

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM ESTRADAS DE FAIXA DE RODAGEM ÚNICA SEGUNDO O HCM 2010

VÁLTER IÚRI VALENTE DE AZEREDO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Carlos Manuel Rodrigues

JUNHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais, família e amigos

Investir no conhecimento rende sempre melhores juros

Benjamin Franklin

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, professor doutor Carlos Rodrigues por toda ajuda e tempo disponibilizado ao longo desta etapa. Agradeço também ao engenheiro António Lobo pela ajuda e esclarecimentos sobre o Viacount II. E por fim gostaria de agradecer ao meu colega de curso e amigo Cristiano Moreira pela ajuda prestada na montagem do Viacount II.

RESUMO

Com o aumento progressivo do número de veículos e consequente degradação das condições de circulação rodoviária, tornou-se clara a necessidade de criar metodologias de análise de funcionamento quer para as estradas existentes quer para os novos projetos a desenvolver. Foi então criada nos Estados Unidos uma comissão com o fim de desenvolver essas metodologias, que mais tarde viriam a ser publicadas no Highway Capacity Manual (HCM).

Este Manual introduziu conceitos como capacidade e nível de serviço, sendo este último uma medida qualitativa que avalia a qualidade do serviço que cada estrada proporciona aos seus utilizadores. Foram definidos então seis níveis de serviço de A a F, correspondendo o nível A às melhores condições de escoamento e F às piores.

O Highway Capacity Manual apresenta metodologias baseadas no sistema rodoviário norte-americano, mas devido ao seu enorme sucesso, o manual foi adotado por diversos países, nos quais Portugal está incluído.

Com a presente dissertação pretendeu-se analisar as metodologias para determinação do nível de serviço referentes a estradas rurais de duas vias, descritas pelas últimas edições dos manuais, que são o HCM 2000 e o HCM 2010, referindo as principais diferenças entre elas e verificar a adequabilidade da metodologia descrita no manual de 2010, nomeadamente às condições existentes em Portugal. A dissertação conta também com a aplicação da metodologia do HCM 2010 a um caso real, com posterior análise de resultados e verificação da adequabilidade da metodologia ao sistema rodoviário português.

PALAVRAS-CHAVE: Nível de serviço, Estradas rurais de duas vias, Sistema rodoviário português, Highway Capacity Manual

ABSTRACT

With the gradual increase of the number of vehicles and consequent degradation of the circulation conditions, it became clear the need to develop analysis procedures for existent roads and for develop new projects. A committee was then established to develop these procedures, which would later be published in the Highway Capacity Manual (HCM).

This Manual has introduced concepts such as capacity and level of service, the latter being a qualitative measure, which evaluates the quality of service that each road provides to its users. Six levels of service were then defined from A to F, corresponding to the level A the best flow conditions and F the worst.

The Highway Capacity Manual provides procedures based on the U.S. highway system, but due to its enormous success, the manual has been adopted by several countries where Portugal is included.

This thesis intends to analyze the procedures for determining the level of service, related to two lane highways described in the latest editions of HCM, which are the HCM 2000 and HCM 2010, referring the major differences between them and verify the suitability of the procedures described in 2010's manual for Portugal's conditions. This thesis also includes the application of the methodology of the HCM 2010 to a real case, with subsequent analysis of results and verification of the suitability of the methodology to the Portuguese road system.

KEYWORDS: Highway Capacity manual, Level of Service, Two lane highways, Portuguese road system.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. HISTÓRIA DO HCM	1
1.3. OBJETIVOS E ESTRUTURA	5
 2. METODOLOGIAS DE ANÁLISE	 7
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.1.1. ESTRADAS DE DUAS VIAS	7
2.1.2. CARACTERIZAÇÃO DAS CORRENTES DE TRÁFEGO	8
2.1.3. NÍVEIS DE SERVIÇO	8
2.2. METODOLOGIA DO HCM 2000	9
2.2.1. CAPACIDADE	9
2.2.2. NÍVEIS DE SERVIÇO	9
2.2.3. TIPOS DE ANÁLISE	10
2.2.4. RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DE TRÁFEGO	11
2.2.5. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE	12
2.2.6. ANÁLISE PARA OS DOIS SENTIDOS	14
2.2.6.1. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	14
2.2.6.2. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO	16
2.2.7. ANÁLISE PARA UM SENTIDO	19
2.2.7.1. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	19
2.2.8. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO	20
2.2.9. TROÇOS EXTENSOS, TRAVEIS ASCENDENTES E DESCENDENTES	22
2.2.10. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO	28
2.3. METODOLOGIA DO HCM 2010	29
2.3.1. CAPACIDADE	29
2.3.2. NÍVEIS DE SERVIÇO	29

2.3.3. TIPOS DE ANÁLISE	29
2.3.4. RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS	29
2.3.5. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE	30
2.3.6. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	32
2.3.7. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO.....	38
2.3.8. DETERMINAÇÃO DA PFFS	41
2.3.9. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO	42
2.4. CASOS ESPECIAIS	42

3. COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS..... 43

3.1. Introdução..... 43

3.2. Comparação 43

3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS DE DUAS VIAS.....	43
3.2.2. CONDIÇÕES BASE.....	43
3.2.3. TIPOS DE ANÁLISE	44
3.2.4. CAPACIDADE.....	44
3.2.5. NÍVEIS DE SERVIÇO	44
3.2.6. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE	44
3.2.7. VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	45
3.2.8. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO	46
3.2.9. PERCENTAGEM DE VIAGEM A QUE O CONDUTOR CONSEGUE VIAJAR À VELOCIDADE EM REGIME LIVRE..	46
3.2.10. EFEITO DO TIPO DE TERRENO.....	46
3.2.11. FATOR DE AJUSTE DEVIDO A ZONAS DE NÃO ULTRAPASSAGEM	47
3.2.12. ANÁLISE DE ALGUNS EXEMPLOS PRÁTICOS	47
3.2.12.1. DADOS DO PROBLEMA	47
3.2.12.2. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2000.....	47
3.2.12.3. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2010.....	49
3.2.12.4. DADOS DO PROBLEMA	50
3.2.12.5. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2000.....	51
3.2.12.6. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2010.....	51
3.2.12.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52

4. ESTUDO DE CASO	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.2. ESTRADA NACIONAL 222	55
4.3. RECOLHA DE DADOS	55
4.4. TROÇOS EM ESTUDO	57
4.4.1. TROÇO 1	57
4.4.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	57
4.4.2. TROÇO 2	57
4.4.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	58
4.5. MEDIÇÕES	58
4.6. DADOS	58
4.7. RESULTADOS	62
4.7.1. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE	63
4.7.2 VOLUMES DE TRÁFEGO	63
4.7.3 VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	66
4.7.4. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO	68
4.7.5. NÍVEL DE SERVIÇO	72
4.8. ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
4.8.1. VOLUMES DE TRÁFEGO	74
4.8.2. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE	76
4.8.3. VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO	77
4.8.4. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO	77
4.8.5. NÍVEL DE SERVIÇO	77
5. CONCLUSÃO	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Caracterização dos traineis isolados e dos troços extensos em estradas de 2 vias	11
Figura 2.2 - Velocidade média de percurso vs Débito nos 2 sentidos	11
Figura 2.3 - Tempo de percurso com atraso vs Débito nos 2 sentidos	11
Figura 2.4 - Velocidade média de percurso vs Débito em 1 via	12
Figura 2.5 - Tempo de percurso com atraso vs Débito em 1 via	12
Figura 2.6 - Nível de Serviço para estradas de duas vias da Classe I	28
Figura 2.7 - Velocidade média de percurso vs Débito em 1 via	30
Figura 2.8 - Tempo de percurso com atraso vs Débito em 1 via	30
Figura 4.1 – Componentes do viacount	56
Figura 4.2 – Instalação na posição lateral e lateral por cima.....	56
Figura 4.3 - Sombra no Radar (veículo ligeiro) na via mais afastada.....	56
Figura 4.4 – Estrada nacional 222 (troço1)	57
Figura 4.5 – Estrada nacional 222 (troço 2)	58
Figura 4.6 – Volumes de tráfego para o troço 1 relativos a dia 31 de maio	75
Figura 4.7 – Volumes de tráfego para o troço 2 relativos a dia 31 de maio	75
Figura 4.8 – Volumes de tráfego para o troço 1 relativos a dia 1 de junho	75
Figura 4.9 – Volumes de tráfego para o troço 2 relativos a dia 1 de junho	76

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 2.1 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe I	9
Quadro 2.2 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe II	9
Quadro 2.3 - Ajustamento devido à largura das vias e das bermas	14
Quadro 2.4 - Ajustamento devido aos pontos de acesso	14
Quadro 2.5 - Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem (f_{np}) na velocidade média de percurso	15
Quadro 2.6 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno (f_G) para determinação da velocidade média de percurso.....	16
Quadro 2.7 - Fatores de Equivalência para pesados e RVs para determinação de velocidades	16
Quadro 2.8 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno (f_G) para determinação do tempo de percurso com atraso.....	17
Quadro 2.9 - Fatores de Equivalência para pesados e RVs para determinação do tempo de percurso com atraso.....	17
Quadro 2.10 - Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem	18
Quadro 2.11 - Fator de ajustamento (f_{np}) devido às zonas de não ultrapassagem a considerar no cálculo da velocidade média de percurso	19
Quadro 2.12 - Valores para os coeficientes a e b utilizados na estimativa do tempo de percurso com atraso base.....	20
Quadro 2.13 - Fator de ajustamento do tempo de percurso com atraso devido às zonas de não ultrapassagem	21
Quadro 2.14 - Fator de ajustamento devido ao declive dos traneis para a estimativa da velocidade média de percurso em traneis ascendentes	23
Quadro 2.15 - Fator de ajustamento devido ao declive dos traneis para a estimativa do tempo de percurso com atraso em traneis ascendentes	24
Quadro 2.16 - Fator de Equivalência para os camiões na estimativa da velocidade média de percurso em traneis ascendentes	25
Quadro 2.17 - Fator de Equivalência para veículos de recreio na estimativa da velocidade média de percurso em traneis ascendentes	26
Quadro 2.18 - Fator de Equivalência para camiões e RVs na estimativa do tempo de percurso com atraso em traneis ascendentes	27
Quadro 2.19 - Fator de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traneis descendentes	28
Quadro 2.20 – Caracterização do nível de serviço para classes I, II e III de estradas de duas vias	29

Quadro 2.21 - Ajustamento devido à largura das vias e das bermas	32
Quadro 2.22 - Ajustamento devido aos pontos de acesso.....	32
Quadro 2.23 – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para terreno plano,ondulado e traineis descendentes, para cálculo da ATS.....	33
Quadro 2.24 - Fatores de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados para tereno plano e ondulado e traineis descendentes.....	33
Quadro 2.25 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo da ATS	34
Quadro 2.26 - Coeficientes de equivalência de caminhões em veículos ligeiros de passageiros para cálculo da velocidade média de percurso em traineis ascendentes	35
Quadro 2.27 - Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros em traineis ascendentes para cálculo da velocidade média de percurso.....	36
Quadro 2.28 - Fator de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traineis descendentes	36
Quadro 29 - Fator de ajustamento (fnp) devido às zonas de não ultrapassagem a considerar no cálculo da velocidade média de percurso	37
Quadro 2.30 - Valores para os coeficientes a e b utilizados na estimativa do tempo de percurso com atraso base	38
Quadro 2.31 – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno, para terreno plano e ondulado e para traineis descendentes, para cálculo do PTSF.....	38
Quadro 2.32 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo do PTSF.....	39
Quadro 2.33 - Fatores de Equivalência para estimativa do efeito no tempo de percurso com atraso dos pesados para tereno plano e ondulado e traineis descendentes.....	39
Quadro 2.34 - ET e ER para estimativa do tempo total de percurso com atraso	40
Quadro 2.35 - Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego (fnp) e da percentagem de zonas de não ultrapassagem para determinação de PTSF.....	41
Quadro 3.1 – Níveis de serviço segundo HCM 2000 e HCM 2010 para Estradas de duas vias de classe I e II.....	44
Quadro 3.2 – Quadro resumo.....	52
Quadro 4.1 – Dados relativos ao dia 31 de maio para o troço 1.....	59
Quadro 4.2 - Dados relativos ao dia 31 de maio para o troço 2.....	60
Quadro 4.3 - Dados relativos ao dia 1 de junho para o troço 1.....	61
Quadro 4.4 - Dados relativos ao dia 1 de junho para o troço 2.....	62
Quadro 4.5 – FFS para troço 1.....	63
Quadro 4.6 – FFS para troço 2.....	63
Quadro 4.7 – Volumes relativos ao troço 1 para o dia 31 de maio	64

Quadro 4.8 – Volumes relativos ao troço 2 para o dia 31 de maio	64
Quadro 4.9 – Volumes relativos ao troço 1 para o dia 1 de junho	65
Quadro 4.10 – Volumes relativos ao troço 2 para o dia 1 de junho	65
Quadro 4.11 – Velocidade média de percurso para o troço 1 relativa ao dia 31 de maio	66
Quadro 4.12 - Velocidade média de percurso para o troço 2 relativa ao dia 31 de maio	66
Quadro 4.13 - Velocidade média de percurso para o troço 1 relativa ao dia 1 de junho	67
Quadro 4.14 - Velocidade média de percurso para o troço 2 relativa ao dia 1 de junho	67
Quadro 4.15 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Avintes – Lever no dia 31 de maio	68
Quadro 4.16 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Lever – Avintes no dia 31 de maio	69
Quadro 4.17 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Avintes – Lever no dia 31 de maio	69
Quadro 4.18 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Lever – Avintes no dia 31 de maio	70
Quadro 4.19 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Avintes – Lever no dia 1 de junho	70
Quadro 4.20 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Lever – Avintes no dia 1 de junho	71
Quadro 4.21 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Avintes – Lever no dia 1 de junho	71
Quadro 4.22 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Lever – Avintes no dia 1 de junho	72
Quadro 4.23 – Nível de serviço relativo ao troço 1 para o dia 31 de maio	73
Quadro 4.24 – Nível de serviço relativo ao troço 2 para o dia 31 de maio	73
Quadro 4.25 – Nível de serviço relativo ao troço 1 para o dia 1 de junho	74
Quadro 4.26 – Nível de serviço relativo ao troço 2 para o dia 1 de junho	74

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

DEC - Departamento de Engenharia Civil

HCM – Highway Capacity Manual

FFS – Velocidade em regime livre [km/h]

ATS – Velocidade média de percurso [km/h]

S_{FM} – Velocidade média de tráfego, medida no local (km/h)

f_{HV} – Fator de ajustamento relativo aos veículos pesados

P_T – Proporção de caminhões na corrente de tráfego

E_T – Fator de equivalência de caminhões em veículos ligeiros de passageiros

P_R – Proporção de veículos de recreio (RVs) na corrente de tráfego

E_R – Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros

NS – Nível de Serviço

f_g – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive

BFFS = Velocidade em regime livre base (km/h)

f_{LS} – Fator de ajustamento devido à largura das vias e das bermas (km/h)

f_A – Fator de ajustamento devido aos pontos de acesso (km/h)

f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem

PTSF – Tempo de percurso com atraso

BPTSF – Tempo de percurso com atraso base

1

INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Ao longo dos últimos anos o número de veículos tem vindo a aumentar por vários motivos associados ao desenvolvimento económico do país e respetivas melhoria das condições económicas e financeiras da população e aumento do número de estradas e melhoria da qualidade destas. Segundo uma notícia do ano de 2006 do jornal de notícias, o número de veículos desde 1999 a 2004 aumentou em 135 por cento no nosso país. [1]

Perante este crescimento do número de veículos, dentro do panorama nacional nos últimos anos, tornou-se cada vez mais necessário adotar uma metodologia para determinar o nível de serviço e capacidade dos vários tipos de estrada, de maneira a que se possa efetuar um dimensionamento destas, para que sejam o mais eficaz possível, ou seja, o dimensionamento destas deve ser otimizado de maneira a que proporcione aos seus utilizadores o máximo de conforto possível com o menor custo

A metodologia adotada por Portugal foi a metodologia do Highway Capacity Manual (HCM), que foi elaborado pelo órgão americano Transportation Research Board (TRB), estando assim esta metodologia mais adaptada ao sistema rodoviário norte-americano.

É assim conveniente efetuar uma análise comparativa da metodologia do HCM 2010 com a metodologia do HCM 2000 e verificar ainda se a metodologia do HCM 2010 está adequada ao nosso panorama.

A metodologia em estudo nesta dissertação irá ser apenas a metodologia relativa a estradas rurais de duas vias.

1.2. História do HCM

Segundo o artigo de Wayne K. Kittelson [2] a primeira versão do HCM surge em 1950 e é criado na altura devido à necessidade que havia para criar uma metodologia que permitisse calcular a capacidade de uma estrada. A pesquisa e publicação de metodologias para determinar a capacidade de algumas estradas começou por volta do ano de 1920: porém, estas metodologias não eram claras e tinham lacunas e por isso não reuniam consenso entre os especialistas. Essas lacunas deveram-se sobretudo ao facto de na época em que foram desenvolvidas haver poucos veículos e não haver congestionamento nas estradas, tornando assim difícil estimar a capacidade de determinada estrada.

Devido à necessidade de métodos mais uniformes para determinar a capacidade das estradas, em 1941 nos Estados Unidos da América, o presidente Franklin Roosevelt nomeou uma comissão para delinear e recomendar um sistema de estradas nacionais projetada para melhorar o transporte inter-regional. O trabalho desta comissão continuou mais três anos e era composto por alguns membros como Thomas H. MacDonald, H.S. Fairbank e Olav K. (O.K.) Normann, sendo este último o que mais se destacou desenvolvendo um método que permitia a capacidade de estradas de 4 vias.

Como referido, na época em questão não havia um número significativo de veículos, não havendo portanto congestionamento de estradas, tornando-se assim difícil quantificar a capacidade das estradas.

Esta situação não foi impedimento para O.K. Normann, que desenvolveu um método com os meios que tinha à sua disposição na época, utilizando assim um registador gráfico constituído por um rolo de

papel que girava a uma velocidade conhecida e constante e uma caneta que registava por ação humana um ponto nesse mesmo papel. Através deste procedimento foi possível determinar o espaço de tempo entre 2 eventos separados através de 2 pontos registrados no papel do registrador gráfico.

Assim, o método consistiu em colocar dois registradores na estrada, um no início e outro no fim de um determinado troço de comprimento conhecido, conseguindo portanto registrar o intervalo de tempo entre veículos e determinar a velocidade de cada veículo.

Com os dados anteriormente referidos Normann observou a diferença entre as velocidades dos diversos veículos e verificou que à medida que o intervalo de tempo entre veículos consecutivos diminuía, a velocidade também diminuía. À medida que a velocidade de dois veículos consecutivos tendia para 0 km/h, situação típica de congestionamento, Normann registou o intervalo de tempo entre eles e usou-o para determinar a capacidade da estrada. O seu trabalho extenso permitiu que percebesse que as condições limite para a capacidade horária da estrada ocorrem quando os veículos viajam a uma velocidade de cerca de 56 km/h e se encontram espaçados por uma diferença temporal de dois segundos. Este avanço permitiu um grande desenvolvimento na rede de estradas interestaduais norte americanas.

No ano de 1944 a Highway Research Board criou uma comissão em que O.K. Normann era presidente, cujo objetivo era desenvolver e uniformizar metodologias e elaborar um manual que permitisse determinar a capacidade dos vários tipos de estradas existentes. Assim, graças ao trabalho e esforço de O.K. Normann foi possível o lançamento em 1950 do primeiro HCM, que se tornou um grande sucesso sendo traduzido em nove línguas e estabelecendo-se como o manual de referência para estimar a capacidade dos vários tipos de estradas dos Estados Unidos, nomeadamente as estradas de duas vias, de 3 vias, vias múltiplas, rampas, cruzamentos e entrecruzamentos. O manual relativo a 1950 definiu ainda os seguintes três níveis de capacidade:

- Capacidade Base – correspondente ao número máximo de veículos ligeiros que passam num determinado ponto da estrada durante uma hora sob condições quase ideais de estrada e tráfego;
- Capacidade Possível – correspondente ao número máximo de veículos que passam numa determinada via ou estrada durante o período de uma hora;
- Capacidade Prática – Correspondente ao número máximo de veículos ligeiros que passa num determinado ponto da via ou estrada durante o período de uma hora com uma quantidade elevada de tráfego de tal forma que cause atraso, perigo ou restrição à liberdade dos condutores.

Depois do lançamento do HCM de 1950 O. K. Normann pensou que a comissão anteriormente formada não seria mais necessária e poderia portanto, ser desmantelada. Contudo, novos problemas que requeriam alguma atenção foram aparecendo antes de essa decisão ter sido tomada. Assim, em vez de a comissão ser desmantelada, esta aumentou o número de membros e melhorou a sua estrutura, continuando o seu trabalho e ficando encarregue de elaborar um novo manual com metodologias atualizadas e com resposta a novos problemas, manual que viria a ser publicado em 1965.

Foram publicadas extensões das metodologias presentes no manual de 1950 em forma de relatórios elaborados por um vasto grupo de profissionais, contribuindo, assim, na época para um avanço significativo no que diz respeito às metodologias para estimativa da capacidade dos vários tipos de estradas.

Em 1963 a comissão votou pela primeira vez a introdução do conceito de nível de serviço que viria a ser publicado no manual seguinte; contudo, esta decisão levantou algumas dúvidas sobre a forma como este conceito iria ser implementado.

O nível de serviço é um indicador que serve para avaliar a operabilidade da estrada, isto é, procura avaliar o serviço que a estrada proporciona aos seus utilizadores. Foram então definidos e publicados no HCM de 1965 seis níveis de serviço, sendo estes classificados de “A” a “F”:

- Nível de serviço A – Com a introdução de estradas portajadas surgiu a necessidade de providenciar um nível de serviço superior ao da “capacidade prática”.
- Nível de serviço B – Pretende representar a “capacidade prática” presente num ambiente rural.
- Nível de serviço C – Pretende retificar a noção de “capacidade prática” definida pelo HCM de 1950.
- Nível de serviço D – Pretende definir o volume de serviço máximo observado em situações diárias.
- Nível de serviço E – Pretende retificar a definição de “capacidade possível” definida no HCM 1950.
- Nível de serviço F - Cobre a parte inferior da curva que relaciona Velocidade e Débito. Engloba qualquer situação de circulação nessa área que representa o congestionamento.

Apesar do Manual ser apelidado de HCM 1965, na verdade foi publicado em 1966 e trouxe melhorias significativas em relação ao manual anterior, mais especificamente introduziu o conceito de nível de serviço, definindo apenas um tipo de capacidade para cada tipo de estrada, melhorou os procedimentos já existentes para análise dos vários tipos de interseções, foram criadas novas secções para análise do sistema de transportes públicos e para autoestradas e forneceu ainda orientação para interseções com sinal de STOP.

Após a publicação em 1966 a comissão focou-se então em consolidar e expandir muitos dos novos conceitos que tinham sido introduzidos.

A história foi-se repetindo naturalmente e novos problemas foram aparecendo, como por exemplo a questão de ser necessário ou não ter em atenção os efeitos benéficos dos novos controladores automáticos nos procedimentos de análise para interseções sinalizadas. Havia ainda nesta época necessidade de criar metodologias de análise para a rede urbana de estradas e para interseções não sinalizadas e ter em consideração outros meios de transporte. A introdução do conceito de nível de serviço por parte do HCM 1965 teve uma grande aceitação. Contudo, os valores de referência destes foram um pouco criticados pois não correspondiam muitas vezes ao verdadeiro grau de satisfação do condutor.

Houve também algumas alterações às instituições responsáveis na elaboração do HCM, mais concretamente a Highway Research Board mudou de nome para Transportation Research Board em 1970 e a The Bureau of Public Roads foi substituída pela Federal Highway Administration, deixando esta última de ter um papel de liderança para passar a ter uma função de apoio e suporte no que à elaboração do HCM diz respeito.

