

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO ESTACIONAMENTO NA CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA

DUARTE FILIPE DA SILVA DIAS

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

Orientador: Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

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 - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

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.

Aos meus

“Viver é a coisa mais rara do mundo. A maioria das pessoas apenas existe.”

Oscar Wilde

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram para a elaboração deste documento, agradeço por toda a disponibilidade demonstrada e pela atenção dispensada. Um agradecimento especial ao Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares, não só pelas orientações e esclarecimentos fornecidos, mas acima de tudo por toda a paciência e incentivo na realização desta dissertação.

A todos os que fizeram de alguma forma parte do meu percurso académico, amigos, professores e pessoal não docente, o meu muito obrigado por todas as vivências e ensinamentos.

À minha mãe, por todos os sacrifícios que permitiram que a realização deste curso fosse possível, e pelos princípios com que me educou. Nada disto seria possível sem ela. É um orgulho ser filho de alguém com as suas qualidades.

À minha madrinha pelos conselhos, apoio e presença em todos os momentos.

À minha avó, pela paciência e educação facultada.

Ao meu irmão, pela cumplicidade e constante partilha de ideias.

À Ana, por me guiar em todos os momentos e por ser para mim, um exemplo a todos os níveis.

Ao meu avô, os exemplos, as vivências e os ensinamentos que partilhamos, são eternos.

RESUMO

A regulação da circulação rodoviária, é nos dias de hoje, um dos maiores problemas na gestão do tráfego nos grandes centros urbanos. Esta dificuldade, deve-se essencialmente à incapacidade de traduzir num modelo de análise, de forma simplificada, todas as condicionantes que afetam esta regulação.

Nesse sentido, é de cariz prioritário proceder a uma análise às várias metodologias existentes e utilizadas de forma corrente na formulação de modelos de tráfego, de modo a perceber quais os fatores que são tidos em linha de consideração, qual a dificuldade na sua perceção e implementação, e qual o impacto real que estes têm na definição do modelo.

Com esta linha de pensamento, o presente trabalho foi desenvolvido através da análise dos diversos parâmetros que afetam o funcionamento de interseções, nomeadamente as controladas por sinais luminosos. Assim, foram estudadas duas interseções localizadas na Rua da Constituição da cidade do Porto, para as quais foram determinados os débitos de saturação com recurso quer a metodologias existentes quer com recurso à recolha e análise de dados nos locais, em dois períodos distintos, definidos como antes e após intervenção realizada no local.

Após este passo, foi modelada uma pequena rede com recurso ao Programa SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks), construindo-se diferentes modelos em função dos diferentes débitos de saturação estimados e reais para comparação dos resultados obtidos.

Nesse sentido, foi possível identificar o impacto que as várias condicionantes têm na elaboração dos modelos, e em particular, de que forma o comportamento dos utilizadores, nomeadamente em termos de estacionamento na faixa de rodagem, afeta o correto desempenho das interseções quanto à sua capacidade.

PALAVRAS-CHAVE: Metodologias de avaliação, débito de saturação, estacionamento, modelos de tráfego.

ABSTRACT

The regulation of Urban Mobility is nowadays one of the biggest problems in traffic management in large urban centers. This issue is essentially due to the inability to represent into a model of analysis, in a simple way, all the constraints that affect this regulation.

That said, it is a matter of priority to proceed with an analysis of the various methods that are currently in use in the formulation of traffic models, in order to understand which factors are taken into account, how difficult it is to perceive and implement them, and what the real impact they have on model definition.

With this line of thought, the present work was developed by analyzing the various parameters that affect the operation of intersections, namely those controlled by light signals. Thus, two intersections located on the Rua da Constituição of the city of Oporto were studied, for which the saturation rates were determined using either existing methodologies or through the collection and analysis of data in the sites, in two distinct periods, defined as before and after interventions occurred on those sites.

After this step, a small network was modeled using the SATURN Program (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks), constructing different models according to the different estimated and real saturation rates to compare the obtained results.

In this sense, it was possible to identify the impact that the various constraints have on the elaboration of the models, and in particular, how the behavior of the users, especially in terms of parking in the lane, affects the correct performance of the intersections as to their capacity.

KEYWORDS: Methodologies of evaluation, saturation flow, parking, traffic models.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	23
1.1. ENQUADRAMENTO	23
1.2. OBJETIVOS	23
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
2. INTERSEÇÕES	26
2.1. CARACTERIZAÇÃO	26
2.2. TIPOLOGIA	26
2.2.1. Interseções desniveladas	26
2.2.2. Interseções Prioritárias	27
2.2.3. Rotundas ou interseções giratórias	28
2.2.4. Interseções semaforizadas	29
2.3. APLICABILIDADE	30
3. MÉTODOS DE ANÁLISE	33
3.1. INTRODUÇÃO	33
3.2. AVALIAÇÃO DE INTERSEÇÕES	33
3.3. INDICADORES DE DESEMPENHO	36
3.4. DÉBITO DE SATURAÇÃO	48
3.4.1. Metodologia HCM	48
3.4.2. Metodologia Webster	52
3.4.3. Metodologia Akçelik	56
4. CASO DE ESTUDO	59
4.1. INTERSEÇÕES EM ESTUDO	59
4.2. INTERSEÇÃO: RUA DA CONSTITUIÇÃO - FARIA GUIMARÃES	60
4.2.1. Rua da Constituição – “Antes”	61
4.2.2. Rua da Constituição – “Depois”	62
4.2.3. Rua de Faria Guimarães	63
4.3. INTERSEÇÃO: RUA DA CONSTITUIÇÃO – RUA DE ANTERO DE QUENTAL	64
4.3.1. Rua da Constituição – “Antes”	64
4.3.2. Rua da Constituição – “Depois”	64
4.3.3. Rua de Antero de Quental	65

4.4 RECOLHA DE DADOS	66
4.4.1 Metodologia	66
4.4.2. Dados obtidos.....	67
4.4.3. Matrizes Origem - Destino.....	68
4.4.4. Software de Análise.....	68
4.4.5. Cálculo Débito de Saturação.....	69
4.4.5.1. 1ª Situação: Débito de saturação teórico	69
4.4.5.2. 2ª Situação: Débito de saturação corrigido por recurso ao HCM	69
4.4.5.3. 3ª Situação: Débito de saturação corrigido por recurso à metodologia de Webster	70
4.4.5.4. 4ª Situação: Débito de saturação medido antes da intervenção	70
4.4.5.5. 5ª Situação: Débito de saturação medido após intervenção	71
5. ANÁLISE DE DADOS	73
5.1. SEQUÊNCIA DE ANÁLISE	73
5.2. CASOS CONSIDERADOS	73
5.2.1. Modelo teórico	73
5.2.2. Modelo teórico ajustado pelo Método de Webster.....	74
5.2.3. Modelo teórico ajustado segundo o HCM	77
5.2.4. Modelo com recurso a contagens	81
5.3. ANÁLISE GERAL DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE	86
6.3.1. Interseção Rua da Constituição com Rua de Antero de Quental	86
5.3.2. Interseção Rua da Constituição com a Rua de Faria Guimarães.....	88
5.4. ANÁLISE DA MODELAÇÃO DA REDE NO PROGRAMA SATURN	90
5.4.1. Elaboração geral da rede	90
5.4.2. Programação das interseções.....	91
5.4.3. Recolha das matrizes O/D	93
5.4.4. Afetação das matrizes à rede.....	95
5.4.5. Estudo da Rede.....	96
5.5. ANÁLISE DA CAPACIDADE	98
6. CONCLUSÃO	103
6.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	106
Anexos.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Interseção Desnívelada (Google Earth A1 com A34)	27
Figura 2 – Regulação por prioridade (Apontamentos CT1)	27
Figura 3 –Pontos de conflito (Apontamentos CT1)	28
Figura 4 – Redução pontos de conflito (Apontamentos CT1)	29
Figura 5 – Rotunda desnívelada (Apontamentos CT1)	31
Figura 6 – Rotunda semaforizada (Apontamentos CT1)	32
Figura 7 – Tipologia dos cruzamentos vs. capacidade potencial	32
Figura 8 – Variação do comprimento da fila de espera ao longo do ciclo (HCM)	37
Figura 9 – Decomposição da fila em polígonos de acumulação (HCM)	39
Figura 10 – Modelo determinístico para ciclos sobressaturados (Akçelik)	43
Figura 11 – Tipologias de atraso e comprimento de fila de espera (Akçelik)	44
Figura 12 – Planta de Localização Rua da Constituição	59
Figura 13 – Interseções analisadas	60
Figura 14 – Interseção em estudo	61
Figura 15 – Marcação de vias (Retirado de vídeo recolhido)	61
Figura 16 – Linha de paragem após intervenção (Foto própria)	62
Figura 17 – Via destinada a velocípedes (Foto própria)	62
Figura 18 – Pormenor saída Colégio D. Duarte – Barreiras de Proteção (Foto própria)	63
Figura 19 – Rua de Faria Guimarães – Sentido Sul-Norte	63
Figura 17 – Linha de paragem antes da intervenção (Google Earth)	64
Figura 21 – Separação com recurso a balizas reversíveis (foto própria)	65
Figura 22 – Linha de paragem atualmente (foto própria)	65
Figura 23 – Vista aérea (Google Earth)	66
Figura 24 – Exemplo dados recolhidos	68
Figura 25 – Rede considerada na obtenção das matrizes Origem – Destino (Google Earth)	68
Figura 26 – tempos de ciclo (Apontamentos CT1)	70
Figura 27 – Localização da Rede	90
Figura 28 – Aspeto Global da Rede	91
Figura 29 – Fases Faria Guimarães	92
Figura 30 – Fases Zeca Afonso e São Brás	92
Figura 31 – Fases Antero de Quental	93
Figura 32 – Rede afeta às matrizes utilizadas	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre a hierarquia viária e tipologia dos cruzamentos	31
Tabela 2 – Nível de Serviço (HCM).....	35
Tabela 3 – Fator de ajustamento devido à largura da via (HCM).....	50
Tabela 4 – Coeficientes de equivalência (HCM).....	56
Tabela 5 – Débito de Saturação de Base (Akçelik (1981)).....	57
Tabela 6 – Período de análise.....	66
Tabela 7 – Débito de saturação teórico	74
Tabela 8 – Débito de saturação teórico	74
Tabela 9 – Débito de saturação Webster.....	75
Tabela 10 – Débito de saturação Webster após intervenção	75
Tabela 11 – Débito de saturação Webster.....	76
Tabela 12 – Débito de saturação Webster após intervenção	76
Tabela 13 – Débito de saturação HCM.....	78
Tabela 14 – Débito de saturação HCM após intervenção	79
Tabela 15 – Débito de saturação HCM.....	79
Tabela 16 – Débito de saturação HCM após intervenção	79
Tabela 17 – Débito de saturação por Contagem	81
Tabela 18 – Débito de saturação por Contagem após intervenção.....	82
Tabela 19 – Débito de saturação por Contagem	83
Tabela 20 – Débito de saturação por Contagem após intervenção.....	84
Tabela 21 – Matriz inicial que serviu de ponto de partida.....	94
Tabela 22 – Matriz final para o primeiro período de 15 minutos para afetação horária	95
Tabela 24 – Matrizes por período de análise.....	95
Tabela 24 – Capacidade HCM para Antero de Quental	99
Tabela 25 – Capacidade HCM para Faria Guimarães.....	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo Rua Antero de Qental	76
Gráfico 2 – Comparativo Rua de Faria de Guimarães.....	77
Gráfico 3 – Comparativo Rua Antero de Qental	80
Gráfico 4 – Comparativo Rua Antero de Qental	80
Gráfico 5 – Rua Antero de Qental	82
Gráfico 6 – Rua Antero de Qental após intervenção	83
Gráfico 7 – Rua de Faria Guimarães	83
Gráfico 8 – Rua de Faria Guimarães após intervenção.....	84
Gráfico 9 – Comparativo Antero de Qental	85
Gráfico 10 – Comparativo Faria de Guimarães	85
Gráfico 11 – Comparativo Interseção com Antero de Qental antes da intervenção.....	86
Gráfico 12 – Comparativo Interseção com Antero de Qental depois da intervenção.....	87
Gráfico 13 – Comparativo global Antero de Qental	87
Gráfico 14 – Comparativo Interseção com Faria Guimarães antes da intervenção	88
Gráfico 15 – Comparativo Interseção com Faria Guimarães depois da intervenção	89
Gráfico 16 – Comparativo Global de Faria Guimarães	89
Gráfico 17 – Comparativo para tempo de realização do percurso em segundos.....	97
Gráfico 18 – Comparativo para o atraso verificado em segundos.....	97
Gráfico 19 – Comparativo para a velocidade do percurso em km/h.....	98
Gráfico 20 – Variação da Capacidade	99
Gráfico 21 – Variação do nº de vias.....	100
Gráfico 22 – Variação do débito de saturação.....	100
Gráfico 23 – Variação global da interseção com Antero de Qental.....	101
Gráfico 24 – Variação global da interseção com Faria Guimarães	101

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

IP – Itinerário Principal;

IC – Itinerário Complementar;

EN/ER – Estrada Nacional / Regional;

EM – Estrada Municipal.

HCM – Highway Capacity Manual

Nível de Serviço - LOS – Level of Service

s – Débito de saturação

s_0 – Débito de saturação base

f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via

f_{HV} – Fator de ajustamento devido aos veículos pesados presentes na corrente de tráfego

f_g – Fator de ajustamento devido ao declive

f_p – Fator de ajustamento devido à existência de via para estacionamento e manobras de estacionamento

f_{bb} – Fator de ajustamento devido ao bloqueio provocado pela existência de paragens de autocarro

f_a – Fator de ajustamento devido ao tipo de área envolvente

f_{LU} – Fator de ajustamento devido à utilização da via

f_{LT} – Fator de ajustamento devido à viragem à esquerda num grupo de vias

f_{RT} – Fator de ajustamento devido à viragem à direita num grupo de vias

f_{Lpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à esquerda

f_{Rpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à direita

E_R – Equivalente de veículos que viram à direita

E_L – Equivalente de veículos que viram à esquerda

P – Chegada de veículos durante o tempo de verde

R_p – Rácio de veículos (Platoon Ratio)

g – Tempo de verde efetivo (s)

D_p – Tempo de fase

l_1 – Tempo perdido no arranque (s)

g_s – Tempo limpeza da fila de espera (s)

g_e – Tempo até fim de verde (s)

Y – Tempo de Amarelo (s)

R_C – Tempo limpeza (s)

- c – Capacidade (veic/h)
 N – Número de vias no grupo
 C – Duração do ciclo (s)
 X – Grau de saturação
 v – Débito de chegadas (veic/h)
 d - Atraso
 d_1 - Atraso uniforme
 d_2 - Atraso incremental
 d_3 - Atraso devido à fila inicial
 Q_i - Tamanho final da fila no intervalo i (veic)
 q - Débito de chegadas constante verificado no intervalo = $v/3600$ (veic/s)
 $t_{d,i}$ - Duração do intervalo durante o qual os débitos são constantes (s)
 X_A – Média do grau de saturação
 T – Período de Análise (s)
 I – Ajustamento devido à formação de pelotões
 t_A – Duração ajustada da procura não escoada no período em análise (h)
 Q_e – Tamanho da fila no final do período de análise (veic)

Webster

- s – débito de saturação
 f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via;
 f_i – Fator de ajustamento devido ao declive da via;
 f_z – Fator de ajustamento devido à localização do cruzamento;
 f_p – Fator de ajustamento devido à localização da via;
 f_t – Fator de ajustamento devido à composição da corrente de tráfego;
 f_d – Fator de ajustamento devido a mudança de direção.
 w – Largura da via (m)
 i – Declive da via, positivo se ascendente, negativo se descendente.
 p_i – Proporção de veículos da classe i (com exceção de veículos ligeiros passageiros)
 E_i – Coeficiente de equivalência para veículos da classe i (exceto ligeiros)
 r – Valor do raio, em metros, da curva descrita na manobra de viragem
 d – Média do atraso de um determinado grupo de vias na interseção por veículo (s/veic)
 c – Tempo do ciclo (s)

q – Débito de chegada dos veículos (veic/s)
 λ – Proporção de verde efetivo
 x – Grau de saturação

Akçelik

N_0 – Média da fila de sobressaturação do grupo de vias (veic)
 Q – Capacidade (veic/h)
 T_f – Período de ponta, no qual se mantém a média do tempo de chegadas, q
 QT_f – Número máximo de veículos que efetuam partida durante T_f
 x – Grau de saturação
 N - Média da fila de espera
 qr - Quantidade de veículos que chegaram durante o tempo de vermelho (q -débito de chegadas e r -tempo efetivo de vermelho)
 N_m - Comprimento máximo da fila
 y - Índice de carga
 D - Atraso total (veic)
 qc - Número médio de chegadas por ciclo (q - débito e c – duração)
 u - Razão do tempo de verde
 d - Média de atraso por veículo (s)
 q - Débito (veic/s)
 h - Taxa de paragem
 qc - Número médio de chegadas por ciclo (q - débito e c – duração)
 H - Número de paragens completas
 q - Débito (veic/h)
 s - Débito de saturação
 s_b – Débito de saturação base;
 f_w – Ajustamento devido à largura da via;
 f_g – Ajustamento devido ao declive;
 f_c – Ajustamento devido à composição do tráfego.
 w – Largura da via (m)
 G_r – Declive (%)

SATURN - Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks

GERTRUDE - Gestão Electrónica de Regulação do Tráfego Rodoviário Urbano Desafiando os Engarrafamentos

SIGA – Sistema Inteligente de Gestão Autónoma

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Com o crescente aumento do parque automóvel um pouco por todo o território nacional, mas com especial incidência nos grandes centros urbanos, tem existido a preocupação de se proceder a uma regulação do tráfego rodoviário de modo a que a circulação automóvel seja realizada da forma mais eficiente e segura possível.

A este constante aumento ao qual se associam não só alguma falta de oferta em termos de transportes públicos mas, sobretudo a excessiva dependência, que caracteriza grande parte da população, que prefere usar o transporte particular ao público, são várias as situações de congestionamento que ocorrem na rede rodoviária, nomeadamente em pontos críticos da rede, designadamente nas interseções.

Assim, é nas interseções rodoviárias que ocorrem situações que provocam não só grandes constrangimentos em termos da circulação automóvel como também questões do âmbito da segurança rodoviária. De facto, quando se coloca como variável a circulação de peões, a presença de vias destinadas exclusivamente para transportes públicos, as manobras de estacionamento junto a estas interseções, bem como ao estacionamento ilegal por parte dos utilizadores da rede viária junto a estes locais, tal obriga a uma atenção redobrada nestes pontos da rede rodoviária.

Ao longo dos anos e acompanhando este constante aumento do parque automóvel e a necessidade de se proceder à sua regulação, têm surgido várias formas de atuação em especial nas interseções. Se nos casos onde o volume de tráfego não se encontra em valores muito elevados, a regulação destas interseções, recorrendo a situações de prioridade ou sinalização vertical, pode ser utilizada com um aceitável grau de eficiência, existindo mesmo a possibilidade de uma alteração no desenho geométrico da interseção que permita a utilização deste tipo de regulação.

Quando os volumes apresentados são demasiado elevados, as soluções acima referidas acabam por não ser aceitáveis, sendo necessário recorrer a outro tipo de controlo que garantam as condições de circulação pretendidas. Entre estas alternativas, a regulação pode ser efetuada com o recurso a passagens desniveladas, que acarretam por norma avultados investimentos e necessidades de espaço, a rotundas ou à implementação de sinalização luminosa.

No presente trabalho, o estudo incidirá na regulação com recurso à sinalização luminosa.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação, tem como principal objetivo a análise do impacto que diferentes fatores, designadamente o estacionamento, têm nos resultados obtidos pelos vários modelos na capacidade das

interseções controladas por sinais luminosos. Com esse intuito, procura-se perceber qual o impacto nas variáveis que avaliam o desempenho da circulação a partir dos valores estimados para os diferentes parâmetros utilizados na sua determinação, permitindo deste modo, uma ponderação sobre a real utilidade de tais fatores para análises futuras.

Ainda sobre esta perspectiva, procurar-se-á, em virtude da comparação de duas situações distintas num mesmo local, antes e após intervenção, perceber qual o impacto existente pela implementação de novas medidas de regulação, no desempenho das interseções analisadas.

A temática do estacionamento, será também alvo de análise, não só como fator de contribuição para a estimativa da capacidade enquanto fator de ajustamento, mas acima de tudo, como fator que pode desencadear comportamentos abusivos por parte dos utilizadores da rede viária, traduzindo-se num menor rendimento em determinados pontos da rede, que por sua vez acabam por influenciar o desempenho da mesma no seu todo.

De modo a analisar os aspetos acima mencionados, serão utilizados como recursos as metodologias descritas no HCM, as desenvolvidas por Webster e as desenvolvidas por Akçelik, no que diz respeito à estimação dos débitos de saturação. Da mesma forma, mas com o intuito de verificar o desempenho da rede em função da procura existente, será realizado com recurso ao programa SATURN, um modelo relativo à Rua da Constituição e mais especificamente ao troço compreendido entre a interseção com a Rua de Faria Guimarães e a interseção com a Rua de Antero de Quental.

Procurar-se-á desta forma, associando as duas vertentes referidas, e tendo como pontos a analisar as duas interseções localizadas na Rua da Constituição, da cidade do Porto, averiguar a importância da consideração de vários parâmetros de ajustamento e a sua tradução enquanto mais valia na relação dos modelos com o que se verifica na realidade.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No que refere à organização da presente dissertação, esta foi delineada para primeiramente dar a conhecer a realidade da generalidade das interseções em si, procedendo-se da mesma forma no que refere à descrição das metodologias mais usuais para este tipo de estudo. Após essa contextualização, procedeu-se a uma descrição mais detalhada dos casos de estudo, procurando depois explicar a sequência realizada na obtenção e posterior tratamento dos dados.

No final, procura-se tecer algumas considerações, relativamente aos resultados obtidos.

Desta forma, a presente dissertação está então dividida em seis capítulos.

- Capítulo 1 – Enquadramento da temática abordada, objetivos e estruturação do relatório;
- Capítulo 2 – Interseções enquanto elementos de gestão da rede rodoviária;
- Capítulo 3 – Metodologias de análise usuais no estudo de interseções;
- Capítulo 4 – Descrição dos casos de estudo e as diferenças antes e após as intervenções e processo de recolha de dados e parâmetros obtidos;
- Capítulo 5 – Análise dos dados obtidos;
- Capítulo 6 – Conclusões.

2

INTERSEÇÕES

2.1. CARACTERIZAÇÃO

Numa qualquer análise da circulação rodoviária, um dos pontos mais sensíveis e que tem maior influência na sua capacidade prende-se principalmente com a existência de pontos de convergência entre as várias vias que compõem a rede rodoviária, resultando assim em interseções, sendo usual também classificar estes pontos como cruzamentos ou entroncamentos.

As interseções podem ser classificadas em função da sua regulação e respetivo funcionamento. Assim, dependendo das condicionantes existentes no local e dos objetivos pretendidos para determinada interseção as interseções podem ser desniveladas ou de nível e a sua regulação pode ser feita através de regras de prioridade, com ou sem sinalização, giratórias, também usualmente denominadas de rotundas ou com recurso a sinalização luminosa, resultando assim nas seguintes tipologias:

- Interseções desniveladas;
- Interseções prioritárias;
- Interseções giratórias ou rotundas.;
- Interseções semaforizadas;

2.2. TIPOLOGIA

Como seria de esperar, cada uma das tipologias referidas acima possuem vantagens e desvantagens, seja em termos de funcionamento, na medida em que podem levar a um maior ou menor nível de segurança, eficiência ou comodidade, seja ao nível de custos de execução e manutenção. Estes aspetos podem e devem ser tidos em linha de conta na análise que se efetua a cada interseção, mediante os objetivos que se pretendem maximizar e as condicionantes que possam existir no local [1][2].

2.2.1. INTERSEÇÕES DESNIVELADAS

Em situações muito específicas, onde existam movimentos predominantes de circulação em que sejam reduzidas as viragens ou em casos em que estejamos perante mudança de categoria de via de circulação com diferentes tipologias e usualmente diferentes velocidades de circulação, a opção pela realização de interseções desniveladas é uma possibilidade que deve ser considerada.

Este tipo de interseção, garante não só uma simplificação na mudança de tipologia da via em que o utilizador irá circular, mas também um acréscimo muito significativo em termos de segurança com que esta mudança ocorre, utilizando para tal vias de aceleração/desaceleração que permitem uma adaptação

gradual à nova via por parte do utilizador.

Dentro desta tipologia, existem inúmeras opções para a sua realização, sendo estas por norma classificadas mediante a sua forma e funcionamento, de onde se podem destacar exemplos como as interseções em trevo, meio trevo (Figura 1) ou trompette, entre muitas outras possibilidades existentes.



Figura 1 – Interseção Desnivelada (Google Earth A1 com A34)

Embora sejam opções que potenciam uma maior segurança e um melhor funcionamento da rede face à capacidade que apresentam, este tipo de interseções tem um custo elevado, associado não só à própria construção, mas também à necessidade de espaço associada,.

2.2.2. INTERSEÇÕES PRIORITÁRIAS

Começando pela situação mais comum, as interseções reguladas por prioridade caracterizam-se pela presença de sinalização vertical, podendo ainda existir sinalização horizontal ao nível da via. Nos casos em que a sinalização seja inexistente, a regulação é feita por prioridade à direita, tal como indicado no código da estrada.

Nas interseções prioritárias existem diferentes níveis de prioridade, como se pode verificar na figura seguinte, sendo que o nível um refere-se aos movimentos prioritários e os restantes níveis aos movimentos que perdem prioridade face aos movimentos de nível mais baixo.

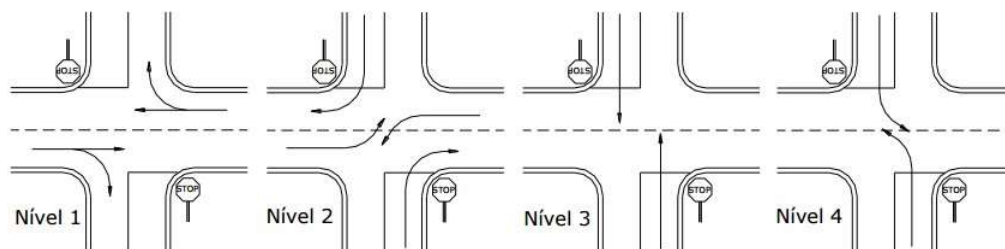


Figura 2 – Regulação por prioridade (Apontamentos CT1)

Como principal inconveniente a este tipo de regulação, aponta-se a presença de um considerável número de pontos de conflito (Figura 3), sendo este número afetado significativamente pelo número de ramos que estão presentes na interseção [3]. Em termos de pontos de conflito, estes podem ser convergentes, divergentes, interseção ou entrecruzamento, consoante os movimentos considerados.

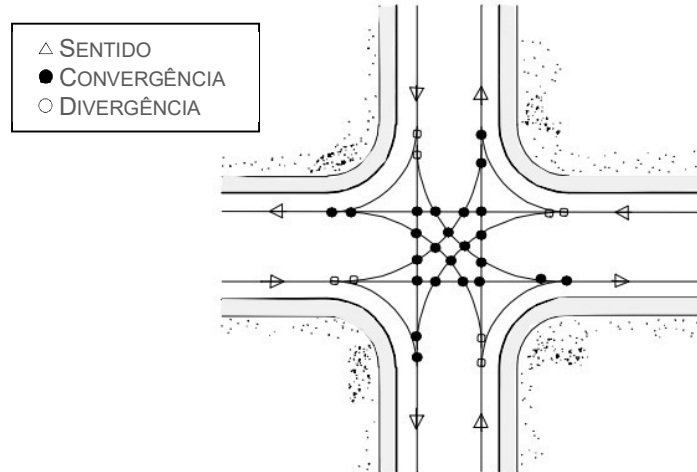


Figura 3 –Pontos de conflito (Apontamentos CT1)

Este tipo de interseções têm a vantagem de possuírem um custo de execução e manutenção muito baixos, o que leva a que, para volumes de tráfego e velocidades de circulação reduzidas, possam ser adotadas com alguma facilidade sem prejuízo do normal funcionamento da rede.

2.2.3. ROTUNDAS OU INTERSEÇÕES GIRATÓRIAS

Uma outra possibilidade quando os volumes de tráfego são significativos e existe algum espaço para a realização ou alteração da interseção, são as rotundas em que os veículos realizam a sua entrada provenientes de um dos ramos de acesso e saem no ponto em que pretendem, fazendo o trajeto de forma tipicamente circular e cumprindo normas de circulação específicas para este tipo de interseção.

A principal vantagem associada a este tipo de interseção prende-se com a redução significativa do número de pontos de conflito existentes. A título de exemplo, uma interseção regulada por prioridade, onde conflua 4 ramos com circulação em ambos os sentidos, possui à partida 32 pontos de conflito.

No caso destes 4 ramos serem geridos na sua interseção por uma rotunda, existe uma redução exponencial do número de pontos de conflito, como é possível ver na figura seguinte:



Figura 4 – Redução pontos de conflito (Apontamentos CT1)

Além das vantagens associadas ao aumento dos níveis de segurança, com a já mencionada redução do número de pontos de conflito, assim como diminuição da gravidade dos mesmos, as rotundas podem também constituir elementos de arquitetura paisagística a considerar na valorização urbanística do local onde se encontra implementada.

Embora na sua globalidade, as rotundas se apresentem como uma solução bastante apelativa é, no entanto, necessário uma ponderação cuidada aquando da tomada de decisão em adotar esta solução. Sendo uma alternativa que normalmente envolverá um aumento das dimensões da interseção, poderão surgir algumas complicações na sua execução, onde se destacam situações como expropriação de terrenos adjacentes à interseção ou o próprio custo da realização da rotunda em si.

Dentro das rotundas, estas podem ser mais ou menos complexas no que diz respeito ao seu formato, sendo influenciadas pelo número de ramos de acesso e pelas condicionantes para a sua realização em termos de espaço, velocidades praticadas, categoria da via em questão ou outros fatores que possam, eventualmente, ser ainda ponderados.

Ainda relativamente a este tipo de interseção, a sua regulação poderá ser afetada mediante o recurso às outras tipologias de interseção já referidas.

2.2.4. INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

Um dos tipos de regulação que mais tem evoluído ao longo dos anos que possui uma maior capacidade de se adaptar aos diferentes contextos e que podemos encontrar em interseções é a sinalização luminosa presente nas interseções semaforizadas.

Os sinais luminosos oferecem a possibilidade da combinação das modificações geométricas com o controlo do tempo, em função da procura, sendo elementos fundamentais para o aumento da segurança rodoviária.

Segundo o Regulamento de Sinalização de Trânsito, esta sinalização tem como objetivo regular o tráfego de veículos e caracteriza-se pela presença de três luzes circulares, nas seguintes cores:

- Verde: Autorizando a passagem e permitindo aos veículos atravessar a área regulada pela sinalização.
- Vermelha: Interditando a passagem e obrigando os utentes a imobilizarem os veículos antes da entrada na área regulada.
- Amarela: Serve para efetuar a transição entre as duas primeiras, aparecendo entre a passagem da luz verde para a vermelha e proíbe o acesso à zona regulada, com exceção dos veículos que se encontram já muito próximos da linha de paragem e que não estejam em condição de imobilizar o veículo em segurança.

Embora seja a opção que talvez possua a maior flexibilidade em termos de funcionamento, será também necessário referir que este tipo de regulação de interseções tem impactos significativos tanto na micro regulação, compreendida pela interseção em que se encontram a funcionar, como na macro regulação do tráfego na zona de influência da interseção. Caso esta não esteja corretamente dimensionada ou projetada, poderá originar situações de conflito nas interseções a montante ou a jusante destes.

2.3. APLICABILIDADE

A escolha da tipologia de interseção a adotar, bem como a sua regulação, deve assim ter em linha de conta vários aspetos. Desde logo o tipo de vias que formam a interseção tem um impacto determinante no que diz respeito às condições de segurança que se deve procurar garantir na interseção. Por outro lado, os volumes de tráfego presentes nas vias de acesso, as velocidades praticadas, o espaço disponível, os recursos disponíveis são outros fatores com especial relevo para a tomada de decisão. De uma forma genérica a classificação funcional das vias encontra-se baseada num conjunto de quatro tipologias:

- Via Coletora;
- Distribuidora Principal;
- Distribuidora Local;
- Acesso Local.

As duas primeiras ligadas predominantemente mas com pesos diferentes à função de circulação, constituindo a rede estruturante fundamental do conjunto do espaço urbano, e as outras duas ligadas predominantemente mas também com pesos diferentes ao serviço dos espaços onde se pretende dar prioridade à vivência urbana e que constituirão as redes viária locais [15].

Assim, na tabela seguinte [15] apresentam-se de uma forma sucinta a lógica básica de compatibilização entre tipologia de cruzamentos e tipologia funcional das vias que se cruzam.

Tabela 1 – Relação entre a hierarquia viária e tipologia dos cruzamentos

	Colectoras/ Arteriais	Distribuidoras Principais	Distribuidoras Locais	Acesso Local
Colectoras/ Arteriais	A - D a - Rd, S, Rn	A - D, Rd a - Rn, S	A - S, D, Rd a - P	-----
Distrib. Principais		A - S, Rn a - D, Rd	A - S, Rn a - P	A - S, P a - Rn
Distrib. Locais			A - Rn, P a - S	A - P a - Rn, Pd
Acesso Local				A - P, Pd

Assim, devem ser consideradas as diferenças entre as vias que confluem numa dada interseção para que seja adequada a solução quando à sua regulação. A título de exemplo, uma interseção giratória não será a solução mais adequada para uma interseção entre duas vias colectoras, uma vez que teria um impacto significativo na perceção de qualidade do utilizador, na medida em que implicaria atrasos nos fluxos principais, tornando-se num fator dissuasor da utilização daquelas vias e levando a um indesejado aumento de tráfego nas alternativas adotadas pelos utilizadores. No entanto, esta mesma opção poderá ser trabalhada em conjunto com outras formas de regulação de modo a que se obtenha uma solução viável e eficaz. No exemplo referido, poderia em alternativa ser adotada uma rotunda desnivelada (Figura 5).

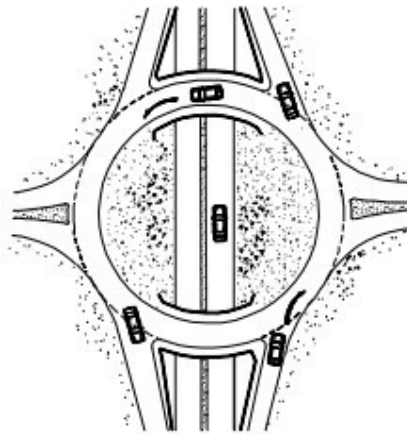


Figura 5 – Rotunda desnivelada (Apontamentos CT1)

Observe-se que esta possibilidade de associar diferentes tipologias de interseções a diferentes sistemas

de regulação, constitui uma importante ferramenta para a gestão do tráfego automóvel, podendo ser adaptada consoante as características específicas verificadas em cada ponto onde exista uma intersecção [4], como se pode constatar na figura seguinte.



Figura 6 – Rotunda semaforizada (Apontamentos CT1)

Por outro lado, um dos indicadores de desempenho de referência prende-se com a “capacidade potencial” para fazer face à procura previsível de tráfego. Tendo presente este facto, na Figura 7 apresenta-se um gráfico[15] que, de uma forma aproximada, apresenta o campo de aplicabilidade das principais tipologias em função nos níveis de tráfego conflituantes existentes.

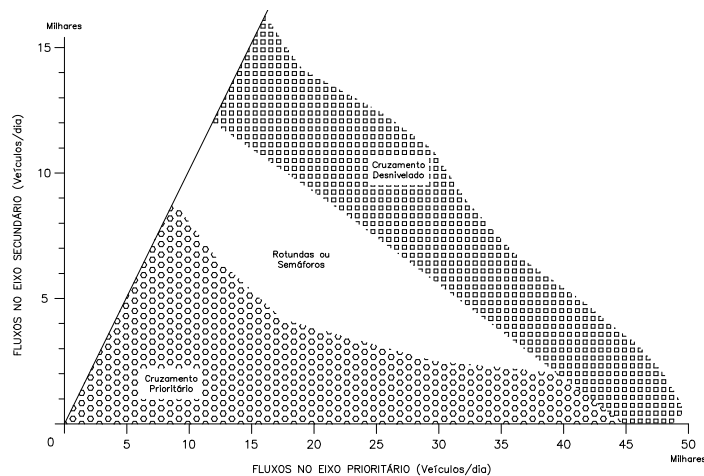


Figura 7 – Tipologia dos cruzamentos vs. capacidade potencial

Por último, será de referir que a segurança de operação é obviamente um aspecto importante atendendo aos custos sociais e económicos associados à sinistralidade rodoviária.

3

MÉTODOS DE ANÁLISE

3.1. INTRODUÇÃO

No que diz respeito à análise que se pretende efetuar nas interseções semaforizadas anteriormente identificadas, esta pode realizar-se recorrendo a diferentes métodos que têm, como principal objetivo, a sua caracterização em função das condicionantes que a interseção possa apresentar.

Nesta dissertação recorre-se às metodologias referidas no Highway Capacity Manual (HCM), ao método de Webster (1950) e ao de Akçelik (1979), sendo que alguns foram utilizados para a análise aos dados recolhidos, com os quais se procurará obter valores relativos a vários parâmetros específicos de modo a avaliar e caracterizar as interseções em estudo, bem como perceber de forma mais específica o impacto que, cada um dos parâmetros referidos por estas metodologias, tem no desempenho das interseções.

Sendo a principal obra, no que respeita ao estudo da capacidade e dos níveis de serviço, o HCM contempla todo o desenvolvimento em termos de conceitos e metodologias desde a sua 1ª Edição, datada de 1950, sendo a última versão de 2010 (HCM2010).

Este manual permite a avaliação da capacidade e qualidade do serviço prestado aos utilizadores por parte da interseção semaforizada, através de um grande número de medidas de desempenho,

Seguindo uma metodologia que se aplica a interseções de duas vias rodoviárias com três a quatro ramos, o HCM (2010) permite-nos analisar uma interseção semaforizada a nível local, ainda que possam ser adicionadas variáveis que permitam perceber a influência de interseções que se situem a montante ou a jusante da interseção em análise.

3.2. AVALIAÇÃO DE INTERSEÇÕES

A avaliação de determinada interseção é assim efetuada com recurso a medidas classificadas como medidas de desempenho, através das quais se procura caracterizar os vários parâmetros que influenciam a qualidade do serviço prestado pela via aos seus mais diversos utilizadores, sejam eles automóveis, peões ou velocípedes.

No volume III do HCM (2010), algumas dessas medidas são identificadas no capítulo 18, como são o caso do rácio entre as chegadas e as partidas durante o ciclo e a consequente afetação do comprimento da fila de espera; o rácio entre o volume e a capacidade; o atraso verificado; a área destinada à circulação de peões; assim como uma medida direcionada apenas para peões e velocípedes denominada de *perception score* que se caracteriza pela perceção que os utilizadores têm relativamente à via em estudo.

Através destas medidas de desempenho, o HCM caracteriza uma determinada interseção através do seu Nível de Serviço (LOS – Level of Service), recorrendo a uma ou mais das medidas acima referidas, consoante o objetivo que se pretende na análise.

O Nível de Serviço varia consoante este se refira aos diferentes utilizadores da via, no que respeita ao seu modo de circulação, seja o tráfego automóvel ou não automóvel, e pode ser obtido para cada aproximação ou para a interseção, assim como para cada grupo de vias afeta à mesma.

Relativamente ao tráfego automóvel, no qual incidirá essencialmente a nossa análise, a atribuição do Nível de Serviço tem por base medidas de desempenho efetuadas no local ou perceptíveis aos condutores, enquanto que no tráfego não automóvel, esta análise se baseia na perceção do desempenho por parte dos utilizadores.

No caso de se pretender analisar uma aproximação ou a interseção em si, o controlo do atraso é suficiente para a atribuição do Nível de Serviço, ao passo que para a caracterização de um grupo de vias se inclui também o rácio entre o volume e a capacidade (Tabela 1).

Os Níveis de Serviço variam entre as classificações A e F, tendo as seguintes características:

- Nível de Serviço A – Pequeno rácio entre volume e capacidade, existência de progressão muito favorável ou ciclo bastante curto. No caso de o motivo da atribuição desta classificação ser a progressão muito favorável, é assumido que a grande maioria dos veículos que circulam e chegam à interseção durante o período de verde, conseguem passar pela mesma sem ter necessidade de parar.
- Nível de Serviço B – Baixo rácio entre volume e capacidade, assume-se que a progressão é muito favorável ou que o tempo de duração do ciclo é baixo. Face a esta última situação é considerada que a percentagem de veículos, que acabam por ter de parar na interseção, é superior ao nível A.
- Nível de Serviço C – Atribuído quando é verificada uma progressão favorável ou quando o comprimento do ciclo é moderado, existindo eventualmente veículos na fila de espera que podem não partir em virtude de falta de capacidade durante o ciclo, o que poderá levar a uma paragem de um número considerável de veículos.
- Nível de Serviço D – Caracterizado por um elevado rácio entre o volume e a capacidade, bem como, quando se considera a progressão insuficiente ou o tempo de ciclo longo, evidenciando-se falhas no ciclo e conseqüente paragem de um significativo número de veículos.
- Nível de Serviço E – O valor do rácio entre o volume e a capacidade é elevado, ao qual se junta uma progressão desfavorável e um tempo de ciclo longo, sendo possível constatar falhas no ciclo.
- Nível de Serviço F – Nível atribuído quando se verifica um rácio muito elevado na relação do volume com a capacidade verificada, bem como uma progressão muito desfavorável e um ciclo longo.

O valor obtido nas medidas de desempenho referidas anteriormente acaba, portanto, por implicar uma determinada classificação para a interseção em análise, denominada por Nível de Serviço, como pode ser constatado no quadro seguinte:

Tabela 2 – Nível de Serviço (HCM)

Atraso (s/veic)	Nível de Serviço	
	Rácio ≤ 1	Rácio > 1
≤ 10	A	F
> 10	B	F
> 20	C	F
> 35	D	F
> 55	E	F
> 80	F	F

A atribuição do Nível de Serviço a uma determinada interseção por parte do HCM permite-nos então, de uma forma generalizada, caracterizar na sua globalidade o funcionamento da mesma, tendo em consideração fatores específicos, como são o caso do atraso e da relação entre o volume e capacidade verificados.

No que refere à avaliação de interseções sinalizadas, o HCM recorre à caracterização prévia da interseção mediante dois conceitos que são os grupos de vias e os grupos de movimento. Embora, pela sua descrição aparente, a denominação atribuída possa suscitar uma semelhança muito significativa entre os termos, a designação de grupos de vias e a sua identificação permite descrever de maneira mais apropriada a metodologia, uma vez que permite uma perceção mais detalhada dos cálculos a serem realizados. Por outro lado, a indicação dos grupos de movimentos existentes, permite uma correta atribuição dos valores associados aos dados de entrada na interseção para os cálculos que se pretendem realizar segundo o método acima indicado.

Desta forma, são aplicadas as seguintes regras para a identificação dos vários grupos de movimento ou grupos de vias:

No caso de identificação de grupos de movimento temos que:

- Se um movimento de viragem é realizado através de uma ou mais vias exclusivas, este deve ser designado por um grupo de movimento;
- Quaisquer vias que não se encontrem associadas a algum grupo de movimento, devem ser combinadas e consideradas como um grupo de movimento.

Para a identificação dos grupos de vias são aplicadas as seguintes regras:

- Uma ou mais vias de viragem à esquerda ou à direita devem ser identificadas como sendo um grupo de vias separados;
- Uma qualquer via partilhada deve ser designada como um grupo de vias separado;
- No caso de as vias não serem de viragem ou partilhadas, devem ser combinadas e identificadas num grupo de vias.

Esta separação, permite-nos obter grupos de vias com as seguintes especificações:

- Via de viragem à esquerda exclusiva;
- Via partilhada de viragem à esquerda e em frente;

- Via partilhada de viragem à esquerda e à direita;
- Via partilhada de viragem à esquerda, à direita e em frente;
- Via em frente exclusiva;
- Via de viragem à direita exclusiva;
- Via partilhada de viragem à direita e em frente.

Outra das metodologias que pode ser considerada no estudo de intersecções corresponde ao Método de Webster, desenvolvido em 1950 através de ensaios experimentais em intersecções isoladas, em que o seu funcionamento se desenrolava durante um tempo pré-definido e que resultaram em duas formas distintas de regulação do tempo de funcionamento dos sinais de tráfego [7].

A primeira consiste na separação das fases do sinal, ao passo que a segunda tem por base a determinação do tamanho de ciclo que corresponde ao atraso mínimo. Tanto de forma teórica como empírica, Webster conseguiu demonstrar que a sinalização regulada por tempos pré-definidos deve ter as suas fases críticas reguladas, para iguais graus de saturação em função de um determinado tempo de ciclo, de forma a reduzir o atraso.

Desta forma, é aconselhável o uso das duas formas em simultâneo aquando do planeamento de uma intersecção, de modo a que seja possível reduzir o atraso verificado na mesma.

3.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

De modo a estudar uma dada intersecção, procede-se então à avaliação de alguns indicadores que permitir qualificar o seu desempenho. Aspetos como a quantificação do número de veículos que chegam durante o período de verde, a determinação do tempo de fase, a capacidade, o atraso verificado, o comprimento das filas de espera ou o nº de paragens realizadas, são então quantificados de forma a auxiliar a análise destes locais particulares da rede viária.

Segundo o HCM, quando analisado o atraso verificado e o comprimentos das filas de espera, um dos aspetos preponderantes reside na capacidade de quantificar o número de veículos que chega à intersecção durante o tempo de verde.

Com alguma facilidade, é possível perceber que o valor associado ao atraso e o comprimento da fila de espera, são tanto menores, quanto maior for a proporção de veículos que chega à intersecção durante o período de verde.

No caso de a intersecção ser regulada por tempos pré definidos, é possível obter este valor através da expressão:

$$P = R_p(g / C) \quad (1)$$

Onde:

- R_p – Rácio de veículos (Platoon Ratio)
- g – Tempo de verde efetivo (s)
- C – Duração do ciclo (s)

No entanto, nos casos onde os tempos não são pré definidos, é necessário proceder à análise de outra forma, começando por determinar a duração da fase.

A determinação do tempo de fase, está sujeita ao tipo de regulação adotada para a interseção em análise. Nos casos em que se verifica o recurso a tempos pré-determinados, este valor é obtido automaticamente, por outro lado se a regulação é feita de forma atuada, é necessário recorrer a uma análise mais pormenorizada (Figura 7), considerando-se cada um dos intervalos de tempo que compõem a duração da fase, indicados de seguida:

$$D_p = l_1 + g_s + g_e + Y + R_C \quad (2)$$

Onde:

l_1 – Tempo perdido no arranque (s)

g_s – Tempo limpeza da fila de espera (s)

g_e – Tempo até fim de verde (s)

Y – Tempo de Amarelo (s)

R_C – Tempo limpeza (s)

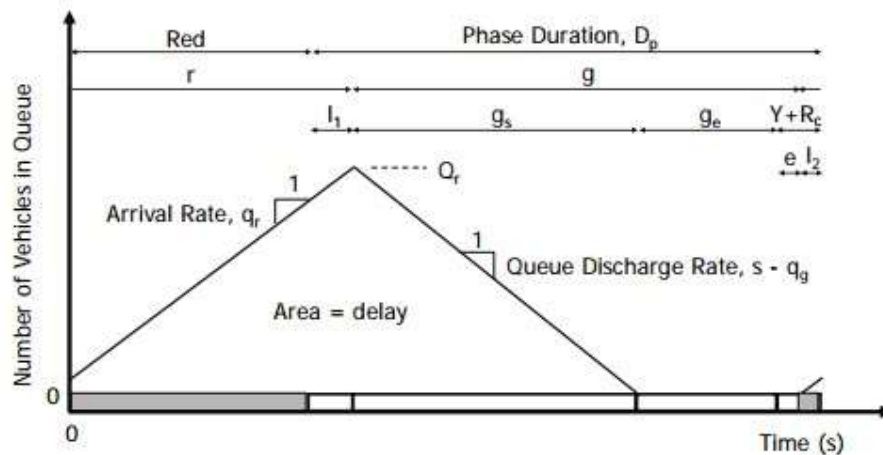


Figura 8 – Variação do comprimento da fila de espera ao longo do ciclo (HCM)

Podemos assim verificar, que o comprimento máximo da fila é atingido no final de l_1 , quando a fila começa a ser escoada a um ritmo correspondente à diferença entre o débito de saturação e o débito de chegadas durante o tempo de verde. Nos casos de regulação atuada, a duração da fase pode ser ainda influenciada pela variação do tempo de extensão do sinal verde g_e , até um valor máximo, resultado da deteção de novos veículos a chegarem à interseção durante o tempo de verde.

Quando se verifica que, num determinado grupo de vias destinado a um único movimento de tráfego, não existem movimento de viragem, sejam eles à esquerda ou à direita, o cálculo da capacidade aí verificada é realizado com recurso à seguinte expressão:

$$c = Ns \frac{g}{C} \quad (3)$$

Onde:

- c – Capacidade (veic/h)
- N – Número de vias no grupo
- s – Débito de saturação (veic/h)
- g – Tempo de verde efetivo
- C – Duração do ciclo (s)

Nas restantes situações, para um grupo de vias partilhado ou para um grupo de vias em que se verifique a existência de conflitos com movimentos de viragem, o cálculo da capacidade deve realizar-se segundo a metodologia indicada no HCM (capítulo 31), de modo a que seja possível estimar o valor para a capacidade nestes casos em concreto.

Após o cálculo da capacidade, é possível obter também o valor da razão entre o volume de tráfego, considerado nesta situação como o débito de chegadas verificadas, e a capacidade existente, sendo obtido o valor do grau de saturação através da equação seguinte:

$$X = \frac{v}{c} \quad (4)$$

Onde:

- X – Grau de saturação
- v – Débito de chegadas (veic/h)
- c – Capacidade (veic/h)

Ainda recorrendo ao HCM, o cálculo do atraso, utilizando a sua metodologia, representa a média sentida por todos os utilizadores de veículos automóveis, que efetuam a sua chegada à interseção durante o período de análise, levando ainda em linha de conta os veículos que permaneçam em fila após este mesmo período. A seguinte expressão, que nos permitirá obter o valor do atraso, tem em consideração três fatores: o atraso uniforme, o atraso incremental e o atraso provocado, devido à existência de uma fila inicial.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (5)$$

Onde:

d_1 - Atraso uniforme

d_2 - Atraso incremental

d_3 - Atraso devido à fila inicial

O atraso uniforme, (d_1), pode ser calculado com recurso à seguinte expressão, onde são previamente definidos os valores para o tempo de verde efetivo, a duração do ciclo e o débito de saturação, verificado nesse mesmo período, e onde se assume que as chegadas são variáveis ao longo do ciclo:

$$d_1 = \frac{0,5C(1 - g / C)^2}{1 - [\min(1, X)g / C]} \quad (6)$$

Outra possibilidade para o cálculo deste atraso consiste no cálculo da área do polígono que é originado pela variação do número de veículos na fila ao longo do tempo de ciclo, em função da variação dos débitos de chegada e de partida ao longo do mesmo, e considerando também o valor inicial de carros presentes na fila no início do tempo de verde. O polígono obtido no final do ciclo é calculado com a decomposição deste em trapézios ou triângulos, os quais são mais facilmente calculáveis e que devem ser somados no final para obtermos o total do atraso verificado ao longo do ciclo (Figura 8).

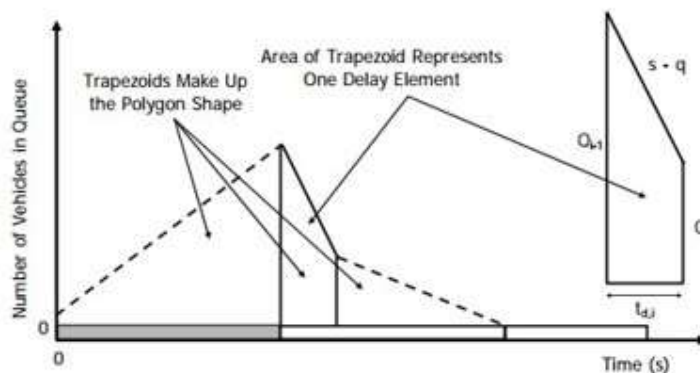


Figura 9 – Decomposição da fila em polígonos de acumulação (HCM)

Cada um dos elementos a ser calculado, seja ele trapézio ou triângulo, deve em todo o caso respeitar a condição de que nesse intervalo, representado em segundos no eixo das abcissas, os débitos tanto de chegada como de partida devem ser constantes. Verificando o número de carros, previamente existente na fila no eixo das ordenadas, é assim possível obter, para cada período em que os débitos sejam constantes, o tamanho final da fila existente.

$$Q_i = Q_{i-1} - (s/3600 - q/N), t_{d,i} \geq 0,0 \quad (7)$$

Onde:

Q_i - Tamanho final da fila no intervalo i (veic)

q - Débito de chegadas constante verificado no intervalo = $v/3600$ (veic/s)

$t_{d,i}$ - Duração do intervalo durante o qual os débitos são constantes (s)

No cálculo do atraso através desta metodologia, todos os valores de débito utilizados devem estar convertidos em veículos por segundo e por via, assumindo-se também que, no caso de o débito exceder a capacidade da via, se deverá adotar um valor igual à capacidade da mesma. Sempre que exista uma mudança do valor dos débitos, um novo intervalo deverá ser iniciado e, no qual durante a sua duração estes se mantenham constantes, partindo sempre do valor anteriormente obtido para o número de veículos na fila, podendo este ser inclusive igual a zero.

O atraso incremental (d_2) por outro lado tem como objetivo quantificar o atraso, devido à variação aleatória que se verifica ao longo do tempo do número de veículos que efetuam a sua chegada à interseção em cada um dos ciclos, bem como, o aumento do atraso, quando se verifica que a procura excede a capacidade durante o período de análise e onde se assume que esta mesma procura não é servida.

$$d_2 = 900T \left[(X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{8kIX_A}{c_A T}} \right] \quad (8)$$

Sendo $X_A = v/c_A$

Onde:

X_A - Média do grau de saturação

T - Período de Análise (s)

I - Ajustamento devido à formação de pelotões

O recurso a um parâmetro, k , ao qual se dá a designação de fator de atraso incremental, tem como pressuposto a consideração da tipologia de controlo existente na interseção para o atraso, em função da sua funcionalidade, podendo variar entre 0.04 e 0.5 quando estamos perante interseções pré-

temporizadas. No caso de o sistema de controlo ser atuado, o valor de K deverá ser calculado segundo as indicações presentes no HCM 2010 (18-41) Capítulo 18.

Como último parâmetro para o cálculo do atraso, o atraso inicial da fila, (d_3), contabiliza a existência ou não de fila inicial na interseção, sendo que, no caso de não se verificar a existência de fila inicial em nenhum dos grupos de vias da interseção, este parâmetro assume o valor de 0. Caso contrário, deverá ser calculado da seguinte forma:

$$d_3 = \frac{3600}{vT} \left(t_A \frac{Q_b + Q_e + Q_{e_0}}{2} + \frac{Q_e^2 - Q_{e_0}^2}{2c_A} - \frac{Q_b^2}{2c_A} \right) \quad (9)$$

Sendo: $Q_e = Q_b + t_A(v - c_A)$

Se $v \geq c_A$, temos que:

$$Q_{e_0} = T(v - c_A) \quad (10)$$

$$t_A = T \quad (11)$$

Se $v < c_A$, temos que:

$$Q_{e_0} = 0.0 \text{ veic} \quad (12)$$

$$t_A = \frac{Q_b}{(c_A - v)} \leq T \quad (13)$$

Onde:

t_A – Duração ajustada da procura não escoada no período em análise (h)

Q_e – Tamanho da fila no final do período de análise (veic)

Q_{e_0} – Tamanho da fila no final do período de análise quando $v \geq c_A$ e $Q_b = 0.0$ (veic)

Ainda para o estudo deste parâmetro, mas segundo Webster, é possível calcular o valor do atraso verificado através da equação seguinte, onde são considerados o atraso quando a chegada de tráfego à

interseção é uniforme; a variação existente, no que diz respeito à chegada de veículos; e um fator corretivo que permite, de uma forma mais assertiva, determinar o atraso para todos os débitos:

$$d = \frac{c(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65 \left(\frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)} \quad (14)$$

Onde:

d – Média do atraso de um determinado grupo de vias na interseção por veículo (s/veic)

c – Tempo do ciclo (s)

q – Débito de chegada dos veículos (veic/s)

λ – Proporção de verde efetivo

x – Grau de saturação

Com a utilização destes diversos parâmetros, é possível, recorrendo a esta equação, determinar o atraso sentido por veículos que cheguem à interseção em análise de forma aleatória.

Uma outra abordagem, levada a cabo por Rahmi Akçelik, refere que o atraso nada mais é do que a diferença verificada no tempo de realização de um trajeto, em que não existam quaisquer interrupções desde o ponto de partida até ao ponto de chegada, quando comparada com uma viagem em que se verifique a ocorrência de um qualquer tipo de interrupção [8][11].

É assim necessário considerar cada veículo como um caso isolado, bem como os fatores que influenciam o atraso que este sofre ao longo da viagem que pretende realizar. Nesse sentido, são tidos em linha de conta fatores como a existência de filas estacionárias ao longo do percurso nas quais o veículo poderá ficar retido, bem como todas as situações de aceleração ou desaceleração, que se verificam ao longo do percurso e que não permitam uma velocidade constante ao longo do mesmo.

Fatores como o comprimento de fila (Figura 9) e o número de paragens, juntamente com a capacidade e o grau de saturação, são assim fundamentais para a caracterização deste atraso, assim como para avaliar a eficiência das interseções, uma vez que a análise destas medidas de desempenho permite-nos perceber a partir de que valores a eficiência, destes pontos de passagem, se tornam mais problemáticos.

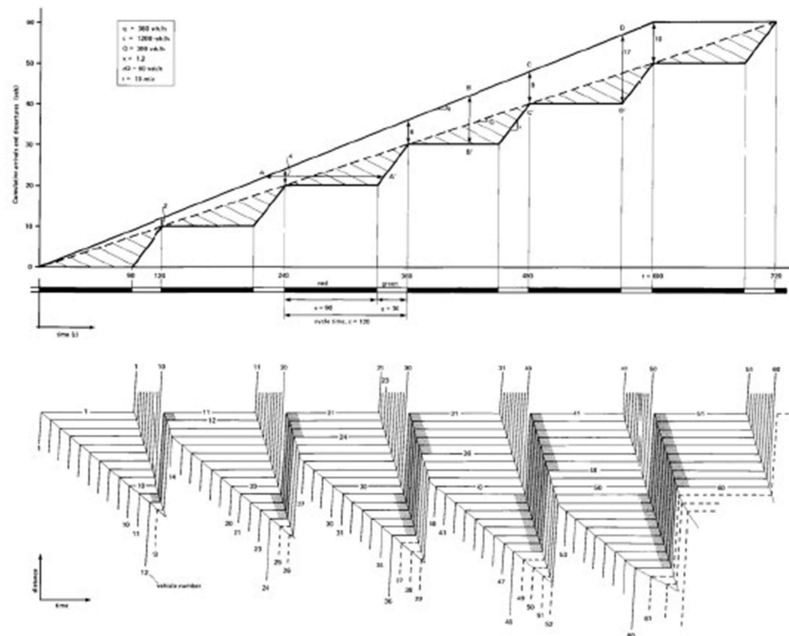


Figura 10 – Modelo determinístico para ciclos sobressaturados (Akçelik)

Dentro destes fatores, o grau de saturação tem particular relevo, pois, quando este ultrapassa o valor de 0.8, se assiste a uma degradação da qualidade de serviço prestado na interseção com prejuízo para os utilizadores, podendo inclusive servir para classificar o serviço prestado.

Na análise a uma interseção isolada, Akçelik apresenta fórmulas que visam permitir o cálculo destas medidas de desempenho, em casos em que a sinalização se rege por tempo fixo previamente estabelecido.

Dentro das variáveis consideradas para o cálculo do atraso, existe, segundo Akçelik, a necessidade de dividir o seu estudo em duas componentes distintas. A primeira refere-se ao atraso uniforme, onde se contabiliza apenas o atraso verificado devido ao tempo de vermelho existente na interseção, e onde se considera que as chegadas são uniformes.

A segunda procura considerar a existência de filas residuais de veículos que não foram escoados na interseção, durante o período de verde que antecedeu a chegada do veículo e que afetará de forma negativa o atraso verificado pelo mesmo na realização da sua viagem.

Nos casos em que se verifica que o tempo de verde não foi suficiente para escoar toda a fila previamente existente, passamos a estar numa situação de sobressaturação que poderá ocorrer e manter-se durante apenas alguns ciclos ou por um maior período de tempo, dependendo do grau de saturação verificado (Figura 10).

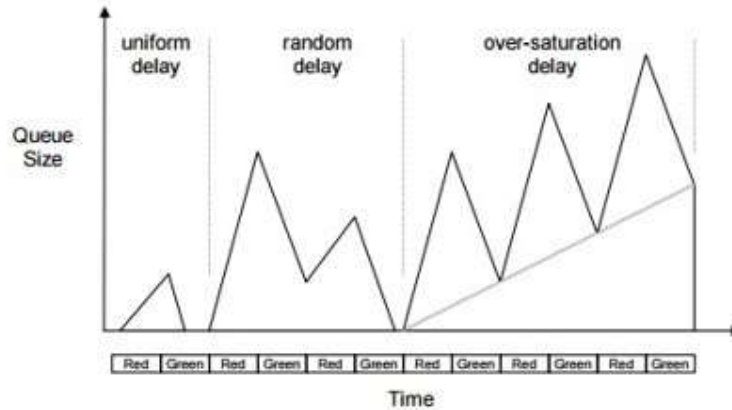


Figura 11 – Tipologias de atraso e comprimento de fila de espera (Akçelik)

Desta forma, veículos que se encontrem previamente presentes na fila e que tenham ficado retidos na fila e que tenham ficado retidos na interseção, após um período de verde, irão originar um aumento do atraso aos veículos que, entretanto, cheguem à interseção, sendo que a situação apenas se irá regularizar quando, durante alguns ciclos, a média do débito de chegadas for significativamente inferior ao débito de partidas.

Nos casos em que os débitos de saturação se aproximam do valor da capacidade, as oscilações verificadas no débito de chegadas tendem a ver a sua importância aumentada, na medida em que podem provocar grandes atrasos associados a grandes filas e a um aumento do número de paragens.

Para determinar a média da fila de sobressaturação, é assim utilizada a seguinte expressão mediante a interseção se encontrar num regime de subsaturação ou sobressaturação:

$$N_0 = \begin{cases} \frac{QT_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x - x_0)}{QT_f}} \right), & x < x_0 \\ 0, & x > x_0 \end{cases} \quad (15)$$

Onde:

N_0 – Média da fila de sobressaturação do grupo de vias (veic)

Q – Capacidade (veic/h)

T_f – Período de ponta, no qual se mantém a média do tempo de chegadas, q

QT_f – Número máximo de veículos que efetuam partida durante T_f

x – Grau de saturação

$z = x - 1$ Negativo para graus de saturação inferiores a 1

$x_0 = 0,67 + \frac{sg}{600}$ sendo s o débito de saturação e g o tempo de verde efetivo

Assumindo como comprimento da fila de espera a quantidade de veículos que se encontram parados imediatamente antes do início do período de verde, a sua média é obtida através da seguinte equação:

$$N = qr + N_0 \quad (16)$$

Onde:

N - Média da fila de espera

qr - Quantidade de veículos que chegaram durante o tempo de vermelho (q -débito de chegadas e r -tempo efetivo de vermelho)

N_0 - Média da fila sobressaturada (27)

Atendendo a que o ponto de paragem dos veículos, que se juntam à fila previamente existente, muitas vezes não coincide com a linha de paragem, é possível que a fila tenha um comprimento superior, denominado comprimento máximo da fila, que corresponde à média de veículos parados por ciclo, sendo calculado da seguinte forma:

$$N_m = \frac{qr}{1 - y} + N_0 \quad (17)$$

Onde:

N_m - Comprimento máximo da fila

y - Índice de carga

Como índice de carga, y , assume-se a razão entre o débito de chegadas da corrente de tráfego que avança num dada fase e o correspondente débito de saturação para o mesmo período.

Neste conceito em específico de comprimento de fila de espera, é ainda necessário considerar que a fila máxima é atingida muitas vezes quando alguns dos veículos à frente dessa posição já se encontram em movimento, pelo que este valor de fila máxima é obtido quando todos os veículos à frente deste ponto já se encontrem em movimento.

À semelhança de outras metodologias, também Akçelik desenvolveu a sua própria forma de determinar o atraso, sendo neste caso denominado de atraso total, onde o seu valor se refere a uma viagem realizada num trajeto onde exista sinalização isolada com tempo fixo.

A determinação do valor para o atraso total é realizada da seguinte forma:

$$D = \frac{qc(1 - u)^2}{2(1 - y)} + N_0x \quad (18)$$

Onde:

D - Atraso total (veic)

qc - Número médio de chegadas por ciclo (q - débito e c - duração)

u - Razão do tempo de verde

y - Índice de carga

N_0 - Média da fila sobressaturada (27)

Após este cálculo inicial, é possível, sabendo o débito verificado, obter a média de atraso por cada veículo, sendo este valor obtido em segundos:

$$d = \frac{D}{q} \quad (19)$$

Onde:

d - Média de atraso por veículo (s)

D - Atraso total (veic)

q - Débito (veic/s)

3.4.1.3 - Paragens (h)

Outro dos parâmetros levados em linha de conta é a taxa de paragem dos veículos. Este valor, admitindo um fator de redução de 0,9 onde se contemplam as paragens parciais dos veículos nas situações em que estes não ficam completamente imobilizados mas, ainda assim, reduzem a sua velocidade, é possível de ser obtido através da seguinte expressão:

$$h = 0,9 \left(\frac{1 - u}{1 - y} + \frac{N_0}{qc} \right) \quad (20)$$

Onde:

h - Taxa de paragem

qc - Número médio de chegadas por ciclo (q - débito e c - duração)

u - Razão do tempo de verde

y - Índice de carga

N_0 - Média da fila sobressaturada referida em 3.3.3

Esta equação tem em consideração a quantidade de veículos que param, independentemente de o fazerem por mais do que uma vez, representada no primeiro termo, bem como as paragens múltiplas quando os veículos se encontram a circular aquando da ocorrência de ciclos sobressaturados,

contemplado no segundo termo da equação, sendo que um veículo poderá estar confinado na fila de espera por mais do que um ciclo.

Quando se verifica a ocorrência de elevados graus de saturação, é verificado um aumento exponencial do valor da taxa de paragem, nomeadamente após o grau de saturação ultrapassar a barreira dos 0.8, no que diz respeito ao rácio entre o fluxo real e o fluxo máximo suportado pela interseção.

Considerando-se o débito verificado em veículos por hora, é assim possível calcular o número de paragens completas realizadas por unidade de tempo em função da taxa de paragem, recorrendo à seguinte expressão:

$$H = qh \quad (21)$$

Onde:

H - Número de paragens completas

q - Débito (veic/h)

h - Taxa de paragem

Assumindo que a partida dos veículos é condicionada pelo débito de saturação existente, e pelo tempo de verde que efetivamente está disponível para aquele movimento, chegamos à conclusão que a capacidade pode ser obtida da seguinte forma,

$$Q = s \left(\frac{g}{c} \right) \quad (22)$$

Onde:

Q - Capacidade

s - Débito de saturação

$\frac{g}{c}$ - Tempo de verde efetivo, u

Na estimação da saturação, é necessário a determinação de dois elementos, cujo rácio designamos por Grau de Saturação. Nesse sentido e começando por definir a procura que um determinado movimento tem, recorreremos ao parâmetro designado por índice de carga, y , que não é mais do que a razão entre o débito de chegadas, q , e o débito de saturação, s .

$$y = \frac{q}{s} \quad (23)$$

Após essa consideração e estabelecendo que essa procura tem um determinado intervalo no qual pode ser escoada, que consideramos como sendo o tempo de verde efetivo, concluímos que o Grau de Saturação

pode ser expresso da seguinte forma:

$$x = \frac{q}{Q} = \frac{ys}{s\left(\frac{g}{c}\right)} = \frac{y}{u} \quad (24)$$

Embora nas três metodologias analisadas previamente, sejam significativas as diferenças em termos dos indicadores a avaliar, para qualificar o desempenho de uma dada interseção, é possível concluir que em todos eles, o débito de saturação apresenta-se como sendo um fator de particular relevo, uma vez que serve de base à análise a realizar.

Nesse sentido, o débito de saturação é então determinante para o estudo de uma dada interseção, sendo condicionado por vários fatores de ajustamento, diferentes nas várias metodologias, que procuram afetar o seu valor, em função das características geométricas ou da composição da corrente de tráfego verificadas.

3.4. DÉBITO DE SATURAÇÃO

No que respeita ao débito de saturação, este é influenciado mediante o tipo de grupo indicado no ponto anterior. Caso um movimento de viragem seja realizado com o recurso a uma ou mais vias exclusivas e no caso de não existirem vias partilhadas, o débito de saturação associado a esses movimentos deve ser atribuído ao grupo de movimentos.

Em situações em que não existam vias partilhadas na interseção ou na aproximação da mesma, o número de vias será igual ao número de movimentos pelo que, neste caso, o débito de saturação calculado será igual para o grupo de vias e para o grupo de movimentos.

Se, por outro lado, se verificar a existência de vias partilhadas na interseção ou na aproximação da mesma e se existirem duas ou mais vias, o débito de saturação será calculado de uma forma distinta. Recorrendo-se à metodologia indicada no HCM para esta situação específica, são considerados novos fatores como o facto de os utilizadores optarem por recorrer à via que lhes minimize o tempo de utilização da interseção, recorrendo para isso à relação entre o volume e o débito de saturação de cada uma das possíveis vias que possam utilizar.

3.4.1. METODOLOGIA HCM

Com o objetivo de obter o correto valor para o débito de saturação, é determinado o valor para cada via especificamente ou para cada grupo de vias, recorrendo-se a vários fatores de ajustamento, que ao serem aplicados ao valor base do débito de saturação em função das características da própria interseção, permitem obter um valor mais real.

Para a estimação desse valor e, recorrendo ao débito de saturação base, s_0 , é utilizada a seguinte equação na qual se identificam vários fatores de ajustamento, como explicado anteriormente:

$$s = s_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (25)$$

Onde:

s – Débito de saturação

s_0 – Débito de saturação base

f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via

f_{HV} – Fator de ajustamento devido aos veículos pesados presentes na corrente de tráfego

f_g – Fator de ajustamento devido ao declive

f_p – Fator de ajustamento devido à existência de via para estacionamento e manobras de estacionamento

f_{bb} – Fator de ajustamento devido ao bloqueio provocado pela existência de paragens de autocarro

f_a – Fator de ajustamento devido ao tipo de área envolvente

f_{LU} – Fator de ajustamento devido à utilização da via

f_{LT} – Fator de ajustamento devido à viragem à esquerda num grupo de vias

f_{RT} – Fator de ajustamento devido à viragem à direita num grupo de vias

f_{Lpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à esquerda

f_{Rpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à direita

De uma forma generalizada, os fatores de ajustamento procuram adequar o valor obtido no débito de saturação de base em função das características da interseção, seja em termos das suas características físicas ou das condicionantes ali existentes e que afetem o seu funcionamento.

Por débito de saturação base entende-se o débito médio do tráfego num movimento em frente e que é expectável obter, quando todos os fatores de ajustamento referentes à geometria da interseção e ao tráfego assumam o valor de 1. O débito de saturação base varia no caso de o movimento ser de viragem à esquerda ou à direita, sendo que para o movimento em frente se assumirá um valor de 1900, correspondente ao número de unidades de veículos ligeiros por hora (uvl/h).

3.4.1.1 – Fatores de ajustamento

Para uma melhor aproximação ao débito de saturação verificado nas interseções é necessário recorrer, assim, a diversos fatores de ajustamento que têm como objetivo influenciar o valor obtido para o débito de saturação em função das condicionantes verificadas na interseção em estudo.

3.4.1.1.1 – Largura da Via (f_w)

Este fator tem como objetivo, refletir no débito de saturação base o impacto que a geometria da via tem no tráfego automóvel, sendo este favorável no caso de a via possuir mais de 3,93 m de largura, com o valor do multiplicador a ser de 1,04, e desfavorável caso a via seja estreita com uma largura inferior a 3,05 m, sendo neste caso o multiplicador 0,96. Se a largura da via estiver entre os dois valores indicados, o fator de ajustamento terá o valor de 1.

Tabela 3 – Fator de ajustamento devido à largura da via (HCM)

Largura média (m)	f_w
< 3.05	0.96
[3.05;3.93]	1
> 3.93	1.04

3.4.1.1.2 – Presença de veículos pesados (f_{HV})

Atendendo a que a presença de veículos pesados acarreta a necessidade de espaço adicional quando comparado com o espaço necessário para os veículos ligeiros e que a manobralidade de cada um destes veículos é distinta, é necessário aplicar um fator de ajustamento que permita uma perceção mais aproximada do impacto que a presença de veículos pesados na corrente de tráfego tem na circulação do tráfego automóvel nas interseções.

De modo a considerar este fator, é aplicada a seguinte equação, onde se considera a percentagem de veículos pesados (P_{HV}), por grupo de movimento correspondente, bem como o número equivalente (E_T) de veículos ligeiros que conseguem completar o movimento em frente comparativamente a cada veículo pesado, sendo este valor considerado igual a 2.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (26)$$

3.4.1.1.3 – Declive das aproximações (f_g)

Relativamente ao declive das vias de acesso à interseção, estes têm particular relevo no desempenho dos veículos na sua passagem ou arranque consoante a situação a que se encontrem sujeitos. Com efeito, um declive com percentagem negativa corresponderá a um declive onde a via se encontre com uma pendente descendente. Ao passo que um valor positivo para o declive corresponde a uma via com um declive ascendente no sentido da aproximação à interseção. Na equação seguinte, o valor de P_g , refere-se ao declive associado ao movimento de grupo correspondente e é inserido percentualmente.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (27)$$

3.4.1.1.4 - Fator de ajustamento devido ao estacionamento (f_p)

No caso em que se verifique a existência de estacionamento longitudinal numa das vias, é necessário considerar as implicações que podem estar associadas ao mesmo relativamente ao impacto que possa existir no débito de saturação das vias adjacentes.

Deve notar-se que, embora possa ser constatada a inexistência de manobras de estacionamento, o valor a ser considerado para este fator de ajustamento é diferente quando comparado com situações onde não exista estacionamento longitudinal em nenhuma via, quando se atribui o valor de 1 a este fator.

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \quad (28)$$

Onde:

N – Número de vias no grupo de vias

N_m - Taxa de manobras de estacionamento adjacentes ao grupo de vias

Na ponderação deste fator de ajustamento, é assumido que cada movimento de estacionamento, seja de entrada ou saída, cria um atraso na circulação automóvel com um valor médio de 18 segundos na via de circulação adjacente, sendo importante ter em atenção que o valor para a Taxa de manobras deve ser estimado para uma hora, 3600 segundos.

3.4.1.1.5 - Bloqueio por Autocarro (f_{bb})

Considerando a proximidade de paragens de autocarros junto à interseção, torna-se necessário utilizar um fator que permite ter em conta o impacto que a paragem destes veículos provoca na via a uma distância de até 76,2 metros da localização da paragem.

Para tal, é utilizada a seguinte expressão, onde é assumido um valor de 14,4 segundos para o tempo de bloqueio que a paragem provoca num período de verde.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4N_b}{3600}}{N} \quad (29)$$

Onde:

N – Número de vias no grupo de vias

N_b – Taxa de autocarros na interseção (autocarros/h)

3.4.1.1.6 - Tipologia da área da interseção (f_a)

Outros fatores a serem considerados na avaliação das interseções relacionam-se com a tipologia da mesma, uma vez que a geometria por si só ou associada ao tráfego de peões, pode originar uma ineficiência da interseção onde se verifica um aumento do tempo entre veículos, assumindo-se nesse caso o valor de 0,90 para este fator.

3.4.1.1.7 - Utilização da via (f_{LU})

Este fator de ajustamento prende-se com a necessidade de verificar a existência ou não de mais do que uma via exclusiva na estimação do débito de saturação. Nos casos em que o grupo de vias em análise possua uma via partilhada ou apenas uma via exclusiva, este fator é considerado com o valor de 1.

3.4.1.1.8 - Tipo de viragem (f_{RT} e f_{LT})

De modo a refletir o efeito que a geometria descrita no movimento de viragem à direita ou à esquerda tem no débito de saturação, é necessário recorrer às seguintes equações, onde se considera o número equivalente de carros, que circulariam em frente, em função do número de carros que virariam à direita ($E_R = 1.18$) ou à esquerda ($E_L = 1.05$), quando este movimento é protegido:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad (30)$$

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad (31)$$

No caso de o movimento de viragem ser realizado numa via partilhada com outro movimento ou nos casos em que se verifique a existência de conflito, o procedimento a adotar para a consideração deste fator deverá ser o indicado no HCM (capítulo 31), onde se aborda o ajustamento do débito de saturação para o grupo de vias em questão.

3.4.1.1.9 - Existência de peões e velocípedes (f_{Lpb} e f_{Rpb})

Da mesma forma, como anteriormente foi abordada a necessidade de efetuar um ajustamento em função do tipo de viragem para o tráfego existente na interseção, é também necessário considerar a presença de peões e/ou velocípedes na mesma, recorrendo-se para esse efeito ao conceito de zona de conflito em termos de ocupação.

Para o cálculo específico dos valores relativos, o ajustamento das viragens tanto à esquerda como à direita, f_{Lpb} e f_{Rpb} , é necessário recorrer à metodologia indicada no HCM (capítulo 31). Em virtude das condicionantes encontradas na realização deste relatório e por simplificação, a este fator foi atribuído o valor de 1.

3.4.2. METODOLOGIA WEBSTER

Na aplicação da metodologia de Webster, é necessário proceder à estimação do débito de saturação teórico, assumindo-se para tal que este é influenciado pelos diversos fatores que são mensuráveis na interseção, sejam eles fatores associados à geometria ou fatores associados à circulação. A consideração destes fatores, assim como a preponderância que é conferida a cada um deles, é de vital importância, já que se pretende que os valores obtidos se aproximem o mais possível da realidade na medida em que estamos a falar de previsões.

A estimação do débito de saturação é feita para cada uma das vias em análise de forma isolada, admitindo-se que no caso de a corrente de tráfego utilizar mais do que uma via, o valor a ser considerado corresponderá à soma dos valores atribuídos a cada uma das vias.

Assim como verificado no HCM, também a metodologia de Webster recorre a fatores de ajustamento que visam auferir maior veracidade ao valor estimado inicialmente para o débito de saturação, em função apenas das características geométricas e de circulação, quando estas não sejam totalmente satisfeitas.

Dentro destes fatores de ajustamento devem ainda ser consideradas, de forma diferenciada, as correntes de tráfego em que a circulação seja feita com ou sem oposição, sendo esta designação atribuída mediante a prioridade que a corrente de tráfego tenha ou não relativamente a outras correntes de tráfego. Ainda dentro de cada um destes grupos, é possível considerar a exclusividade da via em função do número de movimentos de veículos, sendo a exclusividade verificada na existência de apenas um movimento.

Assumindo que o valor inicial para o débito de saturação teórico é de 1900 unidades de veículos ligeiros por hora, é necessário para a utilização deste exato valor que as seguintes condições sejam verificadas:

- Via exclusiva para movimento em frente sem oposição;
- Perfil longitudinal da via em patamar;
- Corrente de tráfego constituída apenas por veículos ligeiros;
- Largura da via igual a 3,3 metros numa extensão que permita a constante partida de veículos;
- Localização do cruzamento numa zona de características médias e com a via afastada do passeio.

A partir deste valor inicial e em função das características verificadas, o débito de saturação (s) é calculado da seguinte forma:

$$s = 1900 f_w f_i f_z f_p f_t f_d \quad (32)$$

Onde:

f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via;

f_i – Fator de ajustamento devido ao declive da via;

f_z – Fator de ajustamento devido à localização do cruzamento;

f_p – Fator de ajustamento devido à localização da via;

f_t – Fator de ajustamento devido à composição da corrente de tráfego;

f_d – Fator de ajustamento devido a mudança de direção.

3.4.2.1 – Fatores de Ajustamento

Assumindo que cada interseção terá as suas características específicas, será então importante ajustar o valor do débito de saturação em função das mesmas, convertendo-os em fatores de ajustamento que serão multiplicados junto ao valor de base, para que se obtenha um valor mais próximo da realidade.

3.4.2.1.1 - Largura da Via (f_w)

Sendo uma das condicionantes de fácil análise, recorrendo a uma rápida medição no local, as dimensões da via, nomeadamente a sua largura (w), é um dos fatores com maior preponderância no que diz respeito à sua influência no débito de saturação.

Sendo o valor padrão de 3,3 metros, no caso de a largura ser superior a este valor é assumido que, qualquer aumento da largura com valor de 1 metro, acarreta um aumento de 100 uvl/h quando se fala do débito de saturação, sendo este valor de 200 uvl/h quando o aumento de 1 metro ocorre em vias que possuem inicialmente uma largura inferior aos 3,3 metros.

O cálculo deste fator recorre assim às seguintes equações para cada um dos casos:

$$f_w = \begin{cases} 0,105w + 0,653 & 2.5 < w < 3,3 \\ 0,053w + 0,826 & 3.3 < w < 5.0 \end{cases} \quad (33)$$

Onde:

w – Largura da via (m)

3.4.2.1.2 - Declive da Via (f_i)

Mediante a via em análise se encontre com sentido ascendente ou descendente, o declive da via afeta o valor do débito de saturação de forma negativa ou positiva, uma vez que será prejudicial ou benéfica para a partida dos veículos. Desta forma, cada variação de 1% no declive verificado na via, origina uma variação de 2% no débito de saturação.

A seguinte fórmula permite calcular o fator de ajustamento, onde i representa o declive de forma decimal e em que deverá ser positivo nas subidas e negativo nas descidas:

$$f_i = 1 - 2i \quad (34)$$

Onde:

i – Declive da via, positivo se ascendente, negativo se descendente.

3.4.2.1.3 - Localização do Cruzamento (f_z)

Do mesmo modo que as características geométricas da própria via têm uma influência direta no débito de saturação, também a localização da interseção condiciona o seu valor. Fatores como a visibilidade; a presença de peões; a existência de entrada e saída de passageiros em meio de transporte, como autocarros ou táxis; bem como a existência de manobras de estacionamento têm o seu impacto no débito de saturação verificado na interseção.

Uma vez que classificar cada uma destas variáveis implicaria o seu isolamento, optou-se por agrupar todas estas condicionantes como um todo e classificar a localização da interseção em função das

características verificadas, atribuindo posteriormente valores para o fator de ajustamento para cada uma das classes.

- Classe A – Zona Residencial ou suburbana, onde a visibilidade é boa, sendo nulas ou reduzidas as restrições à liberdade de manobra dos condutores provocadas pela presença de peões, rotatividade do estacionamento ou paragens de autocarros. $f_z = 1,1$
- Classe B – Zona de características médias onde as perturbações, à partida, dos veículos são moderadas. $f_z = 1,0$
- Classe C – Zonas centrais em que, quer as múltiplas manobras de estacionamento, paragem para a entrada e saída de passageiros, quer o elevado volume de peões, bem como as operações de carga e descarga têm um efeito sensível ao escoamento do tráfego. $f_z = 0,9$

Nas duas interseções que serão alvo de análise neste relatório, a classe atribuída foi a classe C, em virtude de observações realizadas na zona onde é possível verificar a existência de condicionalismos similares aos característicos desta classe.

3.4.2.1.4 - Localização da Via (f_p)

À semelhança das implicações que a localização do cruzamento tem no débito de saturação, também a própria posição da via, esteja ela junto ou não ao lancil do passeio, tem implicações no débito de saturação, adotando-se nestes casos o fator de ajustamento com o valor de $f_p = 0,95$, quando a via se encontra junto ao lancil, e de $f_p = 1$, nos casos em que as vias não estejam encostadas ao passeio.

3.4.2.1.5 - Composição da Corrente de Tráfego (f_t)

O cálculo do débito de saturação, assim como o seu valor resultante, é feito em função do número de unidades de veículos ligeiros por hora. No entanto, a corrente não é apenas composta por veículos ligeiros, pelo que é necessário considerar a existência de veículos de outra tipologia e, desse modo, encontrar forma de converter estes no seu equivalente de veículos ligeiros. Ou seja, é necessária a utilização de coeficientes de equivalência para cada classe que represente o número de veículos ligeiros, que, nas mesmas condições, produzam o mesmo efeito na partida dos veículos que um determinado veículo dessa classe produziria.

Para tal, recorreremos à seguinte fórmula que deverá ser aplicada, utilizando os valores da tabela que se encontra de seguida:

$$f_t = \frac{1}{1 - \sum p_i + \sum p_i E_i} \quad (35)$$

Onde:

p_i – Proporção de veículos da classe i (com exceção de veículos ligeiros passageiros)

E_i – Coeficiente de equivalência para veículos da classe i (exceto ligeiros)

Tabela 4 – Coeficientes de equivalência (HCM)

Tipologia do veículo	Coeficiente de Equivalência (E_i)
Bicicleta	0.2
Veículo de duas rodas com motor	0.4
Veículo Comercial Médio	1.5
Veículo Comercial Pesado	2.3
Autocarro	2

3.4.2.1.6 - Mudança de Direção (f_d)

Quando existe por parte dos veículos uma mudança de direção, esta é acompanhada por uma redução da velocidade de circulação que, por si só, condiciona o débito de saturação verificado. Esse aspeto é tido em consideração através do respetivo fator de ajustamento, que encontramos com recurso da seguinte forma.

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{1,5}{r}} \quad (36)$$

Onde:

r – Valor do raio, em metros, da curva descrita na manobra de viragem

3.4.3. METODOLOGIA AKÇELIK

Segundo Akçelik, a determinação do débito de saturação pode ser realizada partindo de um valor inicial que depende da classe de localização da via e do tipo de movimento a que esta se destina e às condicionantes com que este se desenvolve.

Deste modo, são definidos os seguintes três tipos de movimento:

- Tipo 1 – Movimento exclusivo em frente
- Tipo 2 – Movimento exclusivo ou partilhado que inclua um movimento de viragem, sendo que geometricamente o raio deverá ter um valor adequado e onde não se verifique conflito com a presença de peões ou em que esta não tenha impacto significativo.
- Tipo 3 – Movimento de viragem exclusivo com a geometria, neste caso o raio, a ser demasiado pequeno e/ou com a presença de peões a ter um impacto significativo no movimento.

Quanto às classes, são hierarquizadas da seguinte forma:

Classe A – Condições gerais de circulação muito adequadas, com pouca interferência proveniente da geometria da interseção, da presença de peões ou de manobras associadas a paragens temporárias ou manobras de estacionamento;

Classe B – Condições adequadas, ainda que se verifique a alguma interferência na circulação por parte dos fatores mencionados anteriormente;

Classe C – Condições inadequadas, onde se constata que a composição da corrente de tráfego e o seu comportamento, a geometria da interseção e a presença de peões, afetam sobremaneira a normal circulação.

Através destes parâmetros foi possível obter o seguinte quadro:

Tabela 5 – Débito de Saturação de Base (Akçelik (1981))

Classe Localização	Tipologia da Via		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Classe A	1850	1810	1700
Classe B	1700	1670	1570
Classe C	1580	1550	1270

3.4.3.1. Fatores de Ajustamento

À semelhança das metodologias já abordadas, também Akçelik recorreu a fatores de ajustamento no cálculo do débito de saturação, s , de forma a refletir no débito de saturação de base, as características verificadas na interseção, através da seguinte expressão:

$$s = \left(\frac{f_w f_g}{f_c} \right) s_b \quad (37)$$

Onde:

s_b – Débito de saturação base;

f_w – Ajustamento devido à largura da via;

f_g – Ajustamento devido ao declive;

f_c – Ajustamento devido à composição do tráfego.

3.4.3.1.1. Largura da via (f_w)

Este fator é obtido após medição da largura da via no local, w , recorrendo posteriormente à expressão que se enquadre com o valor obtido, através de uma das três equações abaixo apresentadas.

$$f_w = \begin{cases} 1 & , se 3 \leq w < 3.7 \\ 0.55 + 0.14w & , se 2.4 \leq w < 3 \\ 0.83 + 0.05w & , se 4.6 \geq w > 3.7 \end{cases} \quad (38)$$

Onde:

w – Largura da via (m)

3.4.3.1.2. Declive (f_g)

Também o declive da via, G_r , deverá ser medido no local, para posterior consideração como fator de ajustamento, sendo que neste caso terá um impacto positivo caso a via tenha um declive negativo, correspondente a uma situação de descida, o que se assume como benéfico para o débito de saturação, assumindo por outro lado um impacto negativo no caso de estarmos perante uma subida.

$$f_g = 1 \pm 0,5 \left(\frac{G_r}{100} \right) \quad (39)$$

Onde:

G_r – Declive (%)

3.4.3.1.3. Composição corrente de tráfego (f_c)

O último fator de ajustamento refere-se à composição da corrente de tráfego e é utilizado para converter todo o tráfego presente em unidades de veículos ligeiros (uvl/h), mediante fatores de equivalência associados a veículos de diferentes classes e dependendo de os movimentos se realizarem com ou sem oposição.

$$f_c = \frac{\sum e_i q_i}{q} \quad (40)$$

4

CASO DE ESTUDO

4.1. INTERSEÇÕES EM ESTUDO

No presente trabalho, com o intuito de serem utilizados como casos de estudo, foram identificadas duas interseções, localizadas na Rua da Constituição, na cidade do Porto (Figura 12), para as quais foram recolhidos os dados para análise.



Figura 12 –Planta de Localização Rua da Constituição

Esta via efetua a ligação entre a Rua Carlos Malheiro Dias (a este) e a Rua de Pedro Hispano (a oeste), sendo nesse sentido uma referência no que diz respeito ao tráfego automóvel na cidade, uma vez que se situa próxima de pontos distintos de interesse e/ou geração/atarção de viagens. São exemplo: a Casa da Música, o Hospital da Prelada, a Liga Portuguesa de Futebol Profissional, a Casa da Saúde ou o Vitalis Park, conhecido anteriormente como Estádio da Constituição.

Como objeto de estudo, foi então considerado um troço desta rua, onde apenas se verifica a circulação automóvel no sentido este – oeste. Foram analisadas, de forma mais pormenorizada, as interseções da

Rua da Constituição com as ruas de Faria Guimarães e Antero de Quental (Figura 13), interseções que se caracterizam seguidamente. No troço em estudo inclui-se também a interseção com a Rua de São Brás e Rua do Cantor Zeca Afonso, situada entre as duas acima referidas, sendo que para esta não foram realizadas observações.

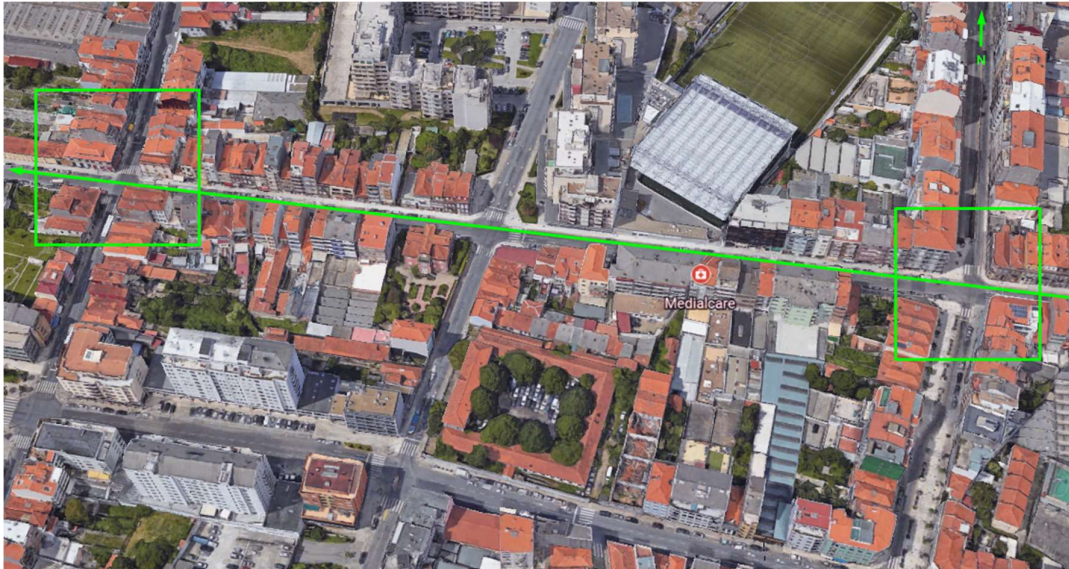


Figura 13 –Interseções analisadas

É ainda necessário referir que a recolha de dados foi efetuada em dois períodos distintos, diferenciados no tempo, entre os quais se verificou a execução de intervenções em ambas as interseções, razão pela qual foi considerada a possibilidade de comparação dos dados recolhidos, de forma a perceber o impacto das medidas implementadas. Nesse sentido, na análise a cada uma das interseções serão referidas as diferenças existentes antes e após as intervenções realizadas.

4.2. INTERSEÇÃO: RUA DA CONSTITUIÇÃO - FARIA GUIMARÃES

Sendo a Rua de Faria Guimarães uma rua em que a circulação apenas se realiza num sentido (sul-norte), nesta interseção o escoamento do tráfego automóvel é realizado pelas saídas norte e oeste e a chegada dos veículos efetuada pelas entradas sul, proveniente da Rua de Faria Guimarães, e este, proveniente da Rua da Constituição (Figura 14).



Figura 14 –Interseção em estudo

Em termos de gestão do tráfego automóvel, esta é feita com recurso a sinalização luminosa, sendo que será em função deste tipo de regulação que proceder-se-á à análise da interseção.

4.2.1. RUA DA CONSTITUIÇÃO – “ANTES”

Na situação verificada na situação antes da implementação de medidas físicas de controlo (Figura 15) foi verificada a existência de duas vias destinadas aos seguintes movimentos de veículos:

- Via da Esquerda – Movimento Exclusivo em Frente
- Via da Direita – Movimento em Frente ou de Viragem à Direita

Verificava-se ainda a existência, à esquerda, de lugares destinados a estacionamento até junto da linha de paragem e do lado direito a demarcação de um espaço entre o lancil do passeio e a via da direita, através de uma linha contínua limitando a ciclovia.



Figura 15 – Marcação de vias (Retirado de vídeo recolhido) Este espaço destinado à circulação de velocípedes possibilitava um uso abusivo desse local para estacionamento ilegal, paragem de veículos

comerciais para situações de cargas e descargas ou paragem de veículos particulares para entrada e saída de passageiros. Este fenómeno poderia estar relacionado com a existência de um estabelecimento de ensino (Colégio D. Duarte), situado junto à faixa de rodagem do lado direito.

4.2.2. RUA DA CONSTITUIÇÃO – “DEPOIS”

Com a intervenção realizada na interseção, ainda que do lado esquerdo da faixa de rodagem tenham sido mantidos os lugares de estacionamento, do lado direito foram colocadas balizas flexíveis com o objetivo de delimitar o espaço destinado a velocípedes (Figuras 16 a 18). Esta alteração diminuiu as situações de paragem abusivas que ocorriam anteriormente e,consequentemente, condicionavam a circulação automóvel, ao impossibilitar a utilização daquele espaço.



Figura 16 – Linha de paragem após intervenção (Foto própria)



Figura 17 – Via destinada a velocípedes (Foto própria)



Figura 18 – Pormenor saída Colégio D. Duarte – Barreiras de Proteção (Foto própria)

4.2.3. RUA DE FARIA GUIMARÃES

A Rua de Faria Guimarães é constituída por uma faixa de rodagem composta por uma única via, onde do lado direito se verifica a existência de lugares destinados ao estacionamento de veículos (Figura 19).

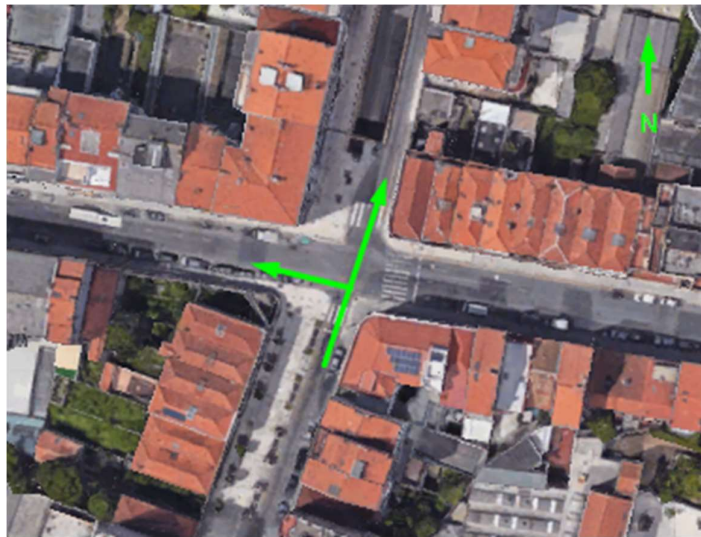


Figura 19 – Rua de Faria Guimarães – Sentido Sul-Norte

Chegando à interseção, a partir desta rua, é possível a saída pela Rua da Constituição, realizando viragem à esquerda, ou pela própria Rua de Faria Guimarães, no caso de ser efetuado o movimento em frente.

4.3. INTERSEÇÃO: RUA DA CONSTITUIÇÃO – RUA DE ANTERO DE QUINTAL

Ao contrário da situação anterior, nesta interseção existem três pontos de acesso e três pontos de saída, uma vez que a Rua de Antero de Quintal possibilita a circulação automóvel nos dois sentidos. Desta forma, a chegada de veículos é realizada pelas entradas norte, sul e este, ao passo que o escoamento de saída se processa pelas saídas norte, sul e oeste. Em termos da gestão do tráfego automóvel, esta é também realizada através de sinalização luminosa.

4.3.1. RUA DA CONSTITUIÇÃO – “ANTES”

Aquando da realização da primeira recolha de dados, era possível verificar a existência de três vias, destinadas aos seguintes movimentos:

- Via Esquerda – Movimento Exclusivo de Viragem à Esquerda
- Via Central – Movimento Exclusivo em Frente
- Via Direita – Movimento em Frente ou de Viragem à Direita



Figura 20 – Linha de paragem antes da intervenção (Google Earth)

Para além destas características, era ainda possível verificar a existência de lugares de estacionamento à esquerda, a sensivelmente 66 metros da linha de paragem, assim como, a existência de uma paragem de autocarro à mesma distância do lado direito.

Em termos de condicionantes à normal circulação automóvel, verificava-se a existência de estacionamento ilegal até à linha de paragem do lado esquerdo (cf. Fig.17), existindo do lado direito com bastante frequência paragens por parte de veículos comerciais para situações de carga e descarga; assim como estacionamento ilegal por parte de alguns utilizadores, ainda que por períodos de tempo mais curtos. As situações descritas impossibilitavam a normal utilização das três vias, circulando o tráfego automóvel apenas em duas vias delimitadas pela presença de veículos estacionados do lado esquerdo e condicionadas por eventuais paragens de veículos do lado direito.

4.3.2. RUA DA CONSTITUIÇÃO – “DEPOIS”

Após a intervenção foram materializadas as três vias a partir de uma distância de, sensivelmente, 15 metros até junto da linha de paragem com recurso a balizas reversíveis (Fig.21 e 22), impedindo, desta forma, o estacionamento junto ao lancil do passeio nesta zona delimitada e possibilitando, ao mesmo

tempo, a utilização das três vias de acesso à interseção, ainda que, eventualmente, de forma condicionada.



Figura 21 – Separação com recurso a balizas reversíveis (foto própria)



Figura 22 – Linha de paragem atualmente (foto própria)

4.3.3. RