9	2.362.765	245.755	2.608.520
Alcains - Lardosa	8,1	1.888.481	228.045	2.116.526
Lardosa - Soalheira	4,7	1.824.696	237.134	2.061.830
Soalheira - Castelo Novo	5,8	1.782.911	232.587	2.015.498
Castelo Novo - Fundão	5,5	1.903.587	231.794	2.135.381
Fundão - Alcaria	4,2	1.859.900	230.598	2.090.498
Total	36,2	11.622.340	1.405.913	13.028.253

e) IP2 Túnel da Gardunha	2,3	1.903.587	231.794	2.135.381
---------------------------------	------------	------------------	----------------	------------------

a) IP2 Alcaria / Teixoso		Ext. R		
Alcaria - Covilhã Sul	6,6	1.764.174	229.383	1.993.557
Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8	1.114.229	207.105	1.321.334
Covilhã Norte - Belmonte Sul	9,1	1.518.068	234.427	1.752.495
Total	21,5	4.396.471	670.915	5.067.386

b) IP2 Teixoso / Guarda		Ext. R		
Belmonte Sul - Belmonte Norte	8,5	1.283.375	210.953	1.494.328
Belmonte Norte - Benespera	9,0	1.383.574	216.249	1.599.823
Benespera - Guarda	9,6	1.464.347	222.944	1.687.291
Guarda - Pinhel	5,4	1.298.891	225.240	1.524.131
Total	32,5	5.430.187	875.386	6.305.573

Total	177,5	44.721.139	6.675.546	51.396.685
Veiculos_kms		294.813.315	43.566.167	338.379.482
TMDA_Extensão		807.708	119.359	927.067
TMDA		4.550	672	5.223
Peso das classes (TMDA)		43,03%	6,36%	49,39%

A1.3 - TMDA para a extensão em análise

Norte - Sul												
	C	D	E	F	G	H	I	J	LIG	PES	TOT	
d) IP2 Gardete / Castelo Branco	Ext. (km)											
Castelo Branco Sul - Hospital	5,7	6.263	1.413.567	105.438	35.805	11.775	221.266	13.881	403	1.525.268	283.130	1.808.398
Hospital - Castelo Branco Norte	3,7	5.876	1.279.528	98.067	35.996	12.834	221.782	13.427	410	1.383.471	284.449	1.667.920
Total	9,4	12.139	2.693.095	203.505	71.801	24.609	443.048	27.308	813	2.908.739	567.579	3.476.318
f) IP2 Castelo Branco / Alcaria	Ext. R											
Castelo Branco Norte - Alcains	7,9	8.950	2.218.826	149.401	47.247	15.128	205.242	18.318	2.000	2.377.177	287.935	2.665.112
Alcains - Lardosa	8,1	8.483	1.712.081	132.487	43.592	11.470	197.194	16.452	362	1.853.051	269.070	2.122.121
Lardosa - Soalheira	4,7	7.268	1.693.416	136.550	44.078	11.497	199.976	18.113	2.070	1.837.234	275.734	2.112.968
Soalheira - Castelo Novo	5,8	7.868	1.633.681	139.931	45.311	13.026	198.448	17.329	831	1.781.480	274.945	2.056.425
Castelo Novo - Fundão	5,5	11.781	1.709.048	130.187	77.555	14.632	215.808	16.860	2.172	1.851.016	327.028	2.178.044
Fundão - Alcaria	4,2	8.618	1.740.712	142.950	44.923	13.696	193.908	16.039	1.520	1.892.280	270.086	2.162.366
Total	36,2	52.968	10.707.764	831.506	302.707	79.449	1.210.576	103.111	8.955	11.592.238	1.704.798	13.297.036
e) IP2 Túnel da Gardunha	2,3	11.781	1.709.048	130.187	77.556	14.632	215.808	16.860	2.172	1.851.016	327.028	2.178.044
a) IP2 Alcaria / Teixoso	Ext. R											
Alcaria - Covilhã Sul	6,6	7.850	1.646.611	129.290	41.825	14.769	192.244	14.805	1.860	1.783.751	265.503	2.049.254
Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8	4.762	1.010.305	95.649	31.280	12.621	187.315	10.498	557	1.110.716	242.271	1.352.987
Total	12,4	12.612	2.656.916	224.939	73.105	27.390	379.559	25.303	2.417	2.894.467	507.774	3.402.241
Total	61	77.719	16.057.775	1.259.950	447.613	131.448	2.033.183	155.722	12.185	17.395.444	2.780.151	20.175.595
Veiculos_kms		484.169	98.991.538	7.694.569	2.784.673	798.938	12.244.332	949.888	75.927	107.170.276	16.853.758	124.024.034
TMDA_Extensão		1.326	271.210	21.081	7.629	2.189	33.546	2.602	208	293.617	46.175	339.792
TMDA		22	4.498	350	127	36	556	43	3	4.869	766	5.635
Peso das classes (TMDA)		0,20%	40,43%	3,14%	1,14%	0,33%	5,00%	0,39%	0,03%	43,77%	6,88%	50,65%

Sul - Norte												
		C	D	E	F	G	H	I	J	LIG	PES	TOT
d) IP2 Gardete / Castelo Branco		Ext. (km)										
Castelo Branco Sul - Hospital	5,7	6.561	1.361.223	104.247	34.889	9.318	182.372	13.528	337	1.472.031	240.444	1.712.475
Hospital - Castelo Branco Norte	3,7	5.584	1.194.803	98.325	34.441	10.029	184.879	12.612	348	1.298.712	242.309	1.541.021
Total	9,4	12.145	2.556.026	202.572	69.330	19.347	367.251	26.140	685	2.770.743	482.753	3.253.496
f) IP2 Castelo Branco / Alcaria												
		Ext. R										
Castelo Branco Norte - Alcains	7,9	9.147	2.199.150	154.468	47.397	10.927	168.424	18.689	318	2.362.765	245.755	2.608.520
Alcains - Lardosa	8,1	5.118	1.752.039	131.324	42.930	9.138	160.853	14.835	289	1.888.481	228.045	2.116.526
Lardosa - Soalheira	4,7	7.045	1.677.245	140.406	45.858	9.785	162.187	19.028	276	1.824.696	237.134	2.061.830
Soalheira - Castelo Novo	5,8	6.872	1.640.522	135.517	42.691	9.773	160.341	19.477	305	1.782.911	232.587	2.015.498
Castelo Novo - Fundão	5,5	7.752	1.754.880	140.955	43.544	11.167	159.532	17.197	354	1.903.587	231.794	2.135.381
Fundão - Alcaria	4,2	9.520	1.705.458	144.922	44.659	8.380	161.234	16.014	311	1.859.900	230.598	2.090.498
Total	36,2	45.454	10.729.294	847.592	267.079	59.170	972.571	105.240	1.853	11.622.340	1.405.913	13.028.253
e) IP2 Túnel da Gardunha												
	2,3	7.752	1.754.880	140.955	43.544	11.167	159.532	17.197	354	1.903.587	231.794	2.135.381
a) IP2 Alcaria / Teixoso												
		Ext. R										
Alcaria - Covilhã Sul	6,6	12.047	1.592.844	159.283	48.779	9.330	155.953	14.620	701	1.764.174	229.383	1.993.557
Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8	4.600	1.005.332	104.297	34.329	9.209	151.267	11.838	462	1.114.229	207.105	1.321.334
Total	12,4	16.647	2.598.176	263.580	83.108	18.539	307.220	26.458	1.163	2.878.403	436.488	3.314.891
Total	60,3	74.246	15.883.496	1.313.744	419.517	97.056	1.647.042	157.838	3.701	17.271.486	2.325.154	19.596.640
Veiculos_kms		451.385	98.337.306	8.052.251	2.559.869	590.523	9.877.459	960.527	22.501	106.840.941	14.010.879	120.851.820
TMDA_Extensão		1.237	269.417	22.061	7.013	1.618	27.062	2.632	62	292.715	38.386	331.101
TMDA		21	4.468	366	116	27	449	44	1	4.854	637	5.491
Peso das classes (TMDA)		0,18%	40,16%	3,29%	1,05%	0,24%	4,03%	0,39%	0,01%	43,63%	5,72%	49,35%

TMDA total nas duas direcções		11.126	
	TMDA	TMDA %	
Ligeiros	8.966	80,58%	
“Single unit trucks” total	243	2,18%	
“Combination trucks” total	736	9,60%	
Total “trucks + bus”	1.398	12,56%	

Classe	Descrição
C	Motociclos com ou sem <i>side-car</i> - motociclos com duas ou três rodas (veículos com motor de cilindrada superior a 50 cm ³). Estes veículos têm chapa de matrícula do tipo automóvel.
D	Automóveis (ligeiros de passageiros) - veículos para o transporte de pessoas comportando no máximo, nove lugares, incluindo o motorista, com ou sem reboque.
E	Ligeiros de mercadorias - veículos cuja carga útil não exceda 3500 kg, quer tenham ou não reboque.
F	Camiões - veículos cuja carga útil exceda 3500 kg e com dois ou mais eixos, sem reboque.
G	Camiões com um ou mais reboques.
H	Tractores com semi-reboque. Tractores com semi-reboque e um ou mais reboques. Tractores com um ou mais reboques.
I	Autocarros e <i>trolleybus</i>
J	Tractores sem reboque ou semi-reboque. Veículos especiais (cilindros, <i>bulldozers</i> e outras máquinas de terraplanagem, gruas móveis, carros de assalto militares, etc.).

Anexo 2 - Tabelas de custos e rendimentos E.P. (Morgado, 2012)

Segundo Morgado (2012), os custos e rendimentos de algumas intervenções comuns, obtidos a partir de informação divulgada por algumas entidades em Portugal são os apresentados na Tabela A2.1.

Tabela A2.1: Custos e produtividade de cada atividade considerada.

Atividade	Custo [€/m ²]	Productividade [m ² /h]	
		Com mudança de turnos	Sem mudança de turnos
Fresagem (até 5 cm de profundidade)	2.00	900	700
Colocação de camada betuminosa (para reforço, 4 cm de espessura)	4.40	700	550
Colocação de camada de desgaste (tradicional, 4 cm espessura)	4.80	850	650
Colocação de camada de desgaste (exigindo pavimentação da largura total, 4 cm espessura)	5.90	850	650

De acordo com Morgado (2012), no caso de combinação de atividades como fresagem e aplicação de nova camada betuminosa, o rendimento a considerar é o mais baixo.

Segundo Morgado (2012), a Tabela A2.2 apresenta os valores calculados para a duração de cada uma das intervenções de conservação e reabilitação consideradas e para os valores das durações, admitiu-se uma análise em troços com a extensão de 10 km e duas vias em cada sentido com largura de 3,5 m (de modo a ter uma duração das intervenções por troço e não por m²).

Tabela A2.2 - Duração de cada uma das atividades para uma extensão de 10 km e duas vias em cada sentido com largura de 3,5 m

Id.	Intervenção (combinação de ações)	Duração (dias)
1	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BD (5 cm)	29
2	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	28
3	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MBD (5 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	39
4	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (7 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	42
5	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (8 cm), nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	42
6	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm	37
7	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm, camada de desgaste em BDRug (4 cm)	47
8	Limpeza e selagem de fendas transversais (em pavimentos semi-rígidos)	4
9	Reparação pontual de juntas transversais (em 5% das juntas), limpeza e selagem de juntas longitudinais e transversais (em BC)	14
10	Limpeza e selagem de juntas longitudinais (em BAC)	7
11	Reabilitação da textura superficial através de grenalhagem (em pavimentos rígidos)	18
12	Microfresagem e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	19
13	Microfresagem, membrana anti-fissuras (SAMI) e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	30

Determinação rendimento fresagem + reposição de camada de desgaste:

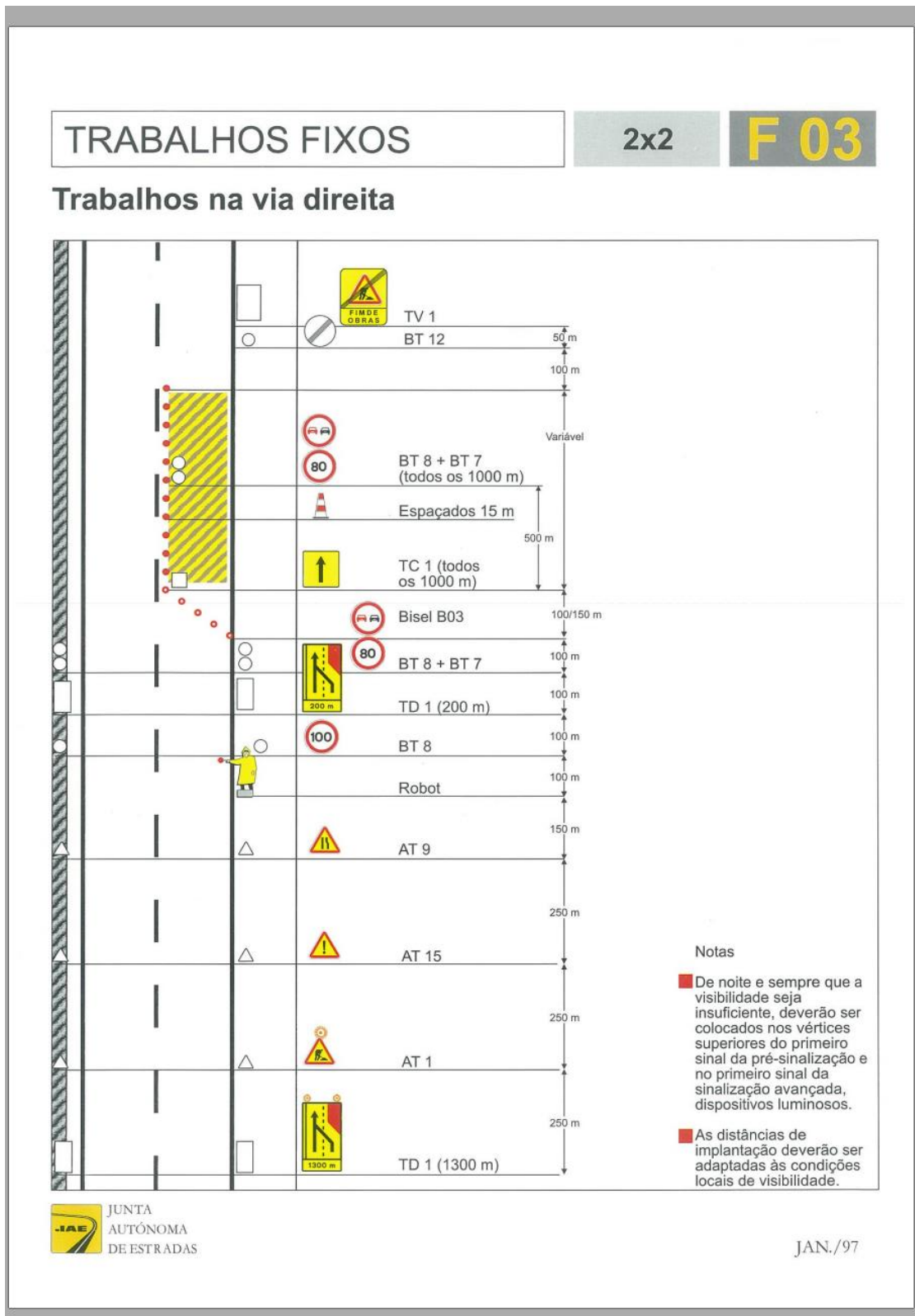
29 dias/10 km/2 vias

14,5 dias/10 km/via

1,45 dias/km/via

Anexo 3 - Definição das distâncias de sinalização

A3.1 - Definição da distância de sinalização para intervenções na via da direita (J.A.E - Junta Autónoma das Estradas, 1997).



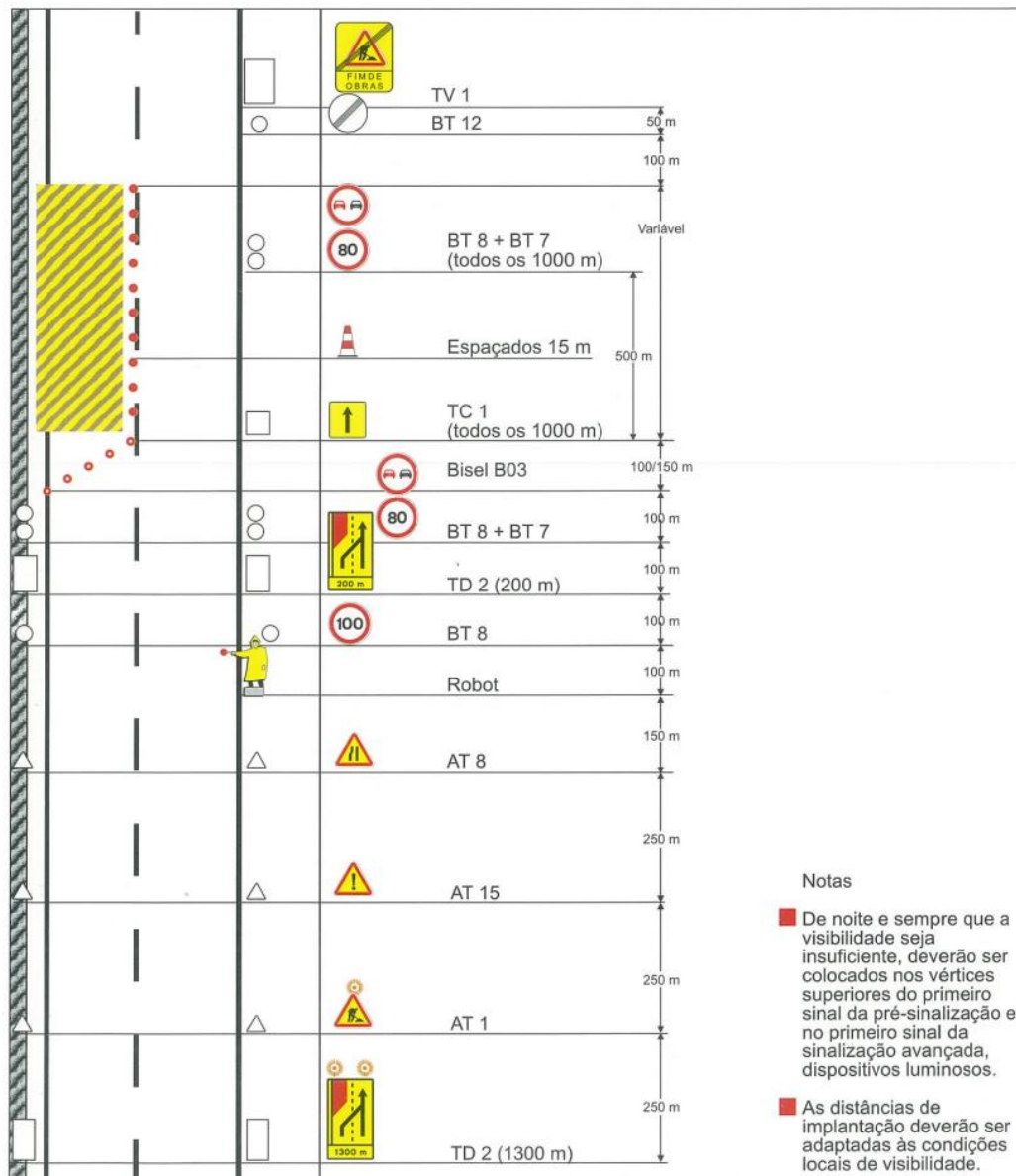
A3.2 - Definição da distância de sinalização para intervenções na via da esquerda (J.A.E - Junta Autónoma da Estradas, 1997).

TRABALHOS FIXOS

2x2

F 05

Trabalhos na via esquerda



Notas

- De noite e sempre que a visibilidade seja insuficiente, deverão ser colocados nos vértices superiores do primeiro sinal da pré-sinalização e no primeiro sinal da sinalização avançada, dispositivos luminosos.
- As distâncias de implantação deverão ser adaptadas às condições locais de visibilidade.

Anexo 4 - Exemplo de relatório passo a passo do programa RealCost v2.5 para os custos dos utentes da alternativa 1 (segundo um sentido de tráfego)

Step 1 - Determine Inputs		
1. Economic Variables		
Value of Time for Passenger Cars (\$/hour)	7,5	
Value of Time for Single Unit Trucks (\$/hour)	10,40	
Value of Time for Combination Trucks (\$/hour)	10,40	
2. Analysis Options		
Use Differential User Costs	Yes	
Traffic Direction	Both	
4. Traffic Data		
AADT Construction Year (total for both directions)	5.919	
Cars as Percentage of AADT (%)	88	
Single Unit Trucks as Percentage of AADT (%)	2,2	
Combination Trucks as Percentage of AADT (%)	9,6	
Annual Growth Rate of Traffic (%)	1,7	
Speed Limit Under Normal Operating Conditions (mph)	120	
No of Lanes in Each Direction During Normal Conditions	2	
Free Flow Capacity (vphpl)	1868	
Rural or Urban Hourly Traffic Distribution	Rural	
Queue Dissipation Capacity (vphpl)	1668	
Maximum AADT (total for both directions)	28.648	
Maximum Queue Length (miles)	10,0	
AADT Activity Year	5.919	
5. Construction		
<i>Alternative</i>	Reabilitação	
Activity	Fresagem 5cm;camada de desgaste 5 cm; em 81 km	
Work Zone Duration (days)	118	
No of Lanes Open in Each Direction During Work Zone	1	
Work Zone Length (miles)	2,3	
Work Zone Speed Limit (mph)	40	
Work Zone Capacity (vphpl)	1340	
Time of Day of Lane Closures (use whole numbers based on a 24-hour clock)		
<i>Inbound</i>	Start	End
First period of lane closure	0	7
Second period of lane closure	21	24
Third period of lane closure		
<i>Outbound</i>	Start	End
First period of lane closure	0	7
Second period of lane closure	21	24
Third period of lane closure		

Step 2. Build hourly demand and capacity matrix					
Hour	Work Zone	Hourly Traffic Demand and Roadway Capacity (vph)			
		% AADT	Demand	Capacity	Queue Rate
0 - 1	Yes	0,5%	32	1340	(1308)
1 - 2	Yes	0,4%	23	1340	(1317)
2 - 3	Yes	0,2%	9	1340	(1331)
3 - 4	Yes	0,1%	6	1340	(1334)
4 - 5	Yes	0,2%	12	1340	(1328)
5 - 6	Yes	0,3%	20	1340	(1320)
6 - 7	Yes	0,6%	36	1340	(1304)
7 - 8	No	1,5%	87	3736	(3649)
8 - 9	No	2,7%	157	3736	(3579)
9 - 10	No	3,0%	178	3736	(3558)
10 - 11	No	3,2%	192	3736	(3544)
11 - 12	No	3,1%	186	3736	(3550)
12 - 13	No	3,7%	221	3736	(3515)
13 - 14	No	2,9%	172	3736	(3564)
14 - 15	No	3,3%	197	3736	(3539)
15 - 16	No	3,3%	194	3736	(3542)
16 - 17	No	3,3%	198	3736	(3538)
17 - 18	No	4,0%	235	3736	(3501)
18 - 19	No	4,3%	255	3736	(3481)
19 - 20	No	3,6%	216	3736	(3520)
20 - 21	No	2,6%	154	3736	(3582)
21 - 22	Yes	1,7%	101	1340	(1239)
22 - 23	Yes	1,3%	75	1340	(1265)
23 - 24	Yes	1,3%	77	1340	(1263)
Daily Totals		51,2%	3032	65704	

Step 5 & 6. Determine/Quantify hourly traffic effects and cost components.

WZ Reduced Speed Delay Costs			
Delay Time (hr/v)	AUTO \$	SU \$	COMBO \$
0,038333	\$8	\$0	\$1
0,038333	\$6	\$0	\$1
0,038333	\$2	\$0	\$0
0,038333	\$1	\$0	\$0
0,038333	\$3	\$0	\$0
0,038333	\$5	\$0	\$1
0,038333	\$9	\$0	\$1
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
0,038333	\$26	\$1	\$4
0,038333	\$19	\$1	\$3
0,038333	\$20	\$1	\$3
	\$99	\$3	\$15

Step 5 & 6. Determine/Quantify hourly traffic effects and cost components.								
Queue Hourly Parameters			Queue Reduced Speed Delay Costs			Queue Idling VOC		
Speed (MPH)	Length (miles)	Delay Time (hr/v)	AUTO \$	SU \$	COMBO \$	AUTO \$	SU \$	COMBO \$
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0

Nota: não foi considerado na análise