Um novo manual estava a ser elaborado e durante esse tempo surgiu um grande avanço tecnológico, ou seja, começaram a aparecer os primeiros computadores e calculadoras eletrónicas. Esta situação deixou a comissão num dilema. Se por um lado o aparecimento destas tecnologias permitiu um grande avanço na eficácia das metodologias de análise por outro lado esta tecnologia não era ainda de fácil acesso e muitos engenheiros contavam apenas com régua e calculadoras com funcionalidades bastante limitadas. Assim, a comissão decidiu que no próximo manual todas as metodologias teriam de ser capazes de ser aplicadas com lápis e caneta.

Em 1980 foram feitos avanços significativos no que diz respeito aos métodos de análise da capacidade. A comissão acreditava que estes métodos eram melhores do que os presentes no HCM de 1965 e

chegaram mesmo a ser publicados antes da nova versão do manual, sendo que algumas destas práticas chegaram a ser publicadas no manual seguinte.

O próximo manual viria a ser publicado em janeiro de 1985 a cargo da Transportation Research Board e traduzido em diversas línguas, para uso a nível internacional. As principais alterações no HCM 1985, em relação ao seu antecessor foram no campo dos métodos para estimativa da capacidade e da qualidade de serviço oferecido pelas estradas.

Em 1994 e 1997 houve atualizações ao manual. Estas incluíram atualizações de conceitos e definições, características de tráfego, troços básicos de auto estradas, rampas, cruzamentos e entrecruzamentos, estradas de vias múltiplas e interseções com e sem sinalização.

Entretanto a comissão tomou a decisão de não prejudicar a eficácia das metodologias utilizadas para análise dos vários tipos de estradas em prol de metodologias mais simples. Esta decisão foi tomada baseada no facto de já existir poderosos computadores pessoais capazes de correr programas especializados, capazes de utilizar os procedimentos e técnicas mais complexas disponíveis no HCM. O TRB alargou também a influência da comissão a um nível internacional, permitindo uma perspetiva mais alargada e uma maior experiência sobre as diferentes estratégias de investimento e um maior conhecimento, consequência das melhorias registadas na qualidade de serviço prestadas pelas estradas num panorama internacional.

Mais tarde, no ano de 2000 foi publicado um novo HCM, sendo este, na época, um grande avanço na evolução do Highway Capacity Manual. Este foi elaborado com um carácter mais abrangente que os seus antecessores, isto é, não foi elaborado apenas a pensar no sistema rodoviário norte americano.

O HCM 2000 foi o primeiro manual a dar séria importância aos métodos de avaliação das características operacionais do sistema de transportes. Ele reconhece a importância da simulação e de outras técnicas de modelação. O manual para além de disponibilizado no tradicional formato em papel, também foi disponibilizado em formato digital, sendo complementado com elementos multimédia que aumentam a sua usabilidade e eficácia. O HCM 2000 é ainda suportado por software que procura oferecer uma implementação fiel das metodologias de análise. [2]

Uma década depois foi elaborado uma nova edição do manual, embora esta apenas se tornou disponível em abril de 2011. O HCM 2010 para além de trazer um novo formato, trouxe ainda novas atualizações para a estimativa da capacidade assim como novos procedimentos para estimar a capacidade.

As principais diferenças do manual de 2010 em relação ao seu antecessor são:

- Novos procedimentos de análise para rotundas;
- Procedimentos completos de ruas envolvendo peões, bicicletas e trânsito;
- Análise do tráfego usando ferramentas de simulação;
- Atualizações às metodologias de análise relativas a outros capítulos

No que diz respeito a estradas rurais de duas vias o HCM 2010 também trouxe novas atualizações, que consistiram sobretudo nas seguintes:

- Retirar a análise bidirecional;
- Atualizar valores de parâmetros utilizados no cálculo;
- Incluir uma nova classe de estradas de duas vias;
- Adicionar metodologias de análise para bicicletas em estradas de duas vias [3]

No panorama atual o manual utilizado para análise dos vários tipos de estradas é o HCM 2000. Contudo, com a disponibilidade recente da nova edição de 2010, a tendência será para esta última edição ir

aos poucos substituindo a antiga, até estar completamente implementado e passar a ser o manual utilizado pelos profissionais da área.

1.3.Objetivos e estrutura

No ano de 2010 as várias metodologias para determinar o nível de serviço dos vários tipos de estradas existentes, foram atualizadas e estão descritas no Highway Capacity Manual 2010, tornando assim necessário a análise dessas metodologias.

Os objetivos desta dissertação são portanto a análise e comparação das metodologias presentes no HCM 2000 e HCM 2010, referentes a estradas rurais de duas vias e aplicar a metodologia de 2010 a casos reais, mais especificamente, aplicar a metodologia a dois troços da estrada nacional 222.

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, sendo estes:

- Introdução, em que se faz o enquadramento do tema, uma contextualização histórica do HCM e se definem os objetivos;
- Metodologia, em que se descrevem as metodologias de ambos os manuais para estradas rurais de duas vias;
- Comparação de metodologias, que tem como objetivo a comparação de ambas as metodologias e descrição e análise das principais diferenças entre estas;
- Aplicações, em que se irá aplicar a metodologia do HCM 2010 a alguns casos reais e efetuar as respetivas análises desses mesmos casos;
- Conclusões, em que se apresentam as principais conclusões que o presente trabalho suscitou.

2

METODOLOGIAS DE ANÁLISE

2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo descrever as diferentes metodologias para a determinação do nível de serviço, apresentadas no HCM 2000 e no HCM 2010, referentes a estradas rurais de duas vias e dois sentidos, que doravante passarão a ser designadas simplesmente com estradas de duas vias.

A metodologia do HCM para a determinação do nível de serviço, é a metodologia aplicada por Portugal, para este mesmo efeito, apesar de esta ter sido criada para o sistema rodoviário norte-americano. Torna-se assim essencial efetuar uma análise da aplicação destas metodologias ao sistema rodoviário nacional.

Atualmente o guia de referência utilizado em Portugal é o HCM 2000, contudo, num futuro próximo, este provavelmente será substituído por o HCM 2010, pelo que importa assinalar as diferenças metodológicas bem como verificar os valores adotados e ainda averiguar se os resultados são consideravelmente diferentes.

2.1.1. ESTRADAS DE DUAS VIAS

As estradas de duas vias são estradas constituídas por duas vias de tráfego, sem separação física entre elas. Neste tipo de estradas, o escoamento de uma corrente de tráfego influencia o escoamento da corrente de tráfego oposta, sendo que, as ultrapassagens de veículos são um dos fatores mais relevantes para o escoamento do tráfego, pois facilmente se compreende, que este tipo de manobras são efetuadas, apenas quando não existem veículos na corrente de tráfego oposta.

À medida que as restrições geométricas e os débitos de serviço vão aumentando, a possibilidade de ultrapassagem de veículos diminui, condicionando assim as correntes de tráfego, ou seja, a impossibilidade de ultrapassagens origina atrasos devido à formação de filas de trânsito atrás dos veículos mais lentos.

Convém ainda referir que, para este tipo de manobras serem executadas com segurança, deve-se ter em atenção os intervalos de tempo entre veículos da corrente de tráfego oposta, ou seja, devem possuir amplitude suficiente, para que a manobra seja executada com segurança e devem existir ainda boas condições de visibilidade.

O HCM classifica ainda este tipo de estradas em:

- Classe I – Têm como mobilidade a principal função e são estradas em que os condutores esperam viajar a velocidades relativamente altas. São muitas vezes utilizadas para viagens de longa distância;

- Classe II – Têm como principal função a acessibilidade. A qualidade do serviço prestada por esta classe de estradas tem como principal medida avaliativa, o atraso devido à formação de pelotões;
- Classe III – Esta classe foi introduzida pelo HCM 2010, ou seja, o HCM 2000 só contemplava as classes I e II. Nesta classe incluem-se troços de estradas de classe I ou classe II que atravessam cidades de pequenas dimensões, cujos limites de velocidade sejam menores ou possuam restrições. Esta classe também pode incluir troços de estradas que atravessem zonas de lazer com grande atividade.

2.1.2. CARACTERIZAÇÃO DAS CORRENTES DE TRÁFEGO

Na caracterização das correntes de tráfego em estradas de duas vias usam-se as seguintes variáveis:

- Velocidade;
- Débito;
- Tempo de percurso com atraso.

O último parâmetro corresponde à percentagem do tempo total de percurso em que o veículo segue em fila, condicionando a sua velocidade à presença de outros veículos. Contudo, dada a dificuldade da medição deste parâmetro, normalmente este é substituído pela proporção de intervalos de tempo entre veículos sucessivos com uma duração inferior a 3 segundos.

As diversas variáveis utilizadas no estudo do nível de serviço, obedecem a várias condições bases, condições essas que são de uma forma geral, idênticas tanto para a versão de 2000, como para a versão de 2010. Essas condições são:

- Largura de via ou superior a 3,6 metros;
- Desobstrução lateral igual ou superior a 1,8 metros;
- Terreno plano;
- Apenas veículos ligeiros de passageiros na corrente de tráfego;
- Sem perturbações na corrente de tráfego;
- Inexistência de zonas de não ultrapassagem.

2.1.3. NÍVEIS DE SERVIÇO

Ambos os manuais em estudo, versões de 2000 e 2010, definem seis níveis de serviço designados pelas letras de A a F, sendo que com este indicador se procura avaliar o serviço que a estrada proporciona aos seus utilizadores. O nível de serviço A será, portanto, o que corresponde melhores condições de circulação enquanto o nível F será o que pior serviço proporciona aos utilizadores da estrada, correspondentes a situações de congestionamento.

Uma definição geral para cada nível de serviço, será portanto:

- Nível de Serviço A – Corresponde ao regime de escoamento livre com condições de circulação muito boas;
- Nível de Serviço B – Corresponde a um regime de escoamento estável, mas com maior atraso e menor velocidade média de percurso do que o nível de serviço A;
- Nível de Serviço C - Corresponde a um regime de escoamento estável, mas com maior atraso e menor velocidade média de percurso do que o nível de serviço B;
- Nível de serviço D – Representa níveis de serviço em que o escoamento de tráfego se aproxima da instabilidade;
- Nível de Serviço E – Representa níveis de serviço instáveis, resultantes de débitos de tráfego muito elevados;

- Nível de Serviço F – Escoamento em regime de sobressaturação, correspondente a situações de congestionamento.

2.2. METODOLOGIA DO HCM 2000

2.2.1. CAPACIDADE

A capacidade de uma estrada de duas vias é fixada em 1700 uvl/h para cada sentido de tráfego e para o conjunto das 2 vias é, em geral, 3200 uvl/h. Para troços de curta extensão, como túneis ou pontes, pode-se atingir para o conjunto dos dois sentidos, uma capacidade entre 3200 e 3400 uvl/h.

2.2.2. NÍVEIS DE SERVIÇO

Como já foi anteriormente referido a versão de 2000 do HCM define as estradas de duas vias em 2 tipos, ou seja, considera apenas as classes I e II.

Para essas duas classes os níveis de serviço variam um pouco, pois como é expectável, aceita-se que os utilizadores que viajam nas estradas de classe II tolerem um tempo de percurso maior, pois estas são de uma forma geral utilizadas para viagens de curta distância.

Os Quadros 2.1 e 2.2 que se seguem representam os diferentes níveis de serviço para as classes I e II respetivamente:

Quadro 2.1 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe I

Nível de Serviço	Tempo de percurso com atraso (%)	Velocidade média de percurso (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	≤ 60

(Fonte: HCM 2000) [4]

Quadro 2.2 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe II

Nível de Serviço	Tempo de percurso com atraso (%)
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85

(Fonte: HCM 2000) [4]

Pode-se observar então que, segundo os quadros 2.1 e 2.2:

- Para caracterizar o nível de serviço de uma estrada de duas vias de classe I é necessário o tempo de atraso e a velocidade média de percurso, enquanto para a classe II apenas é necessário o tempo de percurso. Esta situação deve-se ao facto de nas estradas de duas vias de classe I a principal função ser a mobilidade, enquanto nas de classe II a principal função é a acessibilidade.

- No nível de serviço A para estradas de duas vias de classe I as velocidades médias de percurso são superiores a 90 km/h e os atrasos são inferiores a 35% do tempo total de viagem referente a essa mesma estrada. Para classe II o atraso é inferior a 40%.
- No nível de serviço B para estradas de duas vias de classe I as velocidades médias de percurso estão entre os 80 e os 90 km/h e os atrasos entre 35 a 50 % do tempo total de viagem. Para classe II o atraso situa-se entre os 40 e 55 % do tempo total de viagem.
- No nível de serviço C para estradas de duas vias de classe I as velocidades médias de percurso estão entre os 70 e os 80 km/h e os atrasos entre 50 a 65 % do tempo total de viagem. Para classe II o atraso situa-se entre os 55 e 70 % do tempo total de viagem.
- No nível de serviço D para estradas de duas vias de classe I as velocidades médias de percurso estão entre os 60 e os 70 km/h e os atrasos entre 65 a 80 % do tempo total de viagem. Para classe II o atraso situa-se entre os 70 e 85 % do tempo total de viagem.
- No nível de serviço E para estradas de duas vias de classe I, a velocidade média de percurso é inferior a 60 Km/h e os atrasos superiores a 80% do tempo total de viagem. Para classe II o atraso é superior a 85% do tempo total de viagem.
- O nível de serviço F corresponde a situações de congestionamento total, em que a procura é superior à capacidade da estrada.

2.2.3. TIPOS DE ANÁLISE

Existem duas formas distintas para definir o nível de serviço em estradas de duas vias. Estas estão dependentes do tipo de terreno e da existência de traineis, que pelo seu declive e extensão obrigam a um estudo isolado.

Assim, são consideradas as seguintes situações:

- Terreno Plano – Se os veículo pesados circularem a uma velocidade aproximadamente igual à dos veículos ligeiros. Pode incluir traineis de curta extensão desde que o seu declive não seja superior a 2 %.
- Terreno Ondulado – se o traçado da estrada obrigar os veículos pesados a circular a uma velocidade significativamente inferior à dos veículos ligeiros, sem que atinjam a chamada “velocidade lenta” durante um período significativo de tempo ou intervalos frequentes. Geralmente incluem traineis de curta ou média extensão com declive inferior a 4%.

A análise do nível de serviço poderá ainda ser efetuada para um sentido ou para os dois sentidos em troços extensos ou em traineis isolados. Se um trainel possuir um declive superior a 3% e se a sua extensão for de pelo menos 1,0 Km, deverá ser analisado como trainel isolado. É de referir ainda que um troço extenso deve ter no mínimo uma extensão de 3,0 Km. Na figura 1 apresenta-se de forma gráfica a distinção entre troços extensos e traineis isolados.

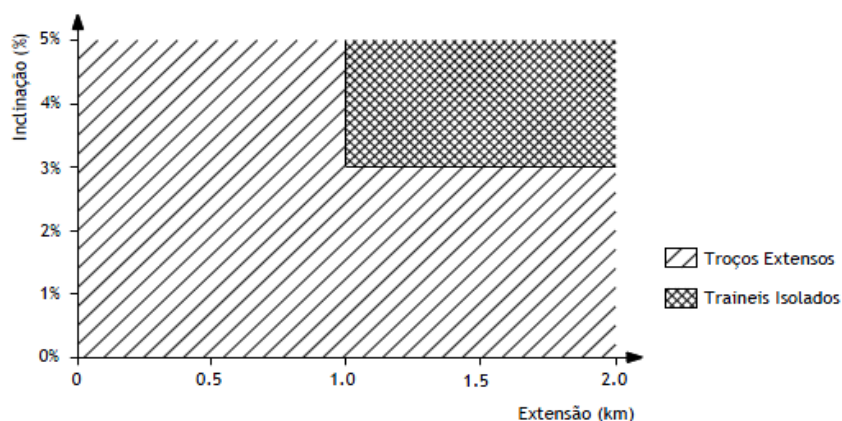


Figura 2.1 - Caracterização dos traineis isolados e dos troços extensos em estradas de 2 vias

(fonte: Sebenta de circulação e transportes I) [5]

2.2.4. RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DE TRÁFEGO

Para as condições base anteriormente referidas no ponto 2.1.2. apresentam-se nas próximas figuras 2. 3. 4 e 5 as relações entre as diferentes variáveis de tráfego.

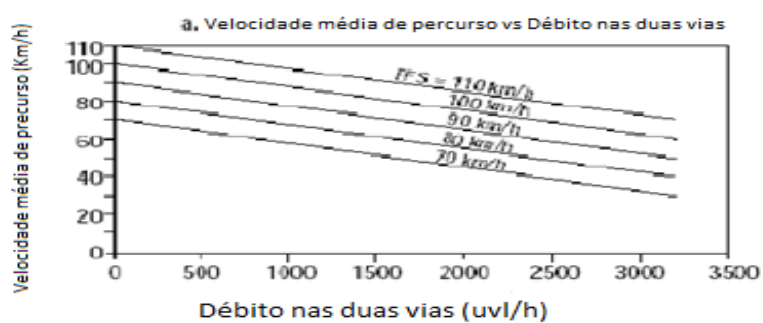


Figura 2.2 - Velocidade média de percurso vs Débito nos 2 sentidos

(fonte: Adaptado de sebenta de circulação e transportes I) [5]

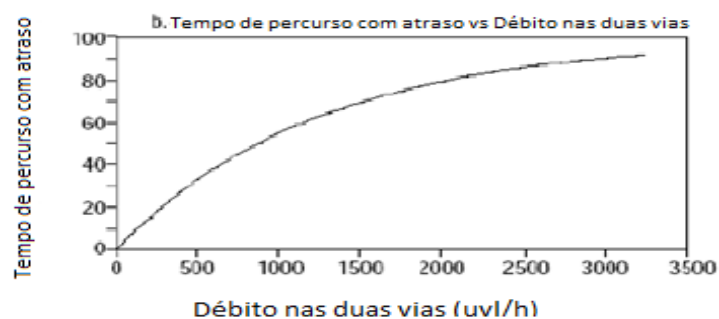


Figura 2.3 - Tempo de percurso com atraso vs Débito nos 2 sentidos

(fonte: Adaptado de sebenta de circulação e transportes I) [5]

Pode-se observar na figura 2.4 que a relação entre o débito e a velocidade é linear e que o valor da ordenada na origem depende da velocidade em regime livre.

Na figura 2.3 observa-se que a relação entre o atraso e o débito nos 2 sentidos não é linear e que a débitos superiores 2000 uvl/h corresponde um atraso superior a 80%.

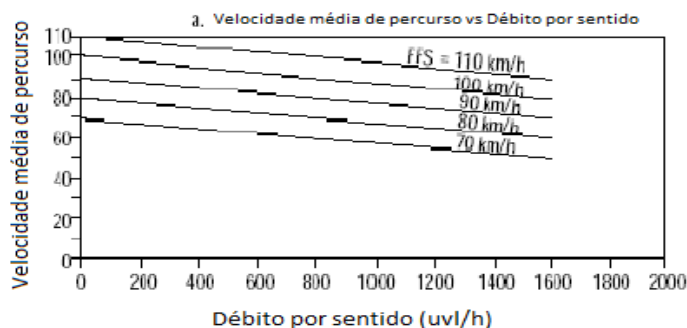


Figura 2.4 - Velocidade média de percurso vs Débito em 1 via

(fonte: Adaptado de sebenta de circulação e transportes I) [5]

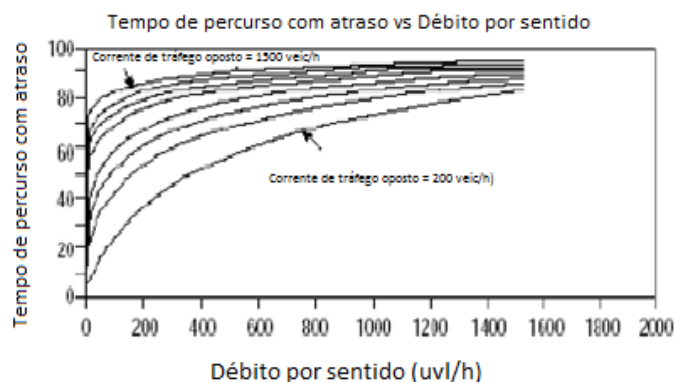


Figura 2.5 - Tempo de percurso com atraso vs Débito em 1 via

(fonte: Adaptado de sebenta de circulação e transportes I) [5]

Nas figuras 2.4 e 2.5, estão representadas as mesmas relações das figuras 2.2 e 2.3, mas para apenas um sentido. Nas relações para as análises efetuadas para um sentido incluem o efeito do tráfego que circula em sentido contrário na velocidade média de percurso e no tempo de percurso com atraso. É de referir ainda que, observando as figuras 2.4 e 2.5, pode-se concluir que, na figura 2.4 que à semelhança da figura 2 a relação entre o débito e a velocidade é linear e na figura 2.5 o débito no sentido oposto varia entre os 200 e os 1600 uvl/h e que para débitos elevados na via em estudo o atraso é grande, mesmo quando o débito no sentido oposto é pequeno.

2.2.5. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

Um passo importante para a determinação do nível de serviço de uma determinada estrada de duas vias é o conhecimento da velocidade em regime livre FFS (Free Flow Speed). A velocidade em regime livre corresponde à velocidade média dos veículos que circulam na estrada em estudo, com os condutores a escolherem livremente a velocidade que desejam sem serem condicionados pela presença de outros veículos.

Se o débito no local for inferior a 200 uvl/h no conjunto das duas vias, então a velocidade em regime livre poderá ser medida diretamente no local. Caso o débito seja superior ao valor referido então a velocidade em regime livre será calculada pela seguinte equação:

$$FFS = S_{FM} + 0,0125 \times \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (1)$$

Em que:

- FFS – Velocidade em regime livre (km/h);
- S_{FM} – Velocidade média de tráfego medida no local (km/h);
- V_f – Débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade (veic/h);
- f_{HV} – Ajustamento relativo aos veículos pesados.

O fator de ajustamento f_{HV} é dado pela equação (2):

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (2)$$

Em que:

- P_T – Proporção de caminhões na corrente de tráfego;
- E_T – Fator de equivalência de caminhões em veículos ligeiros de passageiros;
- P_R – Proporção de veículos de recreio (RVs) na corrente de tráfego;
- E_R – Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros.

No caso de não ser possível obter diretamente a velocidade em regime livre medindo-a no local, esta poderá ser determinada através de uma estimativa.

Esta estimativa está sujeita a correções relativamente à velocidade em regime livre base, como se pode verificar na equação seguinte.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (3)$$

Em que:

- BFFS = Velocidade em regime livre base (km/h);
- f_{LS} – Ajustamento devido à largura das vias e das bermas (km/h)
- f_A – Ajustamento devido aos pontos de acesso (km/h)

Quadro 2.3 - Ajustamento devido à largura das vias e das bermas

Largura da via (m)	Redução na FFS (km/h)			
	Largura da Berma (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

(Fonte: HCM 2000) [4]

Quadro 2.4 - Ajustamento devido aos pontos de acesso

Pontos de Acesso por km	Redução na FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.6. ANÁLISE PARA OS DOIS SENTIDOS

2.2.6.1. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

Na análise para os dois sentidos ter-se-á que determinar a velocidade média de percurso através da seguinte equação:

$$ATS = FFS - 0,0125v_p - f_{np} \quad (4)$$

Em que:

- ATS – Velocidade média de percurso (km/h);
- v_p – Débito para o período de ponta de 15 minutos no conjunto de 2 vias (uvl/h).
- f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem.

O fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem é dado pelo quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem (f_{np}) na velocidade média de percurso

Débito para o conjunto das duas vias, v_p	Redução na velocidade média de percurso (km/h)					
	Zonas de não ultrapassagem (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	4.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

(Fonte: HCM 2000) [4]

O débito para o período de ponta de 15 minutos no conjunto de 2 vias (v_p) é determinado pela equação seguinte:

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \quad (5)$$

Em que:

- V – volume de ponta horário (veíc/h)
- f_G – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive;
- f_{HV} – Fator de ajustamento devido aos veículos pesados.

O fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (f_G) é dado pelo seguinte quadro:

Quadro 2.6 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno (f_G) para determinação da velocidade média de percurso

Débito no conjunto das duas vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.71
600-1200	300-600	1.00	0.93
>1200	>600	1.00	0.99

(Fonte: HCM 2000) [4]

Para determinar a velocidade em regime livre através da equação (1) é necessário determinar previamente o fator de ajustamento devido aos veículos pesados (f_{HV}) dado pela equação (2).

Para o cálculo desse mesmo fator ser possível é necessário conhecer os valores das variáveis de que este depende, sendo que, os valores dessas variáveis estão presentes no quadro 2.7:

Quadro 2.7 - Fatores de Equivalência para pesados e RVs para determinação de velocidades

Tipo de Veículo	Débito no conjunto das 2 vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
			Plano	Ondulado
Pesados, E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	>600-1200	>300-600	1.2	1.9
	>1200	>600	1.2	1.5
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	>600-1200	>300-600	1.0	1.1
	>1200	>600	1.0	1.1

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.6.2. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O tempo de percurso com atraso é determinado pela seguinte expressão:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} \quad (6)$$

Em que:

- PTSF – Tempo de percurso com atraso ;
- BPTSF – Tempo de percurso com atraso base, obtido pela expressão (7);
- $f_{d/np}$ – Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem.

O tempo de percurso com atraso base é determinado pela próxima expressão:

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879Vp}) \quad (7)$$

V_p é determinado pela expressão (5), contudo as variáveis de que está dependente, ou seja, f_{HV} e f_G tomam valores diferentes dos determinados para o cálculo da velocidade média de percurso. Assim sendo, nos próximos quadros estão expressos os valores de f_G e os valores de E_T e E_R para o cálculo de f_{HV} , relativamente ao tempo de percurso com atraso.

Quadro 2.8 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno (f_G) para determinação do tempo de percurso com atraso

Débito no conjunto das duas vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.77
600-1200	300-600	1.00	0.94
>1200	>600	1.00	1.00

(Fonte: HCM 2000) [4]

Quadro 2.9 - Fatores de Equivalência para pesados e RVs para determinação do tempo de percurso com atraso

Tipo de Veículo	Débito no conjunto das 2 vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
			Plano	Ondulado
Pesados, E_T	0-600	0-300	1.1	1.8
	>600-1200	>300-600	1.1	1.5
	>1200	>600	1.0	1.0
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.0
	>600-1200	>300-600	1.0	1.0
	>1200	>600	1.0	1.0

(Fonte: HCM 2000) [4]

O fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem está expresso no quadro 2.10:

Quadro 2.10 - Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem

Débito para o conjunto das 2 vias,	Aumento do tempo de percurso com atraso (%)					
	Zonas de não-ultrapassagem (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribuição direcional = 50/50						
≤200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.08
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Distribuição direcional = 60/40						
≤200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.5	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Distribuição direcional = 70/30						
≤200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Distribuição direcional = 80/20						
≤200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Distribuição direcional = 90/10						
≤200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.7. ANÁLISE PARA UM SENTIDO

Os procedimentos para avaliar a capacidade e o nível de serviço são idênticos aos da análise para dois sentidos.

2.2.7.1. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

A velocidade média de percurso é obtida através da seguinte expressão:

$$ATS_d = FFS_d - 0,0125(v_d + v_o) - f_{np} \quad (8)$$

em que:

- ATS_d – Velocidade média de percurso no sentido em análise (km/h);
- FFS_d – Velocidade em regime livre no sentido em análise (km/h);
- v_d – Débito para o período de ponta de 15 minutos no sentido em análise (uvl/h);
- v_o – Débito para o período de ponta de 15 minutos no sentido oposto ao analisado (uvl/h);
- f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem.

O fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem depende o débito no sentido oposto e é dado pelo quadro 2.11:

Quadro 2.11 - Fator de ajustamento (f_{np}) devido às zonas de não ultrapassagem a considerar no cálculo da velocidade média de percurso

Débito no sentido opos-	Zonas de não ultrapassagem (%)				
	≤20	40	60	80	10
FFS=110 km/h					
≤100	1.7	3.5	4.5	4.8	5.0
200	3.5	5.3	6.2	6.5	6.8
400	2.6	3.7	4.4	4.5	4.7
600	2.2	2.4	2.8	3.1	3.3
800	1.1	1.6	2.0	2.2	2.4
1000	1.0	1.3	1.7	1.8	1.9
1200	0.9	1.3	1.5	1.6	1.7
1400	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5
≥1600	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3
FFS=100 km/h					
≤100	1.2	2.7	4.0	4.5	4.7
200	3.0	4.6	5.9	6.4	6.7
400	2.3	3.3	4.1	4.4	4.6
600	1.8	2.1	2.6	3.0	3.2
800	0.9	1.4	1.8	2.1	2.3
1000	0.9	1.1	1.5	1.7	1.9
1200	0.8	1.1	1.4	1.5	1.7
1400	0.8	1.0	1.3	1.3	1.4
≥1600	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2
FFS=90 km/h					
≤100	0.8	1.9	3.6	4.2	4.4
200	2.4	3.9	5.6	6.3	6.6
400	2.1	3.0	3.8	4.3	4.5
600	1.4	1.8	2.5	2.9	3.1
800	0.8	1.1	1.7	2.0	2.2
1000	0.8	0.9	1.3	1.5	1.8
1200	0.8	0.9	1.2	1.4	1.6
1400	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
≥1600	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1

FFS=80 km/h					
≤100	0.3	1.1	3.1	3.9	4.1
200	1.9	3.2	5.3	6.2	6.5
400	1.8	2.6	3.5	4.2	4.4
600	1.0	1.5	2.3	2.8	3.0
800	0.6	0.9	1.5	1.9	2.1
1000	0.6	0.7	1.1	1.4	1.8
1200	0.6	0.7	1.1	1.3	1.6
1400	0.6	0.7	1.0	1.1	1.3
≥1600	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
FFS=70 km/h					
≤100	0.1	0.6	2.7	3.6	3.8
200	1.5	2.6	5.0	6.1	6.4
400	1.5	0.8	3.2	4.1	4.3
600	0.7	0.5	2.1	2.7	2.9
800	0.5	0.5	1.3	1.8	2.0
1000	0.5	0.5	1.0	1.3	1.8
1200	0.5	0.5	1.0	1.2	1.6
1400	0.5	0.5	1.0	1.0	1.2
≥1600	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.8. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O tempo de percurso com atraso é determinado a partir da seguinte expressão:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (9)$$

Em que:

- $PTSF_d$ – Tempo de percurso com atraso no sentido em análise;
- $BPTSF_d$ – Tempo de percurso com atraso base no sentido em análise;
- f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem.

O tempo de percurso com atraso base no sentido em análise é determinado pela seguinte expressão:

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \quad (10)$$

Em que:

- V_d - Débito para o período de ponta de 15 minutos no sentido em análise (uvl/h)
- a e b – Coeficientes, obtidos pelo quadro 2.12.

Quadro 2.12 - Valores para os coeficientes a e b utilizados na estimativa do tempo de percurso com atraso base

Débito no sentido oposto, v_o (uvl/h)	a	b
≤200	-0.013	0.668
400	-0.057	0.479
600	-0.100	0.413
800	-0.173	0.349
1000	-0.320	0.276
1200	-0.430	0.242
1400	-0.522	0.225
≥1600	-0.665	0.199

(Fonte: HCM 2000) [4]

O fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem está expresso no quadro 2.13

Quadro 2.13 - Fator de ajustamento do tempo de percurso com atraso devido às zonas de não ultrapassagem

Débito no sentido opo-	Zonas de não ultrapassagem (%)				
	≤20	40	60	80	10
FFS=110 km/h					
≤100	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
200	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
400	9.0	12.3	14.1	14.4	15.4
600	5.3	7.7	9.2	9.7	10.4
800	3.0	4.6	5.7	6.2	6.7
1000	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
1200	1.3	2.0	2.6	2.9	3.1
1400	0.9	1.4	1.7	1.9	2.1
≥1600	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
FFS=100 km/h					
≤100	8.4	14.9	20.9	22.8	26.6
200	11.5	18.2	24.1	26.2	29.7
400	8.6	12.1	14.8	15.9	18.1
600	5.1	7.5	9.6	10.6	12.1
800	2.8	4.5	5.9	6.7	7.7
1000	1.6	2.8	3.7	4.3	4.9
1200	1.2	1.9	2.6	3.0	3.4
1400	0.8	1.3	1.7	2.0	2.3
≥1600	0.6	0.9	1.1	1.2	1.5
FFS=90 km/h					
≤100	6.7	12.7	21.7	24.5	31.3
200	10.5	17.5	25.4	28.6	34.7
400	8.3	11.8	15.5	17.5	20.7
600	4.9	7.3	10.0	11.5	13.9
800	2.7	4.3	6.1	7.2	8.8
1000	1.5	2.7	3.8	4.5	5.4
1200	1.0	1.8	2.6	3.1	3.8
1400	0.7	1.2	1.7	2.0	2.4
≥1600	0.6	0.9	1.2	1.3	1.5
FFS=80 km/h					
≤100	5.0	10.4	22.4	26.3	36.1
200	9.6	16.7	26.8	31.0	39.6
400	7.9	11.6	16.2	19.0	23.4
600	4.7	7.1	10.4	12.4	15.6
800	2.5	4.2	6.3	7.7	9.8
1000	1.3	2.6	3.8	4.7	5.9
1200	0.9	1.7	2.6	3.2	4.1
1400	0.6	1.1	1.7	2.1	2.6
≥1600	0.5	0.9	1.2	1.3	1.6
FFS=70 km/h3.6					
≤100	3.7	8.5	23.2	28.2	41.6
200	8.7	16.0	28.2	33.6	45.2
400	7.5	11.4	16.9	20.7	26.4
600	4.5	6.9	10.8	13.4	17.6
800	2.3	4.1	6.5	8.2	11.0
1000	1.2	2.5	3.8	4.9	6.4
1200	0.8	1.6	2.6	3.3	4.5
1400	0.5	1.0	1.7	2.2	2.8
≥1600	0.4	0.9	1.2	1.3	1.7

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.9. TROÇOS EXTENSOS, TRINEIS ASCENDENTES E DESCENDENTES

Para troços extensos e para trineis ascendentes e descendentes os fatores de ajustamento f_G e f_{HV} são diferentes dos valores anteriormente referidos, ou seja, para troços extensos e para trineis ascendentes o fator de ajustamento devido aos veículos pesados é determinado pela expressão (2) já anteriormente referida, e para trineis descendentes é determinado pela seguinte expressão:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{TC}P_T(E_{TC}-1) + (1-P_{TC})P_T(E_T-1) + P_R(E_R-1)} \quad (11)$$

em que:

- PTC é a proporção de todos os veículos pesados na corrente de tráfego a circular a velocidades extremamente reduzidas;
- ETC é o equivalente de veículos ligeiros por veículos pesados a circular a velocidades extremamente reduzidas.

É de referir ainda que para o fator de ajustamento f_{hv} , os fatores de equivalência também diferem dos anteriores para os casos referidos neste tópico.

Assim sendo, temos no quadro 2.14 os valores para o fator de ajustamento devido ao declive dos trineis para a estimativa da velocidade média de percurso em trineis ascendentes.

Quadro 2.14 - Fator de ajustamento devido ao declive dos traineis para a estimativa da velocidade média de percurso em traineis ascendentes

Declive (%)	Extensão do trainel (km)	Fator de ajustamento devido ao declive, f_G		
		Débito no sentido em análise v_d (uvl/h)		
		0-300	>300-600	>600
$\geq 3.0 < 3.5$	0.4	0.81	1.00	1.00
	0.8	0.79	1.00	1.00
	1.2	0.77	1.00	1.00
	1.6	0.76	1.00	1.00
	2.4	0.75	0.99	1.00
	3.2	0.75	0.97	1.00
	4.8	0.75	0.95	0.97
	≥ 6.4	0.75	0.94	0.95
$\geq 3.5 < 4.5$	0.4	0.79	1.00	1.00
	0.8	0.76	1.00	1.00
	1.2	0.72	1.00	1.00
	1.6	0.69	0.93	1.00
	2.4	0.68	0.92	1.00
	3.2	0.66	0.91	1.00
	4.8	0.65	0.91	0.96
	≥ 6.4	0.65	0.90	0.96
$\geq 4.5 < 5.5$	0.4	0.75	1.00	1.00
	0.8	0.65	0.93	1.00
	1.2	0.60	0.89	1.00
	1.6	0.59	0.89	1.00
	2.4	0.57	0.86	0.99
	3.2	0.56	0.85	0.98
	4.8	0.56	0.84	0.97
	≥ 6.4	0.55	0.82	0.93
$\geq 5.5 < 6.5$	0.4	0.63	0.91	1.00
	0.8	0.57	0.85	0.99
	1.2	0.52	0.83	0.97
	1.6	0.51	0.79	0.97
	2.4	0.49	0.78	0.95
	3.2	0.48	0.78	0.94
	4.8	0.46	0.76	0.93
	≥ 6.4	0.45	0.76	0.93
≥ 6.5	0.4	0.59	0.86	0.98
	0.8	0.48	0.76	0.94
	1.2	0.44	0.74	0.91
	1.6	0.41	0.70	0.91
	2.4	0.40	0.67	0.91
	3.2	0.39	0.67	0.89
	4.8	0.39	0.66	0.88
	≥ 6.4	0.38	0.66	0.87

(Fonte: HCM 2000) [4]

No quadro 2.15 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao declive dos traineis para a estimativa do tempo de percurso com atraso em traineis ascendentes.

Quadro 2.15 - Fator de ajustamento devido ao declive dos traineis para a estimativa do tempo de percurso com atraso em traineis ascendentes

Declive (%)	Extensão do trainel (km)	Fator de ajustamento devido ao declive, f_G		
		Débito no sentido em análise v_d (uvl/h)		
		0-300	>300-600	>600
≥3.0<3.5	0.4	1.00	0.92	0.92
	0.8	1.00	0.93	0.93
	1.2	1.00	0.93	0.93
	1.6	1.00	0.93	0.93
	2.4	1.00	0.94	0.94
	3.2	1.00	0.95	0.95
	4.8	1.00	0.97	0.96
	≥6.4	1.00	1.00	0.97
≥3.5<4.5	0.4	1.00	0.94	0.92
	0.8	1.00	0.97	0.96
	1.2	1.00	0.97	0.96
	1.6	1.00	0.97	0.97
	2.4	1.00	0.97	0.97
	3.2	1.00	0.98	0.98
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥6.4	1.00	1.00	1.00
≥4.5<5.5	0.4	1.00	1.00	0.97
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥6.4	1.00	1.00	1.00
≥5.5<6.5	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥6.4	1.00	1.00	1.00
≥6.5	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	0.67	0.91
	3.2	1.00	0.67	0.89
	4.8	1.00	0.66	0.88
	≥6.4	1.00	0.66	0.87

(Fonte: HCM 2000) [4]

No quadro 2.16 estão representados os valores para o fator de Equivalência para os camiões na estimativa da velocidade média de percurso em traineis ascendentes

Quadro 2.16 - Fator de Equivalência para os caminhões na estimativa da velocidade média de percurso em traineis ascendentes

Declive (%)	Extensão do trainel (km)	Fator de equivalência para os caminhões, ET		
		Débito no sentido em análise v_d (uvl/h)		
		0-300	>300-600	>600
≥3.0<3.5	0.4	2.5	1.9	1.5
	0.8	3.5	2.8	2.3
	1.2	4.5	3.9	2.9
	1.6	5.1	4.6	3.5
	2.4	6.1	5.5	4.1
	3.2	7.1	5.9	4.7
	4.8	8.2	6.7	5.3
	≥6.4	9.1	7.5	5.7
≥3.5<4.5	0.4	3.6	2.4	1.9
	0.8	5.4	4.6	3.4
	1.2	6.4	6.6	4.6
	1.6	7.7	6.9	5.9
	2.4	9.4	8.3	7.1
	3.2	10.2	9.6	8.1
	4.8	11.3	11.0	8.9
	≥6.4	12.3	11.9	9.7
≥4.5<5.5	0.4	4.2	3.7	2.6
	0.8	6.0	6.0	5.1
	1.2	7.5	7.5	7.5
	1.6	9.2	9.0	8.9
	2.4	10.6	10.5	10.3
	3.2	11.8	11.7	11.3
	4.8	13.7	13.5	12.4
	≥6.4	15.3	15.0	12.5
≥5.5<6.5	0.4	4.7	4.1	3.5
	0.8	7.2	7.2	7.2
	1.2	9.1	9.1	9.1
	1.6	10.3	10.3	10.2
	2.4	11.9	11.8	11.7
	3.2	12.8	12.7	12.6
	4.8	14.4	14.3	14.2
	≥6.4	15.4	15.2	15.0
≥6.5	0.4	5.1	4.8	4.6
	0.8	7.8	7.8	7.8
	1.2	9.8	9.8	9.8
	1.6	10.4	10.4	10.3
	2.4	12.0	11.9	11.8
	3.2	12.9	12.8	12.7
	4.8	14.5	14.4	14.3
	≥6.4	15.4	15.3	15.2

(Fonte: HCM 2000) [4]

No quadro 2.17 estão representados os valores para o Fator de Equivalência para veículos de recreio na estimativa da velocidade média de percurso em traineis ascendentes.

Quadro 2.17 - Fator de Equivalência para veículos de recreio na estimativa da velocidade média de percurso em traineis ascendentes

Declive (%)	Extensão do traínel (km)	Fator de equivalência para os RVs, E_R		
		Débito no sentido em análise v_d (uvl/h)		
		0-300	>300-600	>600
≥3.0<3.5	0.4	1.1	1.0	1.0
	0.8	1.2	1.0	1.0
	1.2	1.2	1.0	1.0
	1.6	1.3	1.0	1.0
	2.4	1.4	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0
	4.8	1.5	1.0	1.0
	≥6.4	1.5	1.0	1.0
≥3.5<4.5	0.4	1.3	1.0	1.0
	0.8	1.3	1.0	1.0
	1.2	1.3	1.0	1.0
	1.6	1.4	1.0	1.0
	2.4	1.4	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0
	4.8	1.4	1.0	1.0
	≥6.4	1.5	1.0	1.0
≥4.5<5.5	0.4	1.5	1.0	1.0
	0.8	1.5	1.0	1.0
	1.2	1.5	1.0	1.0
	1.6	1.5	1.0	1.0
	2.4	1.5	1.0	1.0
	3.2	1.5	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.0	1.0
	≥6.4	1.6	1.0	1.0
≥5.5<6.5	0.4	1.5	1.0	1.0
	0.8	1.5	1.0	1.0
	1.2	1.5	1.0	1.0
	1.6	1.6	1.0	1.0
	2.4	1.6	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.2	1.0
	≥6.4	1.6	1.5	1.2
≥6.5	0.4	1.6	1.0	1.0
	0.8	1.6	1.0	1.0
	1.2	1.6	1.0	1.0
	1.6	1.6	1.0	1.0
	2.4	1.6	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.0	1.0
	4.8	1.6	1.3	1.3
	≥6.4	1.6	1.5	1.4

(Fonte: HCM 2000) [4]

No quadro 2.18 estão representados os valores para Fator de Equivalência para caminhões e RVs na estimativa do tempo de percurso com atraso em traineis ascendentes.

Quadro 2.18 - Fator de Equivalência para caminhões e RVs na estimativa do tempo de percurso com atraso em traneis ascendentes

Declive (%)	Extensão do trainel (km)	Fator de equivalência para os Pesados, E _T			RVs, E _R
		Débito no sentido em análise v _d (u _{vl} /h)			
		0-300	>300-600	>600	
≥3.0<3.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.4	1.0	1.0	1.0
	≥6.4	1.5	1.0	1.0	1.0
≥3.5<4.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.7	1.1	1.2	1.0
	≥6.4	2.0	1.5	1.4	1.0
≥4.5<5.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.2	1.2	1.0
	3.2	1.6	1.3	1.5	1.0
	4.8	2.3	1.9	1.7	1.0
	≥6.4	3.3	2.1	1.8	1.0
≥5.5<6.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.2	1.2	1.0
	2.4	1.5	1.6	1.6	1.0
	3.2	1.9	1.9	1.8	1.0
	4.8	3.3	2.5	2.0	1.0
	≥6.4	4.3	3.1	2.0	1.0
≥6.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.3	1.0
	1.6	1.3	1.4	1.6	1.0
	2.4	2.1	2.0	2.0	1.0
	3.2	2.8	2.5	2.1	1.0
	4.8	4.0	3.1	2.2	1.0
	≥6.4	4.8	3.5	2.3	1.0

(Fonte: HCM 2000) [4]

No quadro 2.19 estão representados os valores para o Fator de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traneis descendentes.

Quadro 2.19 - Fator de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traineis descendentes

Diferença entre FFS e a velocidade de descida dos camiões (km/h)	Fator de equivalência para os camiões em descida, E_{TC}		
	Débito no sentido em análise v_d (uvl/h)		
	0-300	>300-600	600
≤ 20	4.4	2.8	1.4
40	14.3	9.6	5.7
≥ 60	34.1	23.1	13.0

(Fonte: HCM 2000) [4]

2.2.10. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO

Depois dos passos anteriores estarem executados, recorre-se aos quadros 2.1 e 2.2 para determinar o nível de serviço, tendo em atenção se a classe da estrada de duas vias em estudo é do tipo I ou II respetivamente. O nível de serviço para estradas de duas vias de classe I pode ainda ser determinado graficamente da seguinte forma:

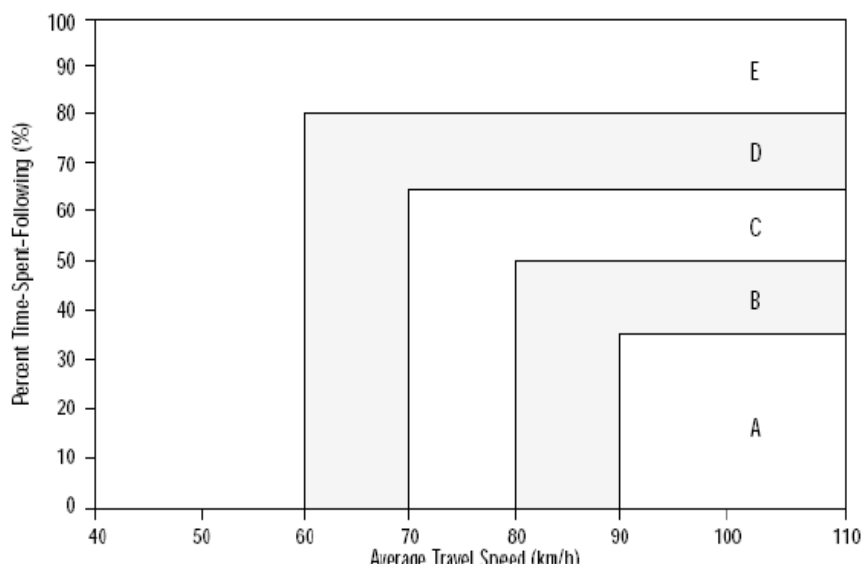


Figura 2.6 - Nível de Serviço para estradas de duas vias da Classe I

(fonte: Sebenta de circulação e transportes I) [5]

Os débitos de serviço correspondentes, uma vez verificadas as condições base nos troços extensos em estudo, são os seguintes:

- $DS_A = 490$ uvl/h
- $DS_B = 780$ uvl/h
- $DS_C = 1190$ uvl/h
- $DS_D = 1830$ uvl/h
- $DS_E = 3200$ uvl/h

2.3. METODOLOGIA DO HCM 2010

2.3.1. CAPACIDADE

A capacidade de uma estrada de duas vias segundo o HCM 2010 à semelhança do HCM 2000 é de 1700 uvl/h para cada sentido de tráfego e para o conjunto das 2 vias é, em geral, 3200 veic/h. Para trechos de curta extensão, como túneis ou pontes, pode-se atingir para o conjunto dos dois sentidos, uma capacidade entre 3200 e 3400 uvl/h.

2.3.2. NÍVEIS DE SERVIÇO

O HCM 2010 considera 3 classes de estradas, como já foi referido anteriormente. Contudo os níveis de serviço apresentados no HCM 2010 variam de A a F e o conceito deste em tudo são semelhantes aos referidos anteriormente para o HCM 2000, não havendo assim necessidade de os definir novamente.

É de ter em conta que os indicadores para a classificação do nível de serviço para estradas de duas vias são iguais à versão anterior do manual para as classes I e II. Para a classe III o indicador que avalia a performance deste tipo de estradas é a percentagem de viagem a que o condutor consegue viajar à velocidade em regime livre (PFFS).

O quadro 2.20 caracteriza os níveis de serviço para as três classes definidas pelo manual de 2010.

Quadro 2.20 – Caracterização do nível de serviço para as classes I, II e III de estradas de duas vias

Nível de Serviço	Classe I		Classe II	Classe III
	ATS (km/h)	PTSF (%)	PTSF	PFFS
A	> 90	≤ 35	≤ 40	>91.7
B	> 80 - 90	> 35 - 50	> 40 - 55	>83.3-91.7
C	> 70 - 80	> 50 - 65	> 55 - 70	>75.0-83.3
D	> 60 - 70	> 65 - 80	> 70 - 85	>66.7-75.0
E	≤ 60	> 80	> 85	≤66.7

(fonte: HCM 2010) [6]

2.3.3. TIPOS DE ANÁLISE

O HCM 2010, diferentemente do manual anterior considera apenas a análise unidirecional, estando esta dependente do tipo de terreno (plano, ondulado ou montanhoso) e é efetuada para trechos extensos ou trechos isolados.

2.3.4. RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS

Na figura 2.7 está representada a relação entre a velocidade média de percurso, o débito no sentido em análise e a velocidade em regime livre.

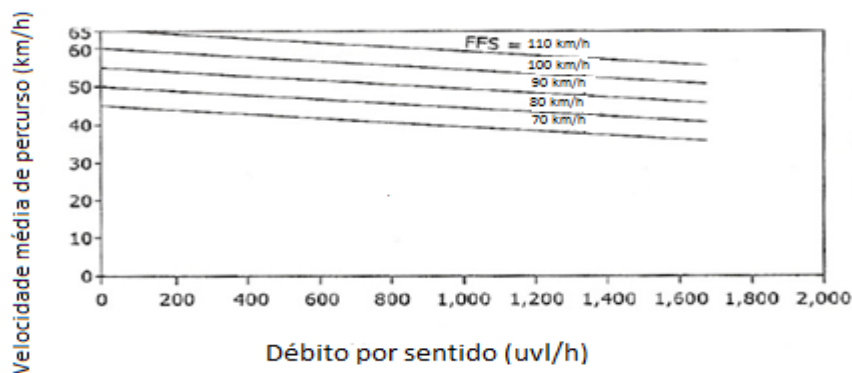


Figura 2.7 - Velocidade média de percurso vs Débito em 1 via

(fonte: HCM 2010) [6]

Na figura 2.8 está representada a relação entre o tempo de percurso com atraso com o débito no sentido em análise e o débito no sentido oposto

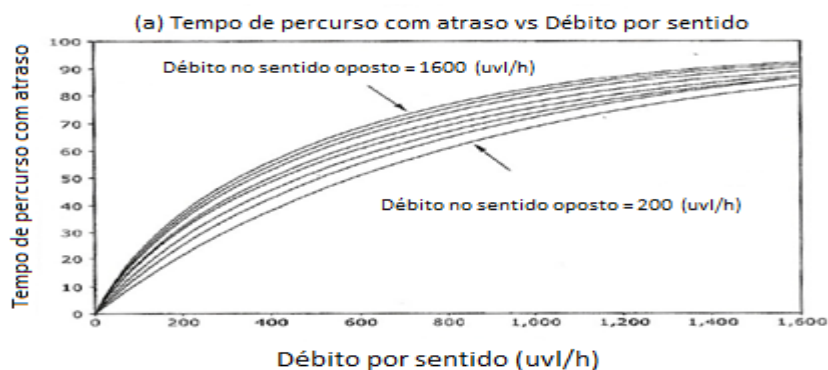


Figura 2.8 - Tempo de percurso com atraso vs Débito em 1 via

(fonte: Adaptado de HCM 2010) [6]

Verifica-se na figura 2.7 que à semelhança da edição anterior do HCM a relação entre a velocidade média de percurso e o débito é linear. Na figura 2.8 observa-se que os débitos no sentido oposto ao analisado variam entre os 200 uvl/h e os 1600 uvl/h, que para débitos nulos no sentido em análise correspondem atrasos nulos e que há medida que o débito no sentido em análise vai aumentando, o atraso tende a aumentar, contudo em termos da influência dos vários débitos no sentido oposto, o atraso tende a aproximar-se.

2.3.5. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

A velocidade em regime livre (FFS) corresponde à velocidade média dos veículos que circulam na estrada em estudo, com os condutores a escolherem livremente a velocidade que desejam sem estarem condicionados pela presença de outros veículos.

Se o débito no local for inferior a 200 uvl/h no conjunto das duas vias, então a velocidade em regime livre poderá ser medida diretamente no local; caso seja superior então a velocidade em regime livre será calculada pela seguinte equação:

$$FFS = S_{FM} + 0,0125 \times \frac{v}{f_{HV}} \quad (12)$$

Em que:

- FFS – Velocidade em regime livre (km/h)
- S_{FM} – Velocidade média de tráfego, medida no local (km/h)
- V – Débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade (veic/h)
- f_{HV} – Fator de ajustamento relativo aos veículos pesados

O fator de ajustamento f_{HV} é dado pela equação (13):

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (13)$$

Em que:

- P_T – Proporção de camiões na corrente de tráfego
- E_T – Fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros
- P_R – Proporção de veículos de recreio (RVs) na corrente de tráfego
- E_R – Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros

Para traineis descendentes a expressão utilizada para o cálculo do fator de ajustamento relativo aos veículos pesados é a seguinte:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{TC}P_T(E_{TC} - 1) + (1 - P_{TC})P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (14)$$

em que:

- P_{TC} é a proporção de todos os veículos pesados na corrente de tráfego a circular à denominada velocidade lenta;
- E_{TC} é coeficiente de equivalência dos veículos pesados a circular à velocidade lenta.

O débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade é dado por:

$$v = \frac{V}{PHF \times f_g \times f_{HV}} \quad (15)$$

Em que:

- v - Débito para o período de ponta de 15 minutos (uvl/h);
- V - Volume de ponta horário no sentido em estudo (veic/h);
- PHF – Fator de ponta horário;
- f_g – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive.

É necessário referir ainda que a velocidade média de tráfego (S_{FM}), é medida no local com uma amostragem mínima de 100 veículos por cada sentido.

No caso de não ser possível obter diretamente a velocidade em regime livre medindo-a diretamente no local, esta poderá ser determinada através de uma estimativa.

Esta estimativa está sujeita a correções relativamente à velocidade em regime livre base, como se pode verificar na equação seguinte.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (16)$$

Em que:

- BFFS = Velocidade em regime livre base (km/h)

- f_{LS} – Fator de ajustamento devido à largura das vias e das bermas (km/h)
- f_A – Fator de ajustamento devido aos pontos de acesso (km/h)

No quadro 2.21 está representado o ajustamento devido à largura das vias e das bermas.

Quadro 2.21 - Ajustamento devido à largura das vias e das bermas

Largura da via (m)	Redução na FFS (Km/h)			
	Largura da Berma (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No Quadro 2.22 está representado o ajustamento devido aos pontos de acesso

Quadro 2.22 - Ajustamento devido aos pontos de acesso

Pontos de Acesso por Km	Redução na FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

2.3.6. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

A velocidade média de percurso é determinada pela expressão (17).

$$ATS = FFS - 0,0125(v_d + v_o) - f_{np} \quad (17)$$

Em que:

- ATS – Velocidade média de percurso (km/h)
- FFS – Velocidade em regime livre (km/h)
- v_d – Débito no sentido em análise (uvl/h)
- v_o – Débito no sentido oposto (uvl/h)
- f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem.

No cálculo de ATS tem de se ter em atenção a alguns fatores, pois estes dependem do tipo de terreno, que pode ser considerado como:

- Troços extensos (> 3,2 km (2 milhas) de terreno plano ou ondulado)
- Trainéis ascendentes
- Trainéis descendentes

Considera-se como trainéis ascendentes os que são trainéis que têm mais de 3% de inclinação e mais de 1 km de extensão e trainéis descendentes os que têm mais de 3% de inclinação e 0,5 km de extensão.

De seguida estão presentes os quadros com os valores dos diversos fatores de que dependem a FFS e a ATS.

Sendo que no quadro 2.23 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao tipo de terreno, para terreno plano ondulado e trainéis descendentes, para cálculo da velocidade média de percurso.

Quadro 2.23 – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para terreno plano,ondulado e trainéis descendentes, para cálculo da ATS

Débito no sentido em análise (veic/h)	Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (f_g)	
	Terreno plano e trainéis descendentes	Terreno ondulado
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥900	1.00	1.00

(fonte: HCM 2010) [6]

No quadro 2.24 estão representados os valores relativos aos fatores de equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados para terreno plano e ondulado e trainéis descendentes.

Quadro 2.24 - Fatores de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados para terreno plano e ondulado e trainéis descendentes

Tipo de Veículo	Débito no sentido em análise (veic/h)	Terreno Plano e trainéis descendentes	Terreno ondulado
E_T	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥900	1.0	1.3
RVS, E_R	Qualquer	1.0	1.1

(fonte: HCM 2010) [6]

No quadro 2.25 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo da ATS.

Quadro 2.25 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo da ATS

Inclinação (%)	Extensão (km)	Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (fg)								
		Débito no sentido em análise (veic/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3.0<3.5	0.4	0.78	0.84	0.87	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.8	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.2	0.73	0.81	0.85	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.6	0.73	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2.4	0.73	0.79	0.83	0.87	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
	3.2	0.73	0.79	0.82	0.86	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00
	4.8	0.73	0.78	0.82	0.85	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98
	≥6.4	0.73	0.78	0.81	0.85	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96
≥3.5<4.5	0.4	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.8	0.72	0.80	0.84	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.2	0.67	0.77	0.81	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.6	0.65	0.73	0.77	0.81	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	2.4	0.63	0.72	0.76	0.80	0.93	0.95	0.96	1.00	1.00
	3.2	0.62	0.70	0.74	0.79	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	4.8	0.61	0.69	0.74	0.78	0.92	0.93	0.94	0.98	1.00
	≥6.4	0.61	0.69	0.73	0.78	0.91	0.91	0.92	0.96	1.00
≥4.5<5.5	0.4	0.71	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.8	0.60	0.70	0.74	0.79	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	1.2	0.55	0.65	0.70	0.75	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	1.6	0.54	0.64	0.69	0.74	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	2.4	0.52	0.62	0.67	0.72	0.88	0.90	0.93	1.00	1.00
	3.2	0.51	0.61	0.66	0.71	0.87	0.89	0.92	0.99	1.00
	4.8	0.51	0.61	0.65	0.70	0.86	0.88	0.91	0.98	0.99
	≥6.4	0.51	0.60	0.65	0.69	0.84	0.86	0.88	0.95	0.97
≥5.5<6.5	0.4	0.57	0.68	0.72	0.77	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	0.8	0.52	0.62	0.66	0.71	0.87	0.90	0.92	1.00	1.00
	1.2	0.49	0.57	0.62	0.68	0.85	0.88	0.90	1.00	1.00
	1.6	0.46	0.56	0.60	0.65	0.82	0.85	0.88	1.00	1.00
	2.4	0.44	0.54	0.59	0.64	0.81	0.84	0.87	0.98	1.00
	3.2	0.43	0.53	0.58	0.63	0.81	0.83	0.86	0.97	0.99
	4.8	0.41	0.51	0.56	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
	≥6.4	0.40	0.50	0.55	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
≥6.5	0.4	0.54	0.64	0.68	0.73	0.88	0.90	0.92	1.00	1.00
	0.8	0.43	0.53	0.57	0.62	0.79	0.82	0.85	0.98	1.00
	1.2	0.39	0.49	0.54	0.59	0.77	0.80	0.83	0.96	1.00
	1.6	0.37	0.45	0.50	0.54	0.74	0.77	0.81	0.96	1.00
	2.4	0.35	0.45	0.49	0.54	0.71	0.75	0.79	0.96	1.00
	3.2	0.34	0.44	0.48	0.53	0.71	0.74	0.78	0.94	0.99
	4.8	0.34	0.44	0.48	0.53	0.70	0.73	0.77	0.93	0.98
	≥6.4	0.33	0.43	0.47	0.52	0.70	0.73	0.77	0.91	0.95

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.26 estão representados os valores para os coeficientes de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros para cálculo da velocidade média de percurso em traineis ascendentes.

Quadro 2.26 - Coeficientes de equivalência de caminhões em veículos leves de passageiros para cálculo da velocidade média de percurso em trechos ascendentes

Inclinação (%)	Extensão (km)	Fator de equivalência de caminhões em veículos leves de passageiros (E_T)								
		Débito no sentido em análise (veic/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3.0<3.5	0.4	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.8	1.7	1.3	1.1
	0.8	3.7	3.4	3.3	3.2	2.7	2.6	2.6	2.3	2.0
	1.2	4.6	4.4	4.3	4.2	3.7	3.6	3.4	2.4	1.9
	1.6	5.2	5.0	4.9	4.9	4.4	4.2	4.1	3.0	1.6
	2.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.3	5.0	4.8	3.6	2.9
	3.2	7.3	6.9	6.7	6.5	5.7	5.5	5.3	4.1	3.5
	4.8	8.4	8.0	7.7	7.5	6.5	6.2	6.0	4.6	3.9
	≥6.4	9.4	8.8	8.6	8.3	7.2	6.9	6.6	4.8	3.7
≥3.5<4.5	0.4	3.8	3.4	3.2	3.0	2.3	2.2	2.2	1.7	1.5
	0.8	5.5	5.3	5.1	5.0	4.4	4.2	4.0	2.8	2.2
	1.2	6.5	6.4	6.5	6.5	6.3	5.9	5.6	3.6	2.6
	1.6	7.9	7.6	7.4	7.3	6.7	6.6	6.4	5.3	4.7
	2.4	9.6	9.2	9.0	8.9	8.1	7.9	7.7	6.5	5.9
	3.2	10.3	10.1	10.0	9.9	9.4	9.1	8.9	7.4	6.7
	4.8	11.4	11.3	11.2	11.2	10.7	10.3	10.0	8.0	7.0
	≥6.4	12.4	12.2	12.2	12.2	11.5	11.2	10.8	8.6	7.5
≥4.5<5.5	0.4	4.4	4.0	3.7	3.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5
	0.8	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.7	5.6	4.6	4.2
	1.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	1.6	9.2	9.2	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	8.8
	2.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.2	10.1
	3.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.6	11.6	11.5	11.1	10.9
	4.8	13.7	13.7	13.6	13.6	13.3	13.1	13.0	11.9	11.3
	≥6.4	15.3	15.3	15.2	15.2	14.6	14.2	13.8	11.3	10.0
≥5.5<6.5	0.4	4.8	4.6	4.5	4.4	4.0	3.9	3.8	3.2	2.9
	0.8	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	1.2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	1.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.1
	2.4	11.9	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	11.6
	3.2	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.7	12.7	12.6	12.5
	4.8	14.4	14.4	14.4	14.4	14.3	14.3	14.3	14.2	14.1
	≥6.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.2	15.1	15.1	14.9	14.8
≥6.5	0.4	5.1	5.1	5.0	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	4.4
	0.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
	1.2	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	1.6	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.2
	2.4	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.7
	3.2	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.6
	4.8	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.3	14.2
	≥6.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.1

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.27 estão representados os fatores de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos leves de passageiros em trechos ascendentes para cálculo da velocidade média de percurso

Quadro 2.27 - Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros em traineis ascendentes para cálculo da velocidade média de percurso

Inclinação (%)	Extensão (km)	Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros (E_R)								
		Débito no sentido em análise (veic/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3.0<3.5	≤0.4	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.4≤1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>1.2≤2.0	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>2.0≤3.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>3.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥3.5<4.5	≤0.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.4≤5.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>5.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥4.5<5.5	≤4.0	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥5.5<6.5	≤0.4	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.4≤4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>4.0≤5.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	>5.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
≥6.5	≤4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>4.0≤5.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	>5.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.28 estão presentes os valores para o fator de equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traineis descendentes.

Quadro 2.28 - Fator de Equivalência para estimativa do efeito na velocidade média de percurso dos pesados que circulam em velocidade lenta devido a traineis descendentes

Diferença entre FFS e a velocidade de descida dos camiões (km/h)	Fator de equivalência para os camiões em descida, E_{TC}								
	Débito no sentido em análise (veic/h)								
	≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≤25	4.7	4.1	3.6	3.1	2.6	2.1	1.6	1.6	1.0
30	9.9	8.7	7.8	6.7	5.8	4.9	4.0	4.0	1.0
40	15.1	13.5	12.0	10.4	9.0	7.7	6.4	6.4	3.8
50	22.0	19.8	17.5	15.6	13.1	11.6	9.2	9.2	4.1
55	29.0	26.0	23.1	20.1	17.3	14.6	11.9	11.9	6.5
≥65	35.9	32.3	28.6	24.9	21.4	18.1	14.7	14.7	7.9

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.29 estão representados os valores para o fator de ajustamento (f_{np}) devido às zonas de não ultrapassagem a considerar no cálculo da velocidade média de percurso

Quadro 2.29 - Fator de ajustamento (fnp) devido às zonas de não ultrapassagem a considerar no cálculo da velocidade média de percurso

Débito no sentido oposto, v_o (uvt/h)	Zonas de não ultrapassagem (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS=110 km/h					
≤ 100	1,8	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,3	6,4	6,8
400	2,6	3,7	4,3	4,5	4,7
600	2,3	2,4	2,7	3,1	3,2
800	1,1	1,6	1,9	2,3	2,4
1000	1,0	1,3	1,8	1,8	1,9
1200	1,0	1,3	1,4	1,6	1,8
1400	1,0	1,1	1,4	1,4	1,4
≥ 1600	1,0	1,1	1,1	0,7	1,3
FFS=100 km/h					
≤ 100	1,1	2,7	4,0	4,5	4,7
200	3,1	4,7	6,0	6,4	6,8
400	2,3	3,2	4,0	4,3	6,3
600	1,8	2,1	2,6	3,1	3,2
800	1,0	1,4	1,8	2,1	2,3
1000	1,0	1,1	1,4	1,8	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,4	1,8
1400	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4
≥ 1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1
FFS=90 km/h					
≤ 100	0,8	1,9	3,5	4,2	4,3
200	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,1	3,1	3,9	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,6	2,9	3,1
800	0,8	1,1	1,8	1,9	2,3
1000	0,8	1,0	1,3	1,4	1,8
1200	0,8	1,0	1,1	1,4	1,6
1400	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4
≥ 1600	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1
FFS=80 km/h					
≤ 100	0,3	1,1	3,1	3,9	4,0
200	1,9	3,2	5,3	6,3	6,4
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,3
600	1,0	1,4	2,3	2,7	3,1
800	0,6	1,0	1,4	1,9	2,1
1000	0,6	0,6	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,6	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,6	1,0	1,1	1,3
≥ 1600	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
FFS=70 km/h					
≤ 100	0,2	0,6	2,7	3,5	3,9
200	1,4	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,4	0,8	3,2	4,0	4,3
600	0,6	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	1,9
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,1	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,1
≥ 1600	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

2.3.7. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O tempo de percurso com atraso é obtido através da seguinte expressão:

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \quad (18)$$

Em que:

- PTSF – Tempo de percurso com atraso
- BPTSF – Tempo de percurso com atraso base
- f_{np} – Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem.
- v_d – Débito no sentido em análise (uvl/h)
- v_o – Débito no sentido oposto (uvl/h)

O débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade é dado pela expressão (15) e o fator de ajustamento f_{HV} é dado pela equação (13).

O tempo de percurso com atraso base é obtido através da próxima expressão:

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \quad (19)$$

Em que:

- V_d - Débito para o período de ponta de 15 minutos no sentido em análise (uvl/h)
- a e b – Coeficientes, obtidos pelo quadro 2.30.

Quadro 2.30 - Valores para os coeficientes a e b utilizados na estimativa do tempo de percurso com atraso base

Débito no sentido oposto, v_o	a	b
≤200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
≥1600	-0.0062	0.817

(fonte: HCM 2010) [6]

No quadro 2.31 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao tipo de terreno, para terreno plano e ondulado e para traineis descendentes, para cálculo do tempo de percurso com atraso.

Quadro 2.31 – Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno, para terreno plano e ondulado e para traineis descendentes, para cálculo do PTSF

Débito no sentido em análise (veic/h)	Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (f_a)	
	Terreno plano e traineis des-	Terreno ondulado
≤100	1.00	0.73
200	1.00	0.80
300	1.00	0.85
400	1.00	0.90
500	1.00	0.96
600	1.00	0.97
700	1.00	0.99
800	1.00	1.00
≥900	1.00	1.00

(fonte: HCM 2010) [6]

No quadro 2.32 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo do tempo de percurso com atraso.

Quadro 2.32 - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno para traineis ascendentes, para cálculo do PTSF

Inclinação	Extensão	Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (fg)								
		Débito no sentido em análise (veic/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3<3.5	0.4	1.00	0.99	0.97	0.96	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	0.8	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	1.2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	1.6	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	2.4	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	3.2	1.00	0.99	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	4.8	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
	≥6.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
≥3.5>4.5	0.4	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92
	0.8	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95
	1.2	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
	1.6	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	2.4	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	3.2	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	4.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	≥6.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥4.5<5.5	0.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
	≥0.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥5.5	Qualquer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.33 estão presentes os valores relativos aos Fatores de Equivalência para estimativa do efeito no tempo de percurso com atraso dos pesados para terreno plano e ondulado e traineis descendentes

Quadro 2.33 - Fatores de Equivalência para estimativa do efeito no tempo de percurso com atraso dos pesados para terreno plano e ondulado e traineis descendentes

Tipo de Veículo	Débito no sentido em análise (veic/h)	Terreno Plano e traineis descendentes	Terreno ondulado
E _T	≤100	1.1	1.9
	200	1.1	1.8
	300	1.1	1.7
	400	1.1	1.6
	500	1.0	1.4
	600	1.0	1.2
	700	1.0	1.0
	800	1.0	1.0
	≥900	1.0	1.0
RVs, E _R	Qualquer	1.0	1.0

(fonte: HCM 2010) [6]

No quadro 2.34 estão representados os valores dos fatores de equivalência para estimativa do tempo total de percurso com atraso.

Quadro 2.34 - ET e ER para estimativa do tempo total de percurso com atraso

Inclinação	Extensão (km)	Fator de equivalência de caminhões em veículos ligeiros de passageiros (E_T)								
		Débito no sentido em análise (veic/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3<3.5	≤3.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.5	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥6.4	1.6	1.4	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥3.5<4.5	≤1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.8	1.4	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥6.4	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
≥4.5<5.5	≤1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	3.2	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
	4.8	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
	≥6.4	3.5	3.1	2.9	2.7	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8
≥5.5<6.5	≤1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	2.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	3.2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
	4.8	3.4	3.2	3.0	2.9	2.4	2.3	2.3	1.9	1.9
	≥6.4	4.5	4.1	3.9	3.7	2.9	2.7	2.6	2.0	2.0
≥6.5	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	4.4	1.5	1.5	1.4	1.4
	2.4	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	3.2	2.9	2.8	2.7	2.7	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
	4.8	4.2	3.9	3.7	3.6	3.0	2.8	2.7	2.2	2.2
	≥6.4	5.0	4.6	4.4	4.2	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros (E_R)										
Qualquer	Qualquer	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

(fonte: adaptado de HCM 2010) [6]

No quadro 2.35 estão representados os valores para o fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem para determinação do tempo de percurso com atraso.

Quadro 2.35 - Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego (fnp) e da percentagem de zonas de não ultrapassagem para determinação de PTSF

Débito para o conjunto das 2 vias, V_p (uvl/h)	Aumento do tempo de percurso com atraso (%)					
	Zonas de não-ultrapassagem (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribuição direcional = 50/50						
≤200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
Distribuição direcional = 60/40						
≤200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
≥2600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
Distribuição direcional = 70/30						
≤200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
≥2000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
Distribuição direcional = 80/20						
≤200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
≥2000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
Distribuição direcional = 90/10						
≤200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
≥1400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

(fonte: HCM 2010) [6]

2.3.8. DETERMINAÇÃO DA PFFS

Este passo apenas será necessário para estradas de duas vias de classe III. A determinação do PFFS exige que, a velocidade média de percurso ATS e a velocidade em regime livre FFS tenham sido previamente determinadas.

A PFFS é determinada pela seguinte expressão:

$$PFFS = \frac{ATS}{FFS} \quad (20)$$

Em que:

- ATS – velocidade média de percurso para o sentido em análise
- FFS – velocidade em regime livre

2.3.9. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO

Depois dos passos anteriores relativos ao HCM 2010 estarem executados, recorre-se ao quadro 20 para determinar o nível de serviço, tendo em atenção qual a classe da estrada de duas vias em estudo.

2.4. CASOS ESPECIAIS

Ambos os manuais preveem casos especiais para estradas rurais de duas vias, que têm como finalidade melhorar as condições existentes de tráfego e apresentam metodologias de análise para estes casos, que apesar de não serem abordadas nesta dissertação, será conveniente referi-las.

Os casos especiais consistem em adicionar uma via extra num dos sentidos, podendo essa via ser designada por via de lentos ou via de ultrapassagem, contudo esta ultima é pouco usual em Portugal.

A via de lentos ao contrário da via de ultrapassagem é comum em Portugal e é geralmente empregue quando a estrada tem grandes inclinações durante uma extensão considerável. Esta via adicional evita que os veículos ligeiros a não ter que circular obrigatoriamente à velocidade dos veículos pesados quando se encontram atrás destes.

3

COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo comparar a metodologia do HCM 2010 com a metodologia do HCM 2000 relativamente a estradas de duas vias.

No capítulo anterior foram definidas ambas as metodologias e observaram-se algumas diferenças, que serão descritas neste capítulo. De uma forma geral o HCM 2010 manteve a estrutura da versão anterior e focou-se sobretudo na atualização dos parâmetros e relações utilizados na sua metodologia.

3.2. COMPARAÇÃO

3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS DE DUAS VIAS

O HCM 2000 classifica as estradas de duas vias em duas classes, enquanto a versão de 2010 acrescenta mais uma classe, sendo que essas classes já foram definidas no capítulo anterior da presente dissertação.

Em ambos os manuais os indicadores para a caracterização do nível de serviço para as estradas de duas vias de classe I e II são os mesmos, ou seja, para classe I, os indicadores são a velocidade média de percurso e o tempo de percurso com atraso e para classe II o indicador é apenas o tempo de percurso com atraso.

As estradas de classe III definidas pelo HCM 2010 têm como indicador a percentagem de viagem a que o condutor consegue viajar à velocidade em regime livre (PFFS).

3.2.2. CONDIÇÕES BASE

Condições base de uma estrada de duas vias podem ser definidas como um conjunto específico de características de uma estrada, que mesmo sendo aumentadas ou melhoradas, não trazem nenhum aumento da capacidade da estrada.

As condições base já referidas no capítulo anterior são as mesmas para os dois HCM, sendo :

- Largura da via igual ou superior a 3,6 metros;
- Largura da berma igual ou superior a 1,8 metros;
- Terreno plano;
- Apenas veículos de passageiros na corrente de tráfego;
- Inexistência de perturbações na corrente de tráfego;

- Igual repartição de tráfego nos dois sentidos;
- Inexistência de zonas de não ultrapassagem.

Estas condições base são as condições de referência para a determinação do nível de serviço, mas como é expectável, nem todas as estradas de duas vias cumprem estas condições, havendo assim necessidade de ajustar as condições existentes às condições ideais.

3.2.3. TIPOS DE ANÁLISE

O HCM 2000 contempla dois tipos de análise, ou seja, contempla uma análise bidirecional e unidirecional, enquanto o HCM 2010 apenas contempla a análise unidirecional. A análise unidirecional proporciona soluções mais económicas e evita um subdimensionamento da via mais carregada, relativamente à análise bidirecional, pois as correntes de tráfego em cada sentido não são iguais, nem apresentam as mesmas características.

Ambos os manuais consideram ainda, troços extensos e traineis isolados tendo estes influência no fator de ajustamento devido ao tipo de terreno e nos fatores de equivalência.

3.2.4. CAPACIDADE

Ambos os manuais definem capacidades iguais para as estradas de duas vias, isto é, definem 1700 uvl/h numa direção e 3200 uvl/h nas duas direções. Para troços de curta extensão, como túneis ou pontes, pode-se atingir para o conjunto dos dois sentidos, uma capacidade entre 3200 e 3400 uvl/h.

O facto de normalmente a capacidade nas duas direções ser de 3200 uvl/h deve-se ao HCM considerar que quando a via num sentido atinge a sua capacidade limite, ou seja 1700 uvl/h, condiciona a capacidade no sentido contrário, ou seja a capacidade no sentido oposto é de 1500 uvl/h.

3.2.5. NÍVEIS DE SERVIÇO

Os indicadores para a definição dos níveis de serviço para estradas de duas vias de classe I e II como já foi referido anteriormente são iguais em ambos os HCM e são o ATS e o PTSF. Estes têm valores iguais no que diz respeito à definição do nível de serviço como é mostrado no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Níveis de serviço segundo HCM 2000 e HCM 2010 para Estradas de duas vias de classe I e II

Nível de Serviço	Classe I				Classe II	
	Tempo de percurso com atraso (%)		Velocidade média de percurso (km/h)		Tempo de percurso com atraso (%)	
	HCM 2000	HCM 2010	HCM 2000	HCM 2010	HCM 2000	HCM 2010
A	≤ 35	≤ 35	> 90	> 90	≤ 40	≤ 40
B	> 35 - 50	> 35 - 50	> 80 - 90	> 80 - 90	> 40 - 55	> 40 - 55
C	> 50 - 65	> 50 - 65	> 70 - 80	> 70 - 80	> 55 - 70	> 55 - 70
D	> 65 - 80	> 65 - 80	> 60 - 70	> 60 - 70	> 70 - 85	> 70 - 85
E	> 80	> 80	≤ 60	≤ 60	> 85	> 85

(fonte: HCM 2010) [6]

Relativamente a estradas de duas vias de classe III, estas foram definidas pela primeira vez no HCM 2010, ou seja a definição do nível de serviço para esta classe só é possível ser efetuada pelo HCM 2010, já que o HCM 2000 não faz a distinção entre esta classe e as outras duas consideradas.

3.2.6. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

A velocidade em regime livre FFS pode ser obtida de duas formas distintas como referido no capítulo anterior, ou seja, se for possível a medição dos dados no local ela será determinada pela expressão (1)

para o HCM 2000 e pela expressão (12) para o HCM 2010. Se não for possível essa medição, então terá de se estimar a velocidade em regime livre segundo a expressão (3) de acordo com as duas versões do HCM.

No caso de ser possível a medição no local da velocidade média de tráfego, observa-se que, existem diferenças entre as expressões do HCM 2000 e do HCM 2010 que determinam a velocidade em regime livre, como se pode observar:

$$FFS = S_{FM} + 0,0125 \times \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (1)$$

$$FFS = S_{FM} + 0,0125 \times \frac{v}{f_{HV}} \quad (12)$$

Verifica-se assim que as expressões para o cálculo da velocidade em regime livre são iguais. É de referir ainda que, o valor do fator de ajustamento relativo aos veículos pesados f_{HV} , é diferente em ambos os manuais, pois os fatores de que este está dependente, mais propriamente o fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros (E_T) e o fator de equivalência de veículos de recreio em veículos ligeiros (E_R), variam em ambos os guias como se pode observar no capítulo anterior.

Relativamente ao método de estimativa da velocidade em regime livre ele é dado pela expressão (3) para ambos os guias.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (3)$$

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (16)$$

Esta expressão para estimativa da velocidade em regime livre está sujeita a algumas correções relativamente à velocidade em regime livre base BFFS, sendo que esses fatores de correção são: o fator de ajustamento devido à largura das vias e das bermas (f_{LS}) e o fator de ajustamento devido aos pontos de acesso (f_A).

Os fatores de ajustamento referidos são iguais em ambos os manuais em estudo, fazendo com que o valor da velocidade em regime livre segundo a expressão (3) seja igual nos dois manuais.

Em ambos os manuais o fator de ajuste devido à largura das vias depende da largura das vias e da largura das bermas, contudo quando é possível determinar a velocidade em regime livre no local assume-se que a influência destes parâmetros já está integrado no comportamento dos condutores, não havendo assim necessidade de entrar com este parâmetro nessa mesma condição.

O fator de ajuste devido aos pontos de acesso, pode ter em ambos os manuais uma redução na velocidade em regime livre entre 0 a 16 km/h, dependendo da densidade de pontos de acesso por km.

3.2.7. VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

Ambos manuais definem expressões para o cálculo da velocidade média de percurso ATS, sendo estas expressões iguais nos dois manuais. As expressões enunciadas no capítulo anterior são:

$$ATS = FFS - 0,0125v_p - f_{np} \quad (4)$$

$$ATS = FFS - 0,0125(v_d + v_o) - f_{np} \quad (17)$$

Observa-se ainda que as variáveis que estão presentes em ambas as expressões para o cálculo da velocidade média de percurso são iguais contudo os seus valores são diferentes, pois os valores dos fatores associados a estas variáveis diferem entre os dois manuais.

O débito no conjunto das duas vias é determinado pela expressão (5) e pode-se observar que este depende do fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive (f_G) e do fator de ajustamento devido aos veículos pesados (f_{HV}), sendo que o valor destes fatores também diferem entre o manual de 2000 e o manual de 2010. O valor do fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem (f_{np}) também difere entre os manuais em estudo como se poderá observar nos quadros 11 e 29.

3.2.8. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O método usado para a determinação do atraso PTSF é diferente nos dois manuais, como se poderá observar:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (9)$$

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \quad (18)$$

Como se pode observar, o manual de 2010 atualizou a expressão de cálculo do tempo de percurso com atraso multiplicando o fator de ajuste devido a zonas de não ultrapassagem pela percentagem de unidade de veículos ligeiros na via em estudo.

As restantes diferenças existentes nos dois manuais em estudo para ao cálculo do tempo de percurso com atraso, residem nos valores do fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem (f_{np}) e no tempo de percurso com atraso base BPTSF, como se poderá constatar ao observar-se os valores destas variáveis no capítulo anterior sendo que o fator de ajustamento devido a zonas de não ultrapassagem está representado pelos quadros 13 e 35 e o tempo de percurso com atraso base é determinado pela expressão (10), sendo esta igual nos dois manuais e depende dos coeficientes a e b , sendo estes coeficientes diferentes nos dois manuais.

3.2.9. PERCENTAGEM DE VIAGEM A QUE O CONDUTOR CONSEGUE VIAJAR À VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

Este indicador usado para estimar o nível de serviço em estradas de duas vias de classe III foi considerado pela primeira vez pelo HCM 2010.

Como referido o HCM 2000 não engloba esta classe, ou seja, não faz a distinção entre esta classe e as outras duas, assim nesta versão as estradas de duas vias de classe III, são na verdade classe II e usa como indicadores o tempo de percurso com atraso.

A adição por parte da versão de 2010 desta classe, traz vantagens relativamente à versão anterior, pois neste tipo de estradas o atraso e a velocidade não são realmente importantes, pois o que é pretendido é desfrutar da paisagem ou desfrutar da viagem, quer por interesses turísticos quer por outros interesses, não havendo assim um sobredimensionamento devido à necessidade de dimensionar este tipo de estradas para outras funcionalidades.

3.2.10. EFEITO DO TIPO DE TERRENO

Como já foi referido ambos os manuais consideram o efeito do tipo de terreno na determinação do nível de serviço. Os tipos de terreno considerados para estradas de duas vias são o terreno plano e ondulado. Consideram ainda a existência de troços extensos e traineis isolados, estando estes dependentes da inclinação do terreno e da sua extensão.

No caso de troços extensos ambas as versões consideram que estes têm uma extensão maior que 3 quilómetros e uma inclinação máxima de 3 % e nos traineis isolados ambos consideram que têm de

ter uma inclinação superior a 3% e uma extensão maior que 1 quilômetro, apesar de já poder ser considerado trainel isolado se tiver uma extensão superior a 0.5 quilômetros.

O efeito do tipo de terreno é tido em conta no fator de ajuste devido ao tipo de terreno e nos fatores de equivalência. Estes fatores dependem da inclinação do terreno, da extensão do troço e do débito no sentido em análise, contudo neste ultimo parâmetro os manuais diferem nas unidades, pois a versão de 2000 apresenta o débito em uvl/h e a versão de 2010 em veic/h.

3.2.11. FATOR DE AJUSTE DEVIDO A ZONAS DE NÃO ULTRAPASSAGEM

Este fator influencia diretamente a velocidade média de percurso e o tempo de percurso com atraso e está dependente do débito no sentido oposto e da velocidade em regime livre ou da repartição de tráfego dependendo do caso, ou seja segundo o manual de 2000 ele depende da repartição do tráfego apenas no cálculo do tempo de percurso com atraso, quando se efetua uma análise bidirecional.

No caso da versão de 2010 ele depende da repartição do tráfego apenas no cálculo do tempo de percurso com atraso, para uma análise unidirecional, pois como já foi referido anteriormente, esta versão só contempla essa análise.

3.2.12. ANÁLISE DE ALGUNS EXEMPLOS PRÁTICOS

Para melhor se perceber as diferenças entre os dois manuais, proceder-se-á à determinação do nível de serviço de uma estrada de duas vias, segundo as duas metodologias abordadas nesta dissertação e posteriormente será efetuada uma análise de sensibilidade.

3.2.12.1. DADOS DO PROBLEMA

Como referido anteriormente, irá efetuar-se a resolução de um problema, mais propriamente determinar o nível de serviço de uma estrada de duas vias, sendo os dados do problema os seguintes:

Tráfego

- Volume 600 veic/h/via
- Pesados 5%
- Veículos de recreio 5%
- Repartição por sentido 50/50
- FPH 0,91

Geometria

- Classe I
- Comprimento 7,2 Km
- Declive 4%
- BFFS 100 Km/h
- Largura das vias 3,3 m
- Largura das bermas 1,2 m
- Extensão de não ultrapassagem 80%
- Densidade de acessos 6/Km

3.2.12.2. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2000

Determinação da velocidade média de percurso:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \Leftrightarrow FFS = 100 - 2.8 - 4 \Leftrightarrow FFS = 93.2 \text{ km/h}$$

Sentido Ascendente:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(9.7-1)+0.05(1-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.697$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 0.96 \times 0.697} \Leftrightarrow V_p = 986 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.0125 \times (986 + 667) - 2.6 \Leftrightarrow ATS = 69.9 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(1.4-1)+0.05(1-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.980$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 0.980} \Leftrightarrow V_p = 673 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \Leftrightarrow BPTSF = 100(1 - e^{-0.122 \times 673^{0.394}}) \Leftrightarrow BPTSF = 79.5$$

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \Leftrightarrow PTSF_d = 79.5 + 10.0 \Leftrightarrow PTSF_d = 89.5\%$$

Para o sentido descendente:

Considerando que não há caminhões a circular a velocidades mais baixas nas descidas, então:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(1.2-1)+0.05(1.0-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.99$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 0.99} \Leftrightarrow V_p = 667 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.0125 \times (986 + 667) - 1.8 \Leftrightarrow ATS = 70.7 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

Considerando que não há caminhões a circular a velocidades mais baixas nas descidas, então:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(1.0-1)+0.05(1.0-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 1.0$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 1.0} \Leftrightarrow V_p = 660 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.127 \times 660^{0.390}}) \Leftrightarrow BPTSF = 79.8$$

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \Leftrightarrow PTSF_d = 79.8 + 9.7 \Leftrightarrow PTSF_d = 89.5\%$$

3.2.12.3. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2010

Determinação da velocidade média de percurso:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \Leftrightarrow FFS = 100 - 2.8 - 4 \Leftrightarrow FFS = 93.2 \text{ km/h}$$

Para sentido Ascendente:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.05(11.2 - 1) + 0.05(1 - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.662$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 0.91 \times 0.662} \Leftrightarrow V_p = 1095 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.00776v_p - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.00776 \times (1095 + 663) - 1.6 \Leftrightarrow ATS = 77.96 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.05(1.4 - 1) + 0.05(1 - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.980$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 0.980} \Leftrightarrow V_p = 673 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \Leftrightarrow BPTSF = 100(1 - e^{-0.0037 \times 673^{0.859}}) \Leftrightarrow BPTSF = 63.0$$

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 63.0 + 29.3 \times \left(\frac{673}{673 + 660} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 77.79\%$$

Para sentido descendente:

Considerando que não há camiões a circular a velocidades mais baixas nas descidas, então:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(1.1-1)+0.05(1.0-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.995$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 0.995} \Leftrightarrow V_p = 663 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.00776 - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.00776 \times (1095 + 663) - 0.9 \Leftrightarrow ATS = 78.66 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

Considerando que não há caminhões a circular a velocidades mais baixas nas descidas, então:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0.05(1.0-1)+0.05(1.0-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 1.0$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{600}{0.91 \times 1.0 \times 1.0} \Leftrightarrow V_p = 660 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.0037 \times 660^{0.856}}) \Leftrightarrow BPTSF = 62.28$$

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 62.28 + 29.3 \times \left(\frac{660}{673 + 660} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 77.51\%$$

3.2.12.4. DADOS DO PROBLEMA

Tráfego

- Volume 1600 veic/h/via
- Pesados 14%
- Veículos de recreio 4%
- Repartição por sentido 50/50
- FPH 0,95

Geometria

- Classe I
- Comprimento 10 Km
- Terreno ondulado
- BFFS 100 Km/h
- Largura das vias 3,4 m
- Largura das bermas 1,2 m
- Extensão de não ultrapassagem 60%
- Densidade de acessos 12/Km

3.2.12.5. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2000

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1+0.14(1.5-1)+0.04(1.1-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.931$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{1600}{0.95 \times 0.99 \times 0.931} \Leftrightarrow V_p = 1828 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.0125 \times 1828 - 1.5 \Leftrightarrow ATS = 64.9 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1+0.14(1.0-1)+0.04(1.0-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 1.0$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{1600}{0.95 \times 1.0 \times 1.0} \Leftrightarrow V_p = 1685 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \Leftrightarrow BPTSF = 100(1 - e^{-0.204 \times 843^{0.333}}) \Leftrightarrow BPTSF = 85.4$$

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \Leftrightarrow PTSF_d = 85.4 + 5.6 \Leftrightarrow PTSF_d = 91.0\%$$

3.2.12.6. RESOLUÇÃO SEGUNDO HCM 2010

Determinação da velocidade média de percurso:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \Leftrightarrow FFS = 100 - 2.8 - 4 \Leftrightarrow FFS = 93.2 \text{ km/h}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1+0.14(1.4-1)+0.04(1.1-1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 0.943$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{1600}{0.95 \times 0.99 \times 0.943} \Leftrightarrow V_p = 1805 \text{ uvl/h}$$

$$ATS = FFS - 0.00776v_p - f_{np} \Leftrightarrow ATS = 93.2 - 0.00776 \times 1805 - 0.9 \Leftrightarrow ATS = 78.3 \text{ km/h}$$

Determinação do tempo de percurso com atraso:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,14(1,0 - 1) + 0,04(1,0 - 1)} \Leftrightarrow f_{HV} = 1,0$$

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \Leftrightarrow V_p = \frac{1600}{0,95 \times 1,0 \times 1,0} \Leftrightarrow V_p = 1685 \text{ uvl/h}$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{av_d^b}) \Leftrightarrow BPTSF = 100(1 - e^{-0,0046 \times 843^{0,832}}) \Leftrightarrow BPTSF = 71,4$$

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 61,4 + 37,7 \times \left(\frac{843}{1685} \right) \Leftrightarrow PTSF_d = 80,3\%$$

3.2.12.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo então calculado no exercício anterior, os indicadores para determinar o nível de serviço numa estrada de duas vias de classe I, proceder-se-á então á análise e comentários dos resultados obtidos. Apresenta-se assim um quadro resumo dos resultados obtidos:

Quadro 3.2 – Quadro resumo

Parâmetro	HCM 2000			HCM 2010		
	Exemplo 1		Exemplo 2	Exemplo 1		Exemplo 2
	Ascendente	Descendente	Ondulado	Ascendente	Descendente	Ondulado
FFS (km/h)	93.2	93.2	89.2	93.2	93.2	89.2
f_{HV} (ATS)	0.697	0.990	0,931	0.662	0.995	0,943
V_p (ATS) (uvl/h)	986	667	1828	1095	663	1805
ATS (km/h)	69.9	70.7	64,9	78.0	78.7	78,3
f_{HV} (PTSF)	0.980	1.0	1,0	0.980	1.0	1,0
V_p (PTSF) (uvl/h)	673	660	1685	673	660	1685
BPTSF	79,5	79,8	85,4	63.0	62.3	71,4
PTSF (%)	89.5	89.5	91,0	77.8	77.5	80.3
Nível de serviço	E	E	E	D	D	E

Verifica-se neste caso que, o nível de serviço determinado segundo a metodologia de cada um dos manuais coincide, contudo, a diferença no que diz respeito aos valores dos indicadores, ou seja, da velocidade média de percurso e do tempo de percurso com atraso é significativa como se pode observar no quadro 3.2.

A velocidade em regime livre com referido anteriormente, é igual nos dois manuais, pois nestes dois exemplos, ela foi estimada e não medida no local.

Relativamente ao tempo de percurso com atraso, os valores obtidos pelas duas metodologias são diferentes, contudo algumas das variáveis têm valores iguais, pois, no caso de o troço ser descendente ou plano, o fator de ajuste devido ao terreno e os fatores de equivalência são iguais nos dois manuais, e no caso do troço ascendente, os valores dos fatores coincidiram nestes dois exemplos, contudo há que

referir que, não se pode efetuar uma comparação direta entre os valores dos fatores das duas versões, pois estes dependem do débito, estando este último em unidades diferentes nos dois manuais.

O facto de o débito estar em veic/h no HCM 2010 facilita ao cálculo das várias expressões aqui em estudo, pois para se determinar qualquer um dos fatores anteriormente referidos, usa-se o débito real em veic/h, enquanto, que para o HCM 2000 terá de se usar o débito homogeneizado.

Observa-se ainda que os valores obtidos para o tempo de percurso com atraso são maiores no manual de 2000, sendo assim esta versão mais conservadora no que diz respeito a este indicador.

No que diz respeito à velocidade média de percurso, à semelhança do tempo de percurso com atraso, esta também difere nos dois guias, sendo que, o manual de 2010 não é tão conservador como a versão anterior no que diz respeito a este indicador, obtendo-se assim valores de velocidade média de percurso maiores na versão de 2010.

Observa-se ainda que no HCM 2010 em relação ao HCM 2000 a velocidade média de percurso aumenta e o tempo de percurso com atraso diminui. Esta evolução apesar de parecer razoável, faz com que o HCM 2010 seja menos conservador que a sua versão anterior, trazendo vantagens e desvantagens, ou seja, existe um menor risco de sobredimensionamento e um maior risco de subdimensionamento em relação ao manual de 2000.

4

ESTUDO DE CASO

4.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo destina-se a apresentar os procedimentos de recolha de dados e cálculo conducentes à determinação do nível de serviço, através da aplicação da metodologia do HCM 2010, de dois troços distintos de uma estrada rural de duas vias, tendo sido escolhida a estrada nacional 222 atendendo às suas características e à proximidade do Porto.

Cada um dos troços selecionados tem diferentes características, ou seja, um dos troços desenvolve-se em terreno plano, e outro em terreno ondulado. O estudo destes dois troços com distintas características de terreno permite uma melhor compreensão e análise da metodologia aplicada.

4.2. ESTRADA NACIONAL 222

A estrada nacional 222 integra a rede nacional de estradas de Portugal e liga Vila Nova de Gaia a Vila Nova de Foz Coa. É uma estrada com alguma sinuosidade, com um volume de tráfego relativamente alto, principalmente nas horas de ponta, é maioritariamente de duas vias, tendo, por vezes, troços em que o sentido ascendente tem uma via de lentos, sendo este um caso especial de uma estrada de duas vias com uma metodologia de análise diferente da metodologia para troços de estradas de duas vias convencionais. A estrada em estudo faz a ligação entre a periferia de Vila Nova de Gaia ao seu centro, e permite a ligação a algumas estradas importantes como por exemplo a autoestrada número 32 e o IP 1, sendo uma via necessária à população para chegar aos respetivos empregos ou outros destinos. Por este motivo a estrada deve ser considerada de classe I, pois a acessibilidade e mobilidade são atributos fundamentais para esta estrada.

4.3. RECOLHA DE DADOS

O sistema utilizado para realizar a recolha de dados, nomeadamente a contagem do tráfego e respetiva classificação bem como a medição das velocidades dos veículos em secção, foi o Viacount II. Este aparelho (Figura 4.1) constitui um sistema automático de contagem de tráfego baseado num sensor de radar Doppler de 24.165 GHz, integrado com memória de dados Flash RAM e relógio em tempo real.[7]

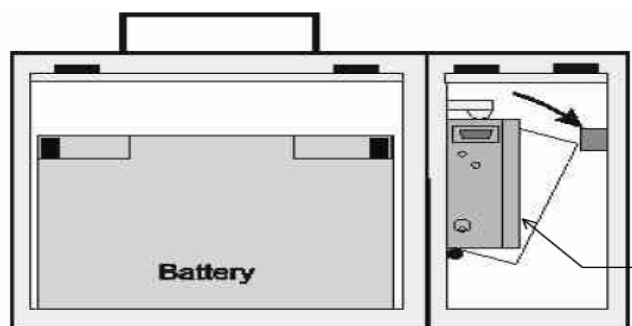


Figura 4.1 – Componentes do viacount

(fonte: oliveira, Carlos, 2008) [7]

Para efetuar o registo das variáveis referidas instalou-se o sistema Viacount junto da berma, de forma lateral relativamente ao sentido do tráfego e numa posição em que não fosse visível pelos condutores de forma a não influenciar o seu comportamento (Figura 4.2).

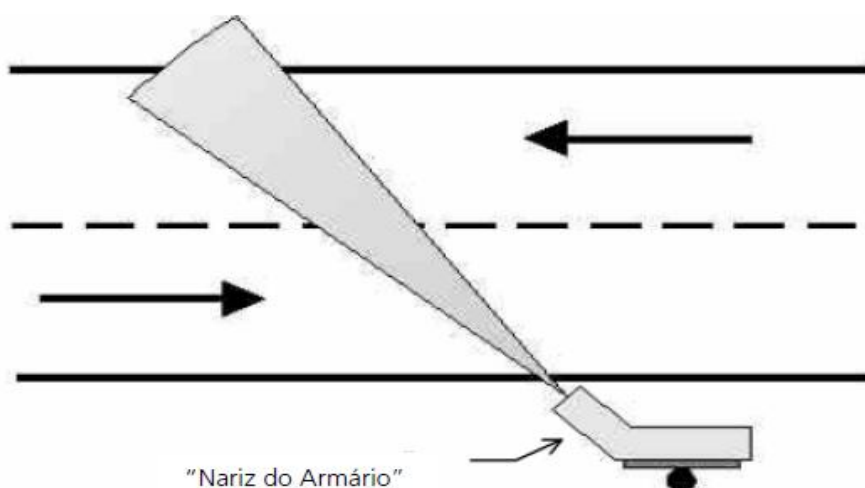


Figura 4.2 – Instalação na posição lateral e lateral por cima

(fonte: oliveira, Carlos, 2008) [7]

Um dos problemas associados a este sistema, é que este necessita de visão direta dos veículos, comprometendo assim as contagens quando se efetua uma contagem bidirecional. Este problema reside no facto de, no mesmo instante, passar na via mais próxima um veículo mais alto (veículo pesado) e na via mais afastada um veículo ligeiro, como se pretende ilustrar na Figura 4.3.

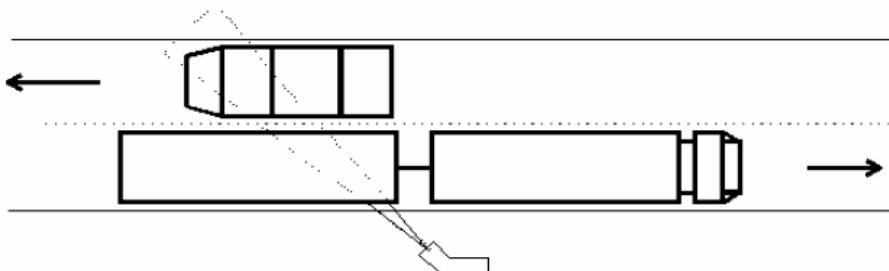


Figura 4.3 - Sombra no Radar (veículo ligeiro) na via mais afastada

(fonte: oliveira, Carlos, 2008) [7]

4.4. TROÇOS EM ESTUDO

4.4.1. TROÇO 1

Este troço situa-se em ambiente rural na zona de Avintes, mais especificamente em frente à zona industrial e será designado de troço 1. É um troço reto com um declive inferior a 3%, razão pelo qual se considera um troço plano. A estrada tem duas vias e dois sentidos, que serão designados por Avintes-Lever e por Lever-Avintes.



Figura 4.4 – Estrada nacional 222 (troço1)

4.4.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

O troço 1 tem as seguintes características geométricas:

- Extensão de zonas de não ultrapassagem de 0%;
- Terreno plano;
- Extensão de 500 metros;
- Largura de via de 3,63 metros;
- Largura da berma de 2,25 metros.

Como se pode verificar este troço permite ultrapassagens em toda a sua extensão se as condições de tráfego assim o permitirem, não obrigando portanto na maior parte das vezes os veículos ligeiros a circular a velocidades mais reduzidas, devido à obstrução provocada pelos veículos mais lentos.

4.4.2. TROÇO 2

Este troço deve ser considerado terreno ondulado, situa-se em Lever, perto da barragem de Crestuma, e permite a ligação centro de Vila Nova de Gaia e à zona industrial de Avintes. É um troço que não tem tanto tráfego como o denominado troço 1 e à semelhança deste, possui dois sentidos, sendo estes designados doravante por Avintes-Lever e Lever-Avintes.



Figura 4.5 – Estrada nacional 222 (troço 2)

4.4.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

O troço 2 tem as seguintes características geométricas:

- Largura da via de 3,63 metros;
- Largura da berma de 2,30 metros;
- Extensão de não ultrapassagem de 100%
- Terreno ondulado;
- Extensão de 600 metros,

Este troço não permite ultrapassagens, o que obriga as correntes de tráfego a praticarem velocidades homogêneas, mas penalizando o tempo de atraso e a velocidade média de percurso, já que os veículos ligeiros que pretendam circular a velocidades mais elevadas e que se encontrem atrás de veículos pesados são obrigados a praticar as velocidades destes últimos.

4.5. MEDIÇÕES

As medições nos dois troços, como já foi referido, foram efetuadas com o aparelho Viacount II tendo-se optado por realizar a recolha de dados em dois dias úteis, na quinta-feira, dia 31 de maio e na sexta-feira, dia 1 de junho. Foram utilizados dois aparelhos Viacount, um por troço, fazendo cada um deles uma medição bidirecional. Os dados armazenados por cada aparelho, foram tratados pelo software *Viaterm* e *Viagraph*. Esses dados serviram para determinar o nível de serviço ao longo do dia de ambos os troços e posteriormente proceder a uma análise crítica e verificar a adequabilidade da metodologia de análise para estradas de duas vias apresentada no HCM 2010.

4.6. DADOS

Os dados obtidos na medição efetuada com os aparelhos Viacount II, para os dois troços durante os dois dias em que ocorreu a medição, foram sujeitos a um tratamento e não correspondem ao formato fornecido pelo aparelho, dado que este regista veículo a veículo, o comprimento, velocidade, headway e hora e data de passagem. Apresentam-se assim os dados em períodos de 15 minutos, com as respeti-

vas contagens de tráfego correspondentes. Os volumes de tráfego dos períodos de 15 minutos mais carregados serão posteriormente identificados e utilizados no cálculo para a determinação do nível de serviço.

Os dados relativos ao troço 1 e troço 2 para os dois dias de recolha de dados (dia 31 de maio e 1 de junho), considerando os dois sentidos de circulação, são apresentados nos quadros 4.1 a 4.4.

Quadro 4.1 – Dados relativos ao dia 31 de maio para o troço 1

Sentido	Avintes-Lever		Lever-Avintes		Total	
	Período	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Pesados
8:00 - 8:15	89	1	167	4	256	5
8:15 - 8:30	116	6	141	6	257	12
8:30 - 8:45	92	4	145	2	237	6
8:45 - 9:00	104	0	153	6	257	6
9:00 - 9:15	79	4	93	7	172	11
9:15 - 9:30	81	4	109	3	190	7
9:30 - 9:45	92	5	83	4	175	9
9:45 - 10:00	88	5	90	5	178	10
10:00 - 10:15	80	2	61	3	141	5
10:15 - 10:30	74	3	76	2	150	5
10:30 - 10:45	78	3	68	6	146	9
10:45 - 11:00	86	4	58	5	144	9
11:00 - 11:15	84	9	69	4	153	13
11:15 - 11:30	91	1	67	7	158	8
11:30 - 11:45	80	5	66	1	146	6
11:45 - 12:00	84	4	61	4	145	8
12:00 - 12:15	78	2	47	4	125	6
12:15 - 12:30	74	2	69	3	143	5
12:30 - 12:45	102	7	58	8	160	15
12:45 - 13:00	73	2	70	3	143	5
13:00 - 13:15	83	2	62	2	145	4
13:15 - 13:30	103	3	70	2	173	5
13:30 - 13:45	70	3	69	1	139	4
13:45 - 14:00	86	4	63	1	149	5
14:00 - 14:15	86	3	78	5	164	8
14:15 - 14:30	82	1	84	4	166	5
14:30 - 14:45	82	1	73	3	155	4
14:45 - 15:00	76	4	72	5	148	9
15:00 - 15:15	90	3	64	2	154	5
15:15 - 15:30	84	5	66	10	150	15
15:30 - 15:45	101	1	53	9	154	10
15:45 - 16:00	78	9	78	1	156	10
16:00 - 16:15	101	5	70	5	171	10
16:15 - 16:30	106	6	70	4	176	10
16:30 - 16:45	100	7	69	0	169	7
16:45 - 17:00	131	4	64	3	195	7
17:00 - 17:15	125	4	99	3	224	7
17:15 - 17:30	144	8	83	1	227	9
17:30 - 17:45	159	8	96	1	255	9
17:45 - 18:00	165	5	74	3	239	8
18:00 - 18:15	163	9	107	2	270	11
18:15 - 18:30	177	4	95	7	272	11
18:30 - 18:45	151	3	60	7	211	10
18:45 - 19:00	145	5	80	6	225	11
19:00 - 19:15	160	2	72	3	232	5
19:15 - 19:30	144	2	71	4	215	6
19:30 - 19:45	141	0	57	0	198	0
19:45 - 20:00	159	4	71	4	230	8

Quadro 4.2 - Dados relativos ao dia 31 de maio para o troço 2

Sentido Período	Avintes - Lever		Lever - Avintes		Motociclos	Total	
	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados		Ligeiros	Pesados
8:00 - 8:15	44	2	55	1	2	99	3
8:15 - 8:30	38	4	60	3	4	98	7
8:30 - 8:45	53	1	51	1	2	104	2
8:45 - 9:00	53	0	48	3	4	101	3
9:00 - 9:15	47	0	40	0	3	87	0
9:15 - 9:30	37	1	49	1	6	86	2
9:30 - 9:45	29	0	37	0	3	66	0
9:45 - 10:00	28	0	37	1	1	65	1
10:00 - 10:15	46	0	22	3	4	68	3
10:15 - 10:30	35	0	38	2	2	73	2
10:30 - 10:45	38	1	40	0	1	78	1
10:45 - 11:00	34	1	28	0	1	62	1
11:00 - 11:15	32	0	34	1	0	66	1
11:15 - 11:30	36	0	37	1	2	73	1
11:30 - 11:45	42	0	33	2	4	75	2
11:45 - 12:00	39	1	32	0	2	71	1
12:00 - 12:15	39	1	35	2	0	74	3
12:15 - 12:30	28	0	21	0	1	49	0
12:30 - 12:45	43	0	29	1	1	72	1
12:45 - 13:00	20	1	33	1	0	53	2
13:00 - 13:15	21	0	27	0	3	48	0
13:15 - 13:30	27	0	26	3	6	53	3
13:30 - 13:45	44	0	30	4	8	74	4
13:45 - 14:00	31	0	37	1	4	68	1
14:00 - 14:15	37	0	39	1	2	76	1
14:15 - 14:30	53	1	43	3	2	96	4
14:30 - 14:45	27	1	44	2	3	71	3
14:45 - 15:00	36	2	31	2	4	67	4
15:00 - 15:15	34	0	47	6	4	81	6
15:15 - 15:30	41	2	39	3	4	80	5
15:30 - 15:45	38	0	30	0	0	68	0
15:45 - 16:00	54	0	41	1	5	95	1
16:00 - 16:15	28	0	39	1	0	67	1
16:15 - 16:30	49	0	32	0	5	81	0
16:30 - 16:45	43	0	32	1	1	75	1
16:45 - 17:00	58	2	38	3	2	96	5
17:00 - 17:15	62	0	35	1	8	97	1
17:15 - 17:30	58	3	54	2	4	112	5
17:30 - 17:45	66	0	59	1	6	125	1
17:45 - 18:00	80	2	43	4	8	123	6
18:00 - 18:15	64	0	47	1	3	111	1
18:15 - 18:30	80	3	61	4	9	141	7
18:30 - 18:45	68	1	51	0	4	119	1
18:45 - 19:00	59	0	61	1	4	120	1
19:00 - 19:15	60	3	45	1	4	105	4
19:15 - 19:30	69	0	43	1	6	112	1
19:30 - 19:45	71	1	42	0	6	113	1
19:45 - 20:00	57	1	29	1	1	86	2

Quadro 4.3 - Dados relativos ao dia 1 de junho para o troço 1

Sentido	Avintes-Lever		Lever-Avintes		Total	
	Período	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Pesados
8:00 - 8:15	87	5	147	5	234	10
8:15 - 8:30	105	4	138	9	243	13
8:30 - 8:45	96	5	147	7	243	12
8:45 - 9:00	93	3	136	8	229	11
9:00 - 9:15	82	3	114	2	196	5
9:15 - 9:30	96	2	100	1	196	3
9:30 - 9:45	95	7	91	8	186	15
9:45 - 10:00	84	5	91	1	175	6
10:00 - 10:15	79	2	81	4	160	6
10:15 - 10:30	81	4	65	4	146	8
10:30 - 10:45	84	2	69	1	153	3
10:45 - 11:00	76	4	66	5	142	9
11:00 - 11:15	68	3	70	1	138	4
11:15 - 11:30	80	4	59	2	139	6
11:30 - 11:45	93	7	64	6	157	13
11:45 - 12:00	85	4	49	4	134	8
12:00 - 12:15	93	6	70	5	163	11
12:15 - 12:30	95	4	80	7	175	11
12:30 - 12:45	103	7	69	5	172	12
12:45 - 13:00	99	5	65	2	164	7
13:00 - 13:15	94	6	70	4	164	10
13:15 - 13:30	81	4	66	0	147	4
13:30 - 13:45	79	3	90	5	169	8
13:45 - 14:00	75	5	91	4	166	9
14:00 - 14:15	80	1	87	5	167	6
14:15 - 14:30	96	5	61	4	157	9
14:30 - 14:45	75	2	71	3	146	5
14:45 - 15:00	85	2	62	2	147	4
15:00 - 15:15	84	6	73	5	157	11
15:15 - 15:30	99	2	80	0	179	2
15:30 - 15:45	103	3	72	9	175	12
15:45 - 16:00	81	4	83	5	164	9
16:00 - 16:15	84	9	79	1	163	10
16:15 - 16:30	112	7	74	8	186	15
16:30 - 16:45	121	7	78	9	199	16
16:45 - 17:00	140	1	91	11	231	12
17:00 - 17:15	142	4	91	6	233	10
17:15 - 17:30	164	3	94	3	258	6
17:30 - 17:45	159	7	98	6	257	13
17:45 - 18:00	154	5	83	4	237	9
18:00 - 18:15	154	7	120	4	274	11
18:15 - 18:30	178	4	81	3	259	7
18:30 - 18:45	159	2	82	6	241	8
18:45 - 19:00	165	5	96	5	261	10
19:00 - 19:15	138	4	68	6	206	10
19:15 - 19:30	152	4	77	5	229	9
19:30 - 19:45	148	8	65	2	213	10
19:45 - 20:00	139	3	81	8	220	11

Quadro 4.4 - Dados relativos ao dia 1 de junho para o troço 2

Sentido	Avintes - Lever		Lever - Avintes		Total	
	Período	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Pesados
8:00 - 8:15	31	0	55	3	86	3
8:15 - 8:30	49	1	60	5	109	6
8:30 - 8:45	48	1	53	3	101	4
8:45 - 9:00	53	3	45	2	98	5
9:00 - 9:15	39	1	46	1	85	2
9:15 - 9:30	49	0	52	0	101	0
9:30 - 9:45	47	1	40	2	87	3
9:45 - 10:00	30	0	45	3	75	3
10:00 - 10:15	31	0	43	0	74	0
10:15 - 10:30	45	0	38	1	83	1
10:30 - 10:45	43	0	37	0	80	0
10:45 - 11:00	31	1	34	2	65	3
11:00 - 11:15	37	2	30	1	67	3
11:15 - 11:30	23	0	43	1	66	1
11:30 - 11:45	48	0	26	2	74	2
11:45 - 12:00	43	1	33	2	76	3
12:00 - 12:15	33	0	39	2	72	2
12:15 - 12:30	36	0	31	1	67	1
12:30 - 12:45	35	0	27	3	62	3
12:45 - 13:00	36	0	31	2	67	2
13:00 - 13:15	39	0	26	0	65	0
13:15 - 13:30	42	1	28	1	70	2
13:30 - 13:45	40	1	28	3	68	4
13:45 - 14:00	38	2	41	1	79	3
14:00 - 14:15	31	0	38	2	69	2
14:15 - 14:30	48	1	39	0	87	1
14:30 - 14:45	54	1	37	1	91	2
14:45 - 15:00	40	3	37	1	77	4
15:00 - 15:15	41	1	50	2	91	3
15:15 - 15:30	50	0	53	0	103	0
15:30 - 15:45	47	1	61	4	108	5
15:45 - 16:00	48	0	33	0	81	0
16:00 - 16:15	28	1	39	2	67	3
16:15 - 16:30	44	1	45	3	89	4
16:30 - 16:45	40	1	45	3	85	4
16:45 - 17:00	53	3	45	4	98	7
17:00 - 17:15	65	1	51	0	116	1
17:15 - 17:30	66	3	37	1	103	4
17:30 - 17:45	77	1	72	1	149	2
17:45 - 18:00	78	2	55	2	133	4
18:00 - 18:15	93	0	63	2	156	2
18:15 - 18:30	81	3	61	2	142	5
18:30 - 18:45	76	1	42	1	118	2
18:45 - 19:00	76	1	44	1	120	2
19:00 - 19:15	67	0	46	0	113	0
19:15 - 19:30	64	0	49	0	113	0
19:30 - 19:45	67	2	46	1	113	3
19:45 - 20:00	58	1	29	3	87	4

4.7. RESULTADOS

Neste ponto serão apresentados os resultados relativos aos dados anteriormente apresentados para o período de contagem definido para os dois troços. Os resultados foram obtidos com base na metodologia descrita no capítulo 2 da presente dissertação, não havendo assim a necessidade de descrever no-

vamente a metodologia. Por este motivo apenas serão apresentados os valores das diferentes variáveis que interessam para a determinação do nível de serviço.

4.7.1. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

Primeiramente, teve-se de calcular a velocidade em regime livre para cada troço. Esta velocidade é intrínseca à estrada e reflete apenas as características da estrada e não o valor de velocidade limite desta, isto é, o condutor circula a uma velocidade que a estrada propicia sem sofrer perturbações. Para o cálculo da velocidade em regime livre utilizou-se a metodologia descrita no capítulo 2, que consiste basicamente na aplicação da expressão (12)

Teve-se ainda a atenção na determinação da velocidade média de tráfego, medida no local (S_{fm}), dado que o volume de tráfego nos dois troços era superior a 200 uvl/h, em escolher um período de uma hora com mais de 100 veículos livres por sentido. Por veículos livres entende-se todos os veículos com intervalos de passagem superiores a 3 segundos (headway).

Para o troço 1, apresentam-se no quadro 4.5 os dados necessários para o cálculo da velocidade em regime livre, juntamente com o valor desta.

Quadro 4.5 – FFS para troço 1

s _{fm}	v	P _t	E _t	F _h v	f _g	FFS
70	1036	0,036	1	1	1	82,95

Para o troço 2 são apresentados no quadro 4.6 os dados relativos à velocidade em regime livre:

Quadro 4.6 – FFS para troço 2

S _{fm}	v	P _t	E _t	F _h v	f _g	FFS
70	404	0,022	2	0,978	0,9	75,7

4.7.2 VOLUMES DE TRÁFEGO

No cálculo de nível de serviço é necessário a identificação do período mais carregado. Assim, através de um conjunto de quadros, calcularam-se os débitos correspondentes ao período de 15 minutos mais carregado de cada hora, já que a análise foi efetuada para períodos temporais de uma.

Assim, para o dia 31 de maio apresentam-se no quadro 4.7 os volumes de ponta para cada período de uma hora para o troço 1

Quadro 4.7 – Volumes relativos ao troço 1 para o dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever	Lever - Avintes		Avintes – Lever		Lever - Avintes	
Hora	V _d	V _d	V	V _{15d}	V _{15o}	V _{15d}	V _{15o}
08:00 - 09:00	412	624	1036	122	147	171	90
09:00 - 10:00	358	394	752	97	87	112	85
10:00 - 11:00	330	279	609	90	63	78	77
11:00 - 12:00	358	279	637	93	73	74	92
12:00 -13:00	340	262	602	109	66	73	75
13:00 - 14:00	354	270	624	106	72	72	106
14:00 - 15:00	335	324	659	89	83	88	83
15:00 - 16:00	371	283	654	102	62	76	89
16:00 - 17:00	460	285	745	135	67	75	106
17:00 - 18:00	618	360	978	167	97	102	129
18:00 - 19:00	657	364	1021	181	102	109	172
19:00 - 20:00	612	282	894	163	75	75	163

No quadro 4.8 apresentam-se os volumes de tráfego relativos ao troço 2 para o dia 31 de maio.

Quadro 4.8 – Volumes relativos ao troço 2 para o dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever	Lever - Avintes		Avintes - Lever		Lever - Avintes	
	V _d	V _d	V	V _{15d}	V _{15o}	V _{15d}	V _{15o}
08:00 - 09:00	195	222	417	54	52	63	42
09:00 - 10:00	142	165	307	47	40	50	38
10:00 - 11:00	155	133	288	46	25	40	35
11:00 - 12:00	150	140	290	42	35	38	36
12:00 -13:00	132	122	254	43	30	37	40
13:00 - 14:00	123	128	251	44	34	38	31
14:00 - 15:00	157	165	322	54	46	46	54
15:00 - 16:00	169	167	336	54	42	53	34
16:00 - 17:00	180	146	326	60	41	41	60
17:00 - 18:00	271	199	470	82	47	60	66
18:00 - 19:00	275	226	501	83	65	65	83
19:00 - 20:00	262	162	424	72	42	46	63

No próximo quadro 4.9 apresenta-se os volumes relativos ao troço 1 para o dia 1 de junho.

Quadro 4.9 – Volumes relativos ao troço 1 para o dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever	Lever - Avintes		Avintes - Lever	Lever - Avintes		
	V_d	V_d	V	V_{15d}	V_{15o}	V_{15d}	V_{15o}
08:00 - 09:00	398	597	995	109	147	154	101
09:00 - 10:00	374	408	782	102	99	116	85
10:00 - 11:00	332	295	627	86	70	85	81
11:00 - 12:00	344	255	599	100	70	70	100
12:00 - 13:00	412	303	715	110	74	87	99
13:00 - 14:00	347	330	677	100	74	95	82
14:00 - 15:00	346	295	641	101	65	92	81
15:00 - 16:00	382	327	709	106	81	88	85
16:00 - 17:00	481	351	832	141	102	102	141
17:00 - 18:00	638	385	1023	166	104	104	166
18:00 - 19:00	674	397	1071	182	84	124	161
19:00 - 20:00	596	312	908	156	82	89	142

No quadro 4.10 apresentam-se os volumes de tráfego relativos ao troço 2 para o dia 1 de junho.

Quadro 4.10 – Volumes relativos ao troço 2 para o dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever	Lever - Avintes		Avintes - Lever	Lever - Avintes		
	V_d	V_d	V	V_{15d}	V_{15o}	V_{15d}	V_{15o}
08:00 - 09:00	186	226	412	56	47	65	50
09:00 - 10:00	167	189	356	49	52	48	42
10:00 - 11:00	151	155	306	45	39	43	31
11:00 - 12:00	154	138	292	48	28	44	23
12:00 - 13:00	140	136	276	36	33	41	33
13:00 - 14:00	163	128	291	43	29	42	40
14:00 - 15:00	178	155	333	55	38	40	31
15:00 - 16:00	188	203	391	50	53	65	48
16:00 - 17:00	171	186	357	56	49	49	56
17:00 - 18:00	293	219	512	80	57	73	78
18:00 - 19:00	331	216	547	93	65	65	93
19:00 - 20:00	259	174	433	69	47	49	64

Nos quadros anteriormente referidos a simbologia apresentada tem o seguinte significado:

- V_d – Volume no sentido em análise (veic/h);
- V – Volume no conjunto das duas vias (veic/h);
- V_{15d} – Volume para o período de ponta de 15 minutos no sentido em análise;
- V_{15o} – Volume para o período de ponta de 15 minutos no sentido oposto.

4.7.3 VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

A velocidade média de percurso ATS é um dos indicadores de nível de serviço para estradas de duas vias de classe I. Como tal foram efetuados cálculos para a sua determinação, para os dois troços, durante os dois dias e os resultados serão mostrados neste subcapítulo.

Neste ponto serão mostrados os resultados relativos à velocidade média de percurso para o dia 31 de maio. Começa-se por apresentar o quadro 4.11, onde estão representados os valores da velocidade média de percurso ao longo do dia, assim como os valores das restantes variáveis necessários para o cálculo da mesma.

Quadro 4.11 – Velocidade média de percurso para o troço 1 relativa ao dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever							Lever – Avintes						
	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS
08:00 - 09:00	1	0,99	1	1,3	500	602	68,5	1,2	0,998	1	1,1	686	361	68,72
09:00 - 10:00	1,2	0,99	1	1,3	394	353	72,5	1,1	0,992	1	1,3	452	343	71,97
10:00 - 11:00	1,3	0,989	1	1,3	364	255	73,9	1,2	0,999	1	1,4	315	311	73,97
11:00 - 12:00	1,2	0,984	1	1,3	378	297	73,4	1,2	0,96	1	1,4	308	383	73,15
12:00 - 13:00	1,2	0,988	1	1,3	441	267	73	1,2	0,983	1	1,4	297	305	74,3
13:00 - 14:00	1,2	0,99	1	1,3	428	291	72,8	1,1	0,989	1	1,4	291	429	73,0
14:00 - 15:00	1,2	0,992	1	1,3	359	335	73,13	1,2	0,986	1	1,3	357	337	73,1
15:00 - 16:00	1,3	0,997	1	1,3	409	249	73,48	1,2	0,943	1	1,4	322	377	73,1
16:00 - 17:00	1,2	0,994	1	1,2	543	270	71,68	1,1	0,972	1	1,4	309	436	73
17:00 - 18:00	1,2	0,995	1	1,1	671	390	68,53	0,9	0,991	1	1,3	412	521	70,5
18:00 - 19:00	0,7	0,998	1	1,1	726	409	68,22	0,6	0,994	1	1,3	438	692	68,3
19:00 - 20:00	1,2	0,998	1	1,1	654	301	69,87	0,6	0,978	1	1,4	307	667	70,23

No Quadro 4.12 estão expressos os dados relativos ao troço 2 para a velocidade média de percurso:

Quadro 4.12 - Velocidade média de percurso para o troço 2 relativa ao dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever							Lever - Avintes						
	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS
08:00 - 09:00	3,5	0,976	0,76	2,3	291	280	65,1	3,9	0,946	0,79	2,2	337	225	64,8
09:00 - 10:00	3,9	1	0,74	2,3	254	216	65,9	4,0	0,975	0,75	2,3	274	208	65,7
10:00 - 11:00	3,1	1	0,74	2,4	249	135	67,8	4,0	0,930	0,72	2,5	239	209	66,1
11:00 - 12:00	3,9	1	0,72	2,4	233	194	66,5	3,9	0,962	0,71	2,5	222	211	66,4
12:00 - 13:00	3,5	1	0,73	2,4	236	164	67,2	3,7	0,925	0,71	2,5	225	244	66,1
13:00 - 14:00	3,8	1	0,73	2,4	241	186	66,6	3,8	0,962	0,71	2,5	222	181	66,9
14:00 - 15:00	3,7	0,976	0,76	2,3	291	248	65,3	3,3	0,917	0,74	2,1	271	318	65,0
15:00 - 16:00	3,9	1	0,76	2,3	284	221	65,5	4,0	0,872	0,76	2,3	320	205	65,1
16:00 - 17:00	3,9	0,962	0,78	2,2	320	216	65,1	2,9	0,907	0,72	2,4	251	367	65,1
17:00 - 18:00	3,9	0,974	0,85	2,1	396	227	64,0	3,1	0,980	0,78	2,2	314	345	64,4
18:00 - 19:00	3,2	0,962	0,85	2,1	406	318	65,0	2,5	0,931	0,80	2,2	349	446	63,3
19:00 - 20:00	3,9	0,985	0,82	2,1	357	208	64,7	3,0	0,970	0,74	2,4	256	351	65,1

No quadro 4.13 estão representados os valores da velocidade média de percurso para o troço 1.

Quadro 4.13 - Velocidade média de percurso para o troço 1 relativa ao dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever							Lever - Avintes						
	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS
08:00 - 09:00	0,7	0,989	1	1,3	441	595	69,4	1,1	0,996	1	1,1	619	406	69,1
09:00 - 10:00	1,1	0,978	1	1,3	417	405	71,6	1,2	0,997	1	1,2	466	341	71,7
10:00 - 11:00	1,2	0,99	1	1,4	347	283	73,9	1,2	0,982	1	1,4	346	330	73,3
11:00 - 12:00	1,2	0,978	1	1,3	409	286	73,1	1,1	0,967	1	1,4	290	414	73
12:00 - 13:00	1,2	0,98	1	1,3	449	302	72,4	1,1	0,969	1	1,4	359	409	72,3
13:00 - 14:00	1,2	0,98	1	1,3	408	302	72,9	1,2	0,984	1	1,3	386	333	72,8
14:00 - 15:00	1,2	0,985	1	1,3	410	264	73,4	1,2	0,984	1	1,3	374	329	73
15:00 - 16:00	1,2	0,991	1	1,3	428	327	72,4	1,2	0,983	1	1,3	358	346	73
16:00 - 17:00	1,1	0,999	1	1,2	565	409	69,7	0,7	0,969	1	1,3	421	582	69,8
17:00 - 18:00	1,1	0,996	1	1,1	667	418	68,3	0,6	0,983	1	1,3	423	676	68,7
18:00 - 19:00	1,2	0,998	1	1,1	730	337	68,5	0,6	0,994	1	1,2	499	648	68,1
19:00 - 20:00	1,2	0,997	1	1,1	626	329	69,9	0,8	0,974	1	1,3	366	583	70,3

No quadro 4.14 estão representados os valores da velocidade média de percurso relativos ao troço 2.

Quadro 4.14 - Velocidade média de percurso para o troço 2 relativa ao dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever							Lever - Avintes						
	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS	fnp	f _{hv}	f _g	E _T	v _d	v ₀	ATS
08:00 - 09:00	3,6	0,936	0,77	2,3	311	261	64,9	3,6	0,915	0,8	2,2	355	273	64,2
09:00 - 10:00	3,5	1	0,75	2,3	261	277	65,4	3,8	0,941	0,74	2,3	276	241	65,4
10:00 - 11:00	3,9	1	0,73	2,4	247	214	66	3,6	1	0,73	2,4	236	170	67
11:00 - 12:00	3,5	1	0,74	2,4	282	165	66,6	3	0,969	0,73	2,4	249	130	67,9
12:00 - 13:00	3,8	1	0,71	2,5	203	186	67	4	0,936	0,72	2,4	243	196	66,2
13:00 - 14:00	3,5	0,969	0,73	2,4	243	164	67,1	3,8	0,967	0,72	2,4	241	230	66
14:00 - 15:00	4	0,977	0,77	2,3	292	202	65,5	3,8	0,93	0,72	2,5	239	185	66,6
15:00 - 16:00	3,5	1	0,75	2,3	267	283	65,3	3,7	0,931	0,8	2,2	349	258	64,4
16:00 - 17:00	3,6	0,934	0,77	2,3	311	276	64,8	3,2	0,904	0,75	2,3	289	331	64,8
17:00 - 18:00	3,3	0,971	0,77	2,2	428	305	63,2	2,8	0,984	0,8	2,1	362	386	63,6
18:00 - 19:00	3,4	1	0,88	2	423	295	63,3	2,4	0,964	0,8	2,2	337	482	63,1
19:00 - 20:00	3,8	0,969	0,81	2,1	352	240	64,5	3,1	1	0,75	2,3	261	341	65,1

Nestes quadros, a simbologia presente tem o seguinte significado:

- fnp - Fator de ajustamento (fnp) devido às zonas de não ultrapassagem;
- f_{hv} - Fator de ajustamento relativo aos veículos pesados;
- f_g - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive;
- E_T - Fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros;
- v_d - Débito para o sentido em análise (uvl/h);

- v_o – Débito para o sentido oposto (uvl/h)
- ATS – Velocidade média de percurso (km/h)

4.7.4. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O tempo de percurso com atraso PTSF é o outro indicador de nível de serviço para estradas de duas vias, isto é, este indicador juntamente com a velocidade média de percurso determinarão qual o nível de serviço para uma estrada de duas vias de classe I.

Neste ponto serão mostrados os valores do tempo de percurso com atraso ao longo do tempo, para os dois troços por intermédio de alguns quadros.

Relativamente ao dia 31 de maio irão ser apresentados no quadro 4.15, os dados e valores do tempo de percurso com atraso relativos ao troço 1 para o sentido Avintes-Lever.

Quadro 4.15 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Avintes – Lever no dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	fnp	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1	1	488	588	1	60/40	12,8	-0,0032	0,87	50,36	56,1
09:00 - 10:00	1,1	0,99	390	350	1	50/50	15,8	-0,0022	0,926	42,4	50,7
10:00 - 11:00	1,1	0,996	361	253	1	50/50	15,8	-0,0016	0,96	36,7	46
11:00 - 12:00	1,1	0,995	374	294	1	60/40	14,4	-0,0018	0,95	39,38	47,4
12:00 -13:00	1,1	0,996	438	265	1	60/40	14,2	-0,0017	0,957	43,61	52,4
13:00 - 14:00	1,1	0,997	425	289	1	60/40	14,1	-0,0018	0,951	43,4	51,8
14:00 - 15:00	1,1	0,997	357	333	1	50/50	15,8	-0,0019	0,94	37,92	46,1
15:00 - 16:00	1,1	0,999	408	248	1	60/40	14,5	-0,0016	0,961	40,36	49,4
16:00 - 17:00	1	1	540	268	1	70/30	10,3	-0,0017	0,956	50,14	57
17:00 - 18:00	1	1	668	388	1	60/40	12,8	-0,0022	0,926	59,67	67,8
18:00 - 19:00	1	1	724	408	1	60/40	12,6	-0,0022	0,921	61,2	69,3
19:00 - 20:00	1	1	652	300	1	70/30	9,7	-0,0018	0,948	56,74	63,4

No quadro 4.16 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Lever – Avintes do troço 1 no dia 31 de maio.

Quadro 4.16 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Lever – Avintes no dia 31 de maio

Sentido	Lever - Avintes										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,0	1,0	684	360	1	70/30	9,4	-0,002	0,933	58,6	64,8
09:00 - 10:00	1,1	0,997	449	341	1	60/40	13,7	-0,002	0,938	45,9	53,7
10:00 - 11:00	1,1	0,997	313	309	1	50/50	15,8	-0,0018	0,946	33,8	41,8
11:00 - 12:00	1,1	0,99	299	372	1	60/40	14,4	-0,0018	0,948	32,9	39,4
12:00 - 13:00	1,1	0,996	293	301	1	50/50	15,8	-0,0018	0,948	32,5	40,3
13:00 - 14:00	1,1	0,997	289	425	1	60/40	14,1	-0,0023	0,916	33,8	39,5
14:00 - 15:00	1,1	0,995	354	334	1	50/50	15,8	-0,0019	0,940	37,6	45,8
15:00 - 16:00	1,1	0,985	309	361	1	50/50	15,8	-0,002	0,933	34,3	41,6
16:00 - 17:00	1,1	0,993	302	427	1	60/40	14,0	-0,0023	0,916	34,9	40,8
17:00 - 18:00	1,1	0,997	409	518	1	60/40	13,2	-0,0029	0,892	46,2	52,0
18:00 - 19:00	1,1	0,998	437	689	1	60/40	12,6	-0,0038	0,854	49,5	54,4
19:00 - 20:00	1,1	0,994	302	656	1	70/30	9,7	-0,0036	0,860	38,6	41,7

No quadro 4.17 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Avintes – Lever do troço 2 no dia 31 de maio.

Quadro 4.17 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Avintes – Lever no dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,8	0,985	271	261	0,81	50/50	59,9	-0,0016	0,958	29,9	59,5
09:00 - 10:00	1,8	1	238	203	0,79	50/50	63,9	-0,0014	0,972	24,9	59,4
10:00 - 11:00	1,8	1	233	127	0,79	60/40	55,7	-0,0014	0,973	24,5	60,6
11:00 - 12:00	1,8	1	215	179	0,78	50/50	65,5	-0,0014	0,973	22,9	58,7
12:00 - 13:00	1,8	1	221	154	0,78	60/40	55,9	-0,0014	0,973	23,4	56,3
13:00 - 14:00	1,8	1	226	174	0,78	60/40	55,6	-0,0014	0,973	23,9	55,6
14:00 - 15:00	1,8	0,985	271	231	0,81	50/50	61,6	-0,0015	0,965	28,4	61,6
15:00 - 16:00	1,8	1	267	207	0,81	60/40	55,7	-0,0014	0,971	27,2	56,5
16:00 - 17:00	1,8	0,974	300	205	0,82	60/40	55,4	-0,0014	0,972	30,1	63,0
17:00 - 18:00	1,7	0,983	388	222	0,86	60/40	53,9	-0,0015	0,983	38,2	72,4
18:00 - 19:00	1,7	0,975	391	306	0,87	60/40	48,1	-0,0018	0,947	40,1	67,1
19:00 - 20:00	1,7	0,99	346	202	0,84	60/40	55,0	-0,0014	0,973	33,9	68,6

No quadro 4.18 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Lever – Avintes do troço 2 no dia 31 de maio.

Quadro 4.18 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Lever – Avintes no dia 31 de maio

Sentido	Lever - Avintes										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,7	0,967	314	209	0,83	60/40	55,3	-0,0014	0,971	31,1	64,2
09:00 - 10:00	1,8	0,984	254	193	0,8	60/40	55,9	-0,0014	0,973	26,4	58,1
10:00 - 11:00	1,8	0,961	216	189	0,77	50/50	65,6	-0,0014	0,973	23	58
11:00 - 12:00	1,8	0,98	202	191	0,77	50/50	65,3	-0,0014	0,973	21,7	55,2
12:00 - 13:00	1,9	0,954	204	221	0,76	50/50	64,7	-0,0015	0,968	22,8	53,9
13:00 - 14:00	1,8	0,98	202	164	0,77	60/40	55,8	-0,0014	0,973	21,7	52,4
14:00 - 15:00	1,8	0,951	245	288	0,79	50/50	59,8	-0,0018	0,951	28,6	56,1
15:00 - 16:00	1,8	0,917	285	183	0,81	60/40	55,7	-0,0014	0,973	29	63
16:00 - 17:00	1,8	0,945	225	330	0,77	60/40	55	-0,0019	0,941	26,7	49,1
17:00 - 18:00	1,8	0,987	297	326	0,82	50/50	55,6	-0,0019	0,942	33,3	59,8
18:00 - 19:00	1,7	0,958	327	417	0,83	60/40	45	-0,0023	0,958	37,4	57,1
19:00 - 20:00	1,8	0,983	237	325	0,79	60/40	54,9	-0,0019	0,942	54,9	51,1

No quadro 4.19 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Avintes – Lever do troço 1 no dia 1 de junho.

Quadro 4.19 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Avintes – Lever no dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,1	0,996	438	590	1	60/40	12,9	-0,0032	0,873	47,6	53,1
09:00 - 10:00	1,1	0,993	411	399	1	50/50	15,8	-0,0022	0,923	43,4	51,4
10:00 - 11:00	1,1	0,998	345	281	1	60/40	14,7	-0,0017	0,953	35,9	44,0
11:00 - 12:00	1,1	0,993	403	282	1	60/40	14,3	-0,0017	0,953	40,4	48,8
12:00 - 13:00	1,1	0,993	443	298	1	60/40	14,0	-0,0018	0,949	44,3	52,6
13:00 - 14:00	1,1	0,994	403	298	1	60/40	14,2	-0,0018	0,949	41,3	49,5
14:00 - 15:00	1,1	0,995	406	261	1	60/40	14,4	-0,0016	0,958	39,6	48,4
15:00 - 16:00	1,1	0,997	425	325	1	60/40	13,9	-0,0019	0,942	43,4	51,3
16:00 - 17:00	1,0	1,0	564	408	1	60/40	13,1	-0,0022	0,921	52,9	60,5
17:00 - 18:00	1,0	1,0	664	416	1	60/40	12,8	-0,0023	0,919	59,4	67,3
18:00 - 19:00	1,0	1,0	728	336	1	70/30	9,3	-0,0019	0,939	60,4	66,7
19:00 - 20:00	1,0	1,0	624	328	1	70/30	9,7	-0,0019	0,941	55,6	61,9

No quadro 4.20 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Lever – Avintes do troço 1 no dia 1 de junho.

Quadro 4.20 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 1 para o sentido Lever – Avintes no dia 1 de junho

Sentido	Lever - Avintes										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1	1	616	404	1	60/40	12,9	-0,0022	0,922	56	63,8
09:00 - 10:00	1	1	464	340	1	60/40	13,6	-0,002	0,938	46,96	54,8
10:00 - 11:00	1,1	0,995	342	326	1	50/50	15,8	-0,0019	0,942	37	45,1
11:00 - 12:00	1,1	0,991	282	403	1	60/40	14,3	-0,0022	0,922	32,97	38,9
12:00 - 13:00	1,1	0,992	351	399	1	50/50	15,8	-0,0022	0,923	38,83	46,2
13:00 - 14:00	1,1	0,995	382	330	1	50/50	15,8	-0,0019	0,941	40	48,5
14:00 - 15:00	1,1	0,995	370	326	1	50/50	15,8	-0,0019	0,942	39,28	47,7
15:00 - 16:00	1,1	0,994	354	342	1	50/50	15,8	-0,002	0,938	38,86	46,9
16:00 - 17:00	1,1	0,989	412	570	1	60/40	13,1	-0,0031	0,878	45,84	51,3
17:00 - 18:00	1,1	0,994	423	676	1	60/40	12,7	-0,0037	0,857	47,95	52,8
18:00 - 19:00	1	1	496	644	1	60/40	12,6	-0,0036	0,862	53,15	58,6
19:00 - 20:00	1,1	0,991	359	573	1	60/40	13,2	-0,0032	0,877	42,73	47,8

No quadro 4.21 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Avintes – Lever do troço 2 no dia 1 de junho.

Quadro 4.21 – Tempo de percurso com atraso relativo ao troço 2 para o sentido Avintes – Lever no dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever										
	ET	f _h v	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,8	0,959	288	242	0,81	50/50	59,9	-0,0016	0,963	31,2	63,8
09:00 - 10:00	1,8	1,0	245	260	0,80	50/50	61,1	-0,0016	0,958	26,7	56,4
10:00 - 11:00	1,8	1,0	228	197	0,79	50/50	64,7	-0,0014	0,973	24,1	58,7
11:00 - 12:00	1,8	1,0	243	142	0,79	60/40	56,1	-0,0014	0,973	25,4	60,9
12:00 - 13:00	1,9	1,0	189	174	0,76	50/50	63,4	-0,0014	0,973	20,6	53,6
13:00 - 14:00	1,8	0,982	225	151	0,78	60/40	56,0	-0,0014	0,973	23,8	57,2
14:00 - 15:00	1,8	0,986	276	190	0,81	60/40	55,7	-0,0014	0,973	28,2	61,2
15:00 - 16:00	1,8	1,0	250	265	0,80	50/50	60,6	-0,0017	0,957	28,5	57,9
16:00 - 17:00	1,8	0,959	288	252	0,81	50/50	59,5	-0,0016	0,960	30,8	62,5
17:00 - 18:00	1,7	0,983	379	270	0,86	60/40	51,4	-0,0017	0,956	39,1	69,1
18:00 - 19:00	1,6	1,0	418	292	0,89	60/40	47,3	-0,0018	0,950	42,7	70,5
19:00 - 20:00	1,7	0,980	335	228	0,84	60/40	54,9	-0,0015	0,980	54,9	66,5

No quadro 4.22 estão representados os valores do tempo de percurso com atraso relativos ao sentido Lever – Avintes do troço 2 no dia 1 de junho.

Quadro 4.22 – Tempo de percurso com atraso relativo ao trecho 2 para o sentido Lever – Avintes no dia 1 de junho

Sentido	Lever - Avintes										
	ET	f _{hv}	v _d	v _o	f _g	Distribuição	f _{np}	a	b	BPTSF	PTSF
08:00 - 09:00	1,7	0,949	330	254	0,83	60/40	54,7	-0,0016	0,959	34,1	65,0
09:00 - 10:00	1,8	0,963	252	221	0,79	50/50	62,5	-0,0015	0,968	27,2	60,5
10:00 - 11:00	1,8	1,0	221	159	0,78	60/40	56,0	-0,0014	0,973	23,4	56,0
11:00 - 12:00	1,8	0,982	230	120	0,78	70/30	48,9	-0,0014	0,973	24,3	56,4
12:00 - 13:00	1,8	0,962	221	178	0,77	60/40	56,3	-0,0014	0,973	23,5	54,7
13:00 - 14:00	1,8	0,981	220	209	0,78	50/50	64,5	-0,0014	0,971	23,1	56,2
14:00 - 15:00	1,8	0,961	216	167	0,77	60/40	56,1	-0,0014	0,973	23,0	54,6
15:00 - 16:00	1,8	0,952	329	243	0,83	60/40	54,8	-0,0016	0,962	34,4	65,9
16:00 - 17:00	1,8	0,938	261	298	0,80	50/50	58,6	-0,0018	0,949	29,8	58,6
17:00 - 18:00	1,7	0,99	347	371	0,85	50/50	50,8	-0,0021	0,930	38,3	62,9
18:00 - 19:00	1,7	0,979	320	458	0,83	60/40	42,8	-0,0025	0,908	37,5	55,1
19:00 - 20:00	1,8	1,0	245	320	0,80	60/40	54,9	-0,0019	0,943	28,8	52,6

Nos quadros apresentados os símbolos aí constantes têm o seguinte significado:

- f_{np} - Fator de ajustamento (fnp) devido às zonas de não ultrapassagem;
- f_{hv} - Fator de ajustamento relativo aos veículos pesados;
- f_g - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno ou declive;
- E_T - Fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros;
- v_d – Débito para o sentido em análise (uvl/h);
- v_o – Débito para o sentido oposto (uvl/h)
- BPTSF – Tempo de percurso com atraso base
- PTSF – Tempo de percurso com atraso
- a e b - Coeficientes a e b utilizados na estimativa do tempo de percurso com atraso base

4.7.5. NÍVEL DE SERVIÇO

Como já foi referido o nível de serviço é um parâmetro que procura avaliar a qualidade do serviço que a estrada oferece aos seus utilizadores. Neste subcapítulo serão apresentados os resultados ao longo de cada dia, dos níveis de serviço para os dois trechos em estudo.

Apresentam-se assim no quadro 4.23 os resultados dos níveis de serviço para o trecho 1.

Quadro 4.23 – Nível de serviço relativo ao troço 1 para o dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever			Lever - Avintes		
	ATS	PTSF	NS	ATS	PTSF	NS
08:00 - 09:00	68,5	56,1	D	68,72	64,8	D
09:00 - 10:00	72,5	50,7	C	71,97	53,7	C
10:00 - 11:00	73,9	46	C	73,97	41,77	C
11:00 - 12:00	73,4	47,4	C	73,15	39,4	C
12:00 - 13:00	73	52,4	C	74,27	40,28	C
13:00 - 14:00	72,8	51,8	C	73	39,5	C
14:00 - 15:00	73,13	46,1	C	73,1	45,8	C
15:00 - 16:00	73,48	49,4	C	73,1	41,6	C
16:00 - 17:00	71,68	57	C	73	40,8	C
17:00 - 18:00	68,53	67,8	D	70,5	52,02	C
18:00 - 19:00	68,22	69,3	D	68,3	54,4	D
19:00 - 20:00	69,87	63,4	D	70,23	41,7	C

No quadro 4.24 serão mostrados os resultados do nível de serviço para o troço 2.

Quadro 4.24 – Nível de serviço relativo ao troço 2 para o dia 31 de maio

Sentido	Avintes - Lever			Lever - Avintes		
	ATS	PTSF	NS	ATS	PTSF	NS
08:00 - 09:00	65,1	59,5	D	64,8	64,2	D
09:00 - 10:00	65,9	59,4	D	65,7	58,1	D
10:00 - 11:00	67,8	60,6	D	66,1	58,0	D
11:00 - 12:00	66,5	58,7	D	66,4	55,2	D
12:00 - 13:00	67,2	56,3	D	66,1	53,9	D
13:00 - 14:00	66,6	55,6	D	66,9	52,4	D
14:00 - 15:00	65,3	61,6	D	65,0	56,1	D
15:00 - 16:00	65,5	56,5	D	65,1	63,0	D
16:00 - 17:00	65,1	63,0	D	65,1	49,1	D
17:00 - 18:00	64,0	72,4	D	64,4	59,8	D
18:00 - 19:00	65,0	67,1	D	63,3	57,1	D
19:00 - 20:00	64,7	68,6	D	65,1	51,1	D

No próximo quadro 4.25 serão mostrados os níveis de serviço para o troço 1, relativos a dia 1 de junho.

Quadro 4.25 – Nível de serviço relativo ao troço 1 para o dia 1 de junho

Sentido	Avintes - Lever			Lever - Avintes		
	ATS	PTSF	NS	ATS	PTSF	NS
08:00 - 09:00	69,4	53,1	D	69,1	63,8	D
09:00 - 10:00	71,6	51,4	C	71,7	54,8	C
10:00 - 11:00	73,9	44,0	C	73,3	45,1	C
11:00 - 12:00	73,1	48,8	C	73,0	38,9	C
12:00 - 13:00	72,4	52,6	C	72,3	46,2	C
13:00 - 14:00	72,9	49,5	C	72,8	48,5	C
14:00 - 15:00	73,4	48,4	C	73,0	47,7	C
15:00 - 16:00	72,4	51,3	C	73,0	46,9	C
16:00 - 17:00	69,7	60,5	D	69,8	51,3	D
17:00 - 18:00	68,3	67,3	D	68,7	52,8	D
18:00 - 19:00	68,5	66,7	D	68,1	58,6	D
19:00 - 20:00	69,9	61,9	D	70,3	47,8	D

No quadro 4.26 serão mostrados os resultados do nível de serviço para o troço 2.

Quadro 4.26 – Nível de serviço relativo ao troço 2 para o dia 1 de junho

Sentido	Avintes-Lever			Lever-Avintes		
	ATS	PTSF	NS	ATS	PTSF	NS
08:00 - 09:00	64,9	63,8	D	64,2	65,0	D
09:00 - 10:00	65,4	56,4	D	65,4	60,5	D
10:00 - 11:00	66,0	58,7	D	67,0	56,0	D
11:00 - 12:00	66,6	60,9	D	67,9	56,4	D
12:00 - 13:00	67,0	53,6	D	66,2	54,7	D
13:00 - 14:00	67,1	57,2	D	66,0	56,2	D
14:00 - 15:00	65,5	61,2	D	66,6	54,6	D
15:00 - 16:00	65,3	57,9	D	64,4	65,9	D
16:00 - 17:00	64,8	62,5	D	64,8	58,6	D
17:00 - 18:00	63,2	69,1	D	63,6	62,9	D
18:00 - 19:00	63,3	70,5	D	63,1	55,1	D
19:00 - 20:00	64,5	66,5	D	65,1	52,6	D

4.8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste ponto será feita uma análise aos resultados obtidos para os dois troços em que se realizou a recolha de dados nos dias especificados.

4.8.1. VOLUMES DE TRÁFEGO

Para uma melhor compreensão da evolução do tráfego ao longo do dia em cada um dos troços, representa-se em gráficos para o efeito elaborados a evolução do tráfego em cada troço, para cada um dos dias.

Para o dia 31 de maio serão apresentadas duas figuras com os volumes de tráfego de cada troço. As figuras 4.6 e 4.7 expressam os volumes de tráfego durante o período das medições para o troço 1 e 2 respectivamente.

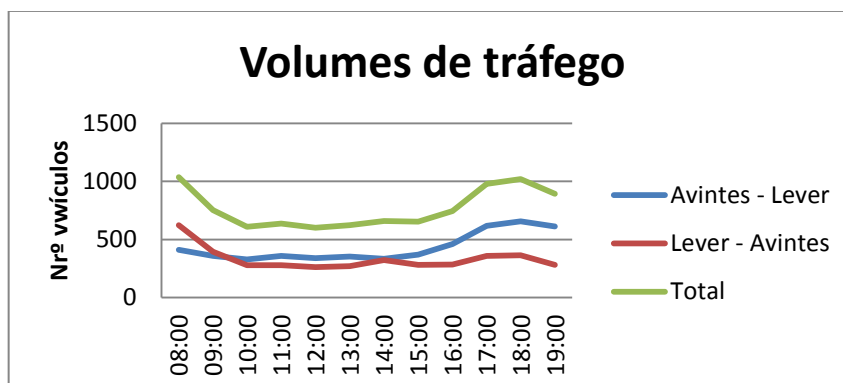


Figura 4.6 – Volumes de tráfego para o troço 1 relativos a dia 31 de maio

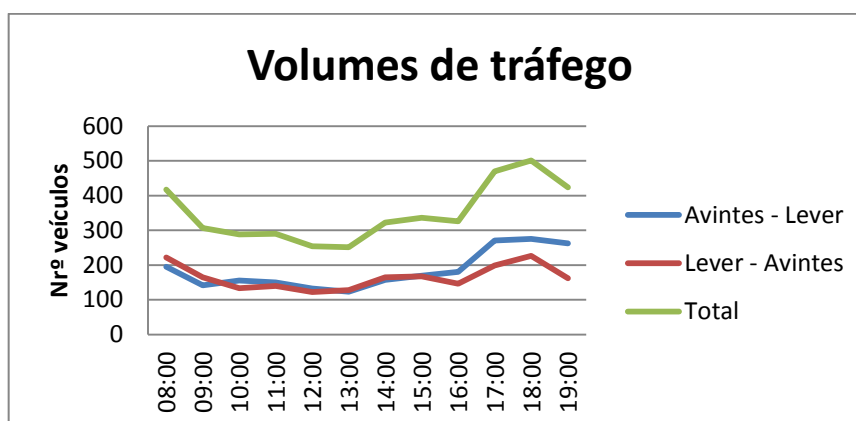


Figura 4.7 – Volumes de tráfego para o troço 2 relativos a dia 31 de maio

Os volumes de tráfego relativos ao dia 1 de junho serão expressos pela figura 4.8 para o troço 1 e pela figura 4.9 para o troço 2.

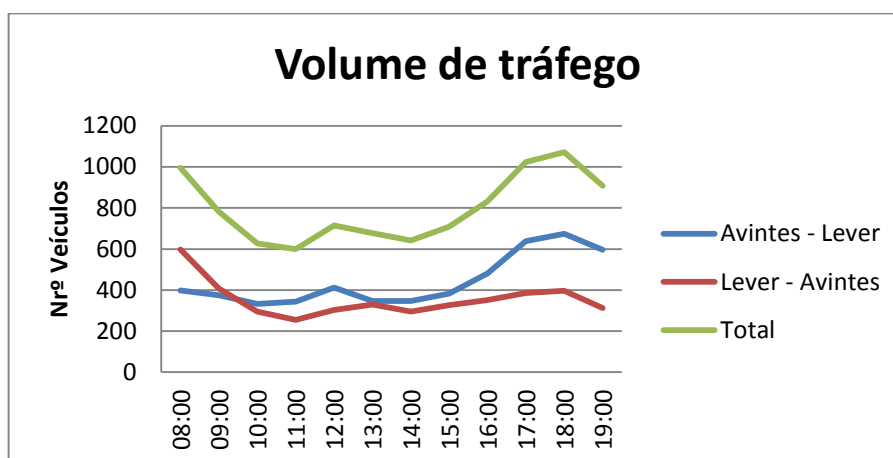


Figura 4.8 – Volumes de tráfego para o troço 1 relativos a dia 1 de junho

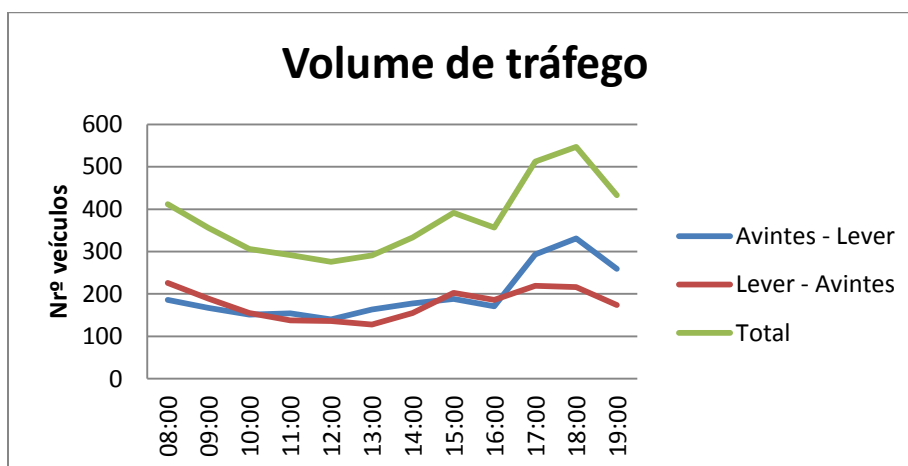


Figura 4.9 – Volumes de tráfego para o troço 2 relativos a dia 1 de junho

Como se pode verificar, de uma forma geral, os períodos onde há maior intensidade de tráfego é durante o início da manhã entre as oito e dez horas, e durante a final da tarde, sendo o pico normalmente entre as 17 e as 18 horas.

Ao proceder-se a uma análise do volume de tráfego por sentido, observa-se que o sentido Avintes - Lever tem maior volume de tráfego durante o período de ponta da tarde do que durante o período de ponta da manhã, enquanto no sentido inverso acontece exatamente o contrário. Esta situação deve-se ao facto do sentido Lever Avintes servir para a população que vive na periferia de Vila Nova de Gaia, e portanto em meio mais rural, ir para os seus empregos que se situam em zonas mais urbanas como o centro de Vila Nova de Gaia e Porto. Na parte da tarde acontece o inverso, ou seja, a população sai dos locais dos seus empregos e regressa a casa, daí o sentido Avintes Lever ter de uma maneira geral maior volume de tráfego à tarde do que de manhã.

Observa-se ainda que o troço 1 tem um volume de tráfego consideravelmente superior ao volume de tráfego do troço 2. A explicação para esta situação está no facto de este troço estar mais afastado do meio urbano.

4.8.2. VELOCIDADE EM REGIME LIVRE

Como já foi referido, a velocidade em regime livre reflete a velocidade intrínseca a cada estrada, sendo a velocidade a que os condutores circulam quando não estão restringidos por outros veículos. Assim, os resultados relativos à velocidade em regime livre parecem ser adequados, pois refletem as características da estrada. O troço 1 como é plano tem uma velocidade em regime livre maior do que o troço 2 que é ondulado e ambos têm uma velocidade em regime livre superior à velocidade limite da estrada, que é de 70 km/h, refletindo assim a tendência dos condutores de circularem a velocidades ligeiramente superiores à velocidade limite legal estabelecida.

É de referir que o HCM 2010 possui uma falha no cálculo da velocidade em regime livre. Essa falha consiste no facto de, na expressão (12), o débito ser nos dois sentidos e análise da velocidade ser portanto relativa aos dois sentidos, mas no entanto, o fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros, necessário para o cálculo do fator de ajustamento relativo aos veículos pesados f_{hv} , apenas considera o débito de apenas uma das vias.

4.8.3. VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO

A velocidade média de percurso é um dos indicadores para a determinação do nível de serviço em estradas de duas vias de classe I e como tal assume um papel bastante importante na determinação do nível de serviço. É de referir que os resultados da velocidade média de percurso referentes aos dois troços em estudo da estrada nacional 222, não diferem muito da velocidade limite da estrada, sendo a diferença máxima, inferior a 10 km/h.

Apesar do conceito anteriormente referido da velocidade em regime livre, a velocidade limite condiciona em certa forma a velocidade em regime livre, estando esta dependente da velocidade média de tráfego media no local que por sua vez está condicionada pela velocidade limite, pois os condutores receiam as coimas a que estão sujeitos caso a sua velocidade exceda em demasia a velocidade limite.

A velocidade limite é assim na maioria dos casos relativos aos dois troços em estudo o parâmetro que condiciona o nível de serviço, pois, como se pode observar, há diversos casos em que pelo tempo de percurso com atraso, o nível de serviço daria um nível acima do determinado.

4.8.4. TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO

O tempo de percurso com atraso é juntamente com a velocidade média de percurso, um indicador para a determinação do nível de serviço. Observando os resultados pode-se constatar que este parâmetro como já foi referido no ponto anterior, não é o parâmetro condicionador do nível de serviço, pois dá algumas vezes um nível acima do nível de serviço determinado. Sendo a estrada de classe I que tem como principais funções a acessibilidade e mobilidade, conclui-se que esta, na maioria das vezes está condicionada pela velocidade média de percurso e não pelo seu atraso.

A expressão (18) presente no capítulo da presente dissertação permite determinar o nível de serviço:

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right) \quad (18)$$

Observando a expressão (18) pode-se verificar que a segunda parcela não é mais que o produto entre o fator de ajuste devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem pela percentagem de tráfego do sentido em análise.

Esta parcela pode levar a resultados não muito corretos, quando a distribuição das correntes de tráfego não são exatamente as que estão presentes no quadro 35, pois a título de exemplo se existir uma distribuição de tráfego de 56/64 e se adotar na tabela uma distribuição de 60/40, o fator de ajuste devido a zonas de não ultrapassagem retirado da tabela, que por sua vez deveria ser multiplicado por 0,6, na verdade será multiplicado por 0.56 ou 0,64.

Esta situação leva a que por algumas vezes, para débitos diferentes, mas de ordem de grandeza próximas, o débito maior não seja o condicionante, quando o deveria de ser.

Poderá acontecer ainda que no caso de a distribuição ser, por exemplo, 55/55 optar-se por uma distribuição de 60/40 ou de 50/50, contudo a situação de 50/50 será mais penalizadora pois possui comparativamente fatores de ajuste devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem maiores que a distribuição de 60/40.

4.8.5. NÍVEL DE SERVIÇO

O nível de serviço avalia a qualidade do serviço que a estrada proporciona aos seus utilizadores. Observando o nível de serviço referentes aos dois troços conclui-se que a estrada nacional 222 proporciona uma qualidade de serviço razoável aos seus utilizadores, apesar de nos períodos de ponta as condições de escoamento do tráfego se aproximarem da instabilidade. É de referir ainda que o nível de ser-

viço para o troço 2 é sempre igual enquanto que, para o troço 1 o nível de serviço é pior durante o período entre as 8 e as 9 horas e durante o período de final de tarde.

O troço 2 possui em geral níveis de serviço piores que o troço 1 apesar de os volumes de tráfego serem consideravelmente inferiores, esta situação poderá ser explicada essencialmente através de 2 factos, sendo que o primeiro consiste no facto do tipo de terreno ser diferente nos dois troços, pois o troço 1 desenvolve-se em terreno plano, e o troço 2 em terreno ondulado, o que faz com que no troço 1 seja possível praticar velocidades mais elevadas, e o segundo facto é devido à extensão de não ultrapassagem, em que o troço 2, não permite ultrapassagens, o que é bastante penalizador, pois os veículos mais rápidos, são obrigados a circular á velocidade dos mais lentos.

5

CONCLUSÃO

Ao longo desta dissertação foram descritas as metodologias de análise para estradas rurais de duas vias relativas ao HCM 2000 e ao HCM 2010, assim como foi efetuada uma comparação entre metodologias de análise e aplicada a metodologia apresentada no HCM 2010 a um caso real.

Estes processos tiveram como propósito verificar as principais diferenças entre os dois manuais, assim como verificar a adequabilidade e eventualmente as vantagens e fragilidades do novo HCM em relação ao seu antecessor.

A evolução do HCM 2000 para o HCM 2010 no que a estradas rurais de duas vias diz respeito incidiu sobretudo na atualização dos parâmetros e relações empregues na sua metodologia, ao contrário das anteriores evoluções que constantemente alteravam a estrutura do próprio manual. O facto do HCM 2010 ter mantido a estrutura do seu antecessor representa só por si uma grande vantagem, pois evita uma nova aprendizagem por partes dos profissionais que utilizam este manual.

A remoção da metodologia de análise bidirecional para estradas rurais de duas vias foi uma alteração bem ponderada, no sentido em que esta alteração permite soluções mais económicas e evita que a via mais carregada seja subdimensionada, sendo este facto suportado pelos dados do capítulo 4, no qual se pode observar que as correntes de tráfego não são iguais nos dois sentidos e portanto não seria muito correto tratar as duas vias em conjunto, como se as correntes de tráfego fossem iguais nos dois sentidos.

Outra alteração relativa aos dois manuais em estudo foi a adição de mais uma classe de estradas por parte do HCM 2010. Esta nova classe engloba apenas estradas cuja função está mais virada para o turismo, onde o mais importante será o facto de se poder apreciar a paisagem. A alteração constitui um ponto positivo, pois distingue este tipo de estradas em que a acessibilidade e a mobilidade não são propriamente as funções mais importantes, das outras duas classes de estradas rurais de duas vias, em que estes dois últimos fatores realmente interessam.

O facto de alguns parâmetros usados na metodologia de análise para a determinação do nível de serviço que dependiam do débito expresso em uvl/h terem passado a depender do débito expresso em veíc/h consiste também noutro ponto positivo em relação ao anterior, pois facilita o processo de cálculo, dado que em vez de se utilizar o débito homogeneizado passou-se a usar o débito real.

Quanto aos níveis de serviço, o HCM 2010 parece ser menos conservador que a edição anterior, pois apesar dos valores limitativos que definem os níveis de serviço serem iguais nos dois manuais, como se pode observar no exercício resolvido no capítulo 3, os valores da velocidade média de percurso e do tempo de percurso com atraso obtidos são mais favoráveis utilizando a metodologia do HCM 2010. Esta medida merecia um estudo mais aprofundado a ponto de perceber se é adequada ao panorama

nacional, mas no entanto será possível esboçar uma opinião definitiva relativa a esta situação, que consiste no facto do manual ser elaborado para o sistema norte-americano, que por sua vez possui intensidades de tráfego na sua generalidade bastante superiores ao nosso sistema, razão pela qual existe uma necessidade de uma metodologia mais rigorosa e mais conservadora. Assim, o facto de o HCM 2010 não ser tão conservador nesse ponto, poderá ter tornado a metodologia mais adequada ao nosso sistema rodoviário, apesar dos valores limitativos para o nível de serviço terem sido mantidos, como já foi referido.

Foram detetados alguns aspetos que não estarão muito corretos, como a expressão da velocidade em regime livre considerar o débito no conjunto das duas vias, mas no fator de equivalência de camiões em veículo ligeiros, apenas considerar o débito para uma via.

Outro aspeto no HCM 2010 que poderá eventualmente ser melhorado, será a distribuição a considerar para obtenção do fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem a usar no cálculo do tempo de percurso com atraso, quando esta corresponde a valores intermédios aos definidos pela respetiva tabela. A solução poderá passar por adotar valores intermédios ou adotar os valores do fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem da distribuição mais próxima, ou ainda efetuar uma interpolação.

Relativamente à velocidade média de percurso, mais propriamente aos valores limitativos que definem o nível de serviço, parecem um pouco conservadores para o sistema rodoviário nacional, pois tanto o HCM 2010 como o HCM 2000 consideram que para uma determinada estrada possuir um nível de serviço A, terá de ter uma velocidade média de percurso superior a 90 km/h, o que para a realidade do sistema rodoviário nacional será um valor um pouco alto e difícil de atingir, dado que a maioria das estradas de duas vias, excetuando IPs e ICs, estão restringidas a velocidades consideravelmente inferiores aos 90 km/h, embora, em algumas as condições de circulação sejam boas e acabem por ser penalizadas por este valor.

Conclui-se então que apesar de haver algumas restrições na metodologia apresentada pelo HCM 2010, esta é, na verdade, uma boa solução para a análise de estradas rurais de duas vias. Contudo, no futuro os valores limitativos dos indicadores que determinam o nível de serviço deveriam ser verificados, para se confirmar se estes valores estão verdadeiramente adequados ao sistema rodoviário nacional.

BIBLIOGRAFIA

- [1] http://www.jn.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content_id=570179. 25-05-2012.
- [2] Kittelson, Wayne K. *Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service*. Junho de 2000. http://userfs.cec.wustl.edu/~ce560/HCM_History.pdf. 02-06-2012
- [3] Ruehr, Erik. *The 2010 highway capacity manual*. 28-11-2011.
<http://www.westernite.org/annualmeetings/alaska11/Compendium/Moderated%20Session%20Papers/2C-Erik%20Ruehr.pdf>. 20-06-2012.
- [4] *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, 2000.
- [5] *Sebenta de circulação e transportes*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [6] *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, 2010.
- [7] Oliveira, Carlos. Soltráfego. *Viacount II- sistema de contagem tráfego*. Dezembro de 2008.
- [8] Costa, Américo. H. P., Macedo, Joaquim M. G. Níveis de Serviço em Estradas e Auto-Estradas. Dezembro de 2008.
http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/ManualdeAcessibilidades/ManuaisC CDRNmiolo_AF/03NiveisServ_AF.pdf. 30-03-2012.
- [9] Benekohal, Ray. University of Illinois at Urbana – Champaign. *Highway Capacity Manual (HCM) 2010: What is new?*. 20-10-2011.
http://www.trafficconf.com/presentations/HCM_2010_What_Is_New-benekohal.pdf. 10-06-2012.
- [10] Castro, Artur. *Análise do Nível de Serviço em Estradas de Duas Vias*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto. 2008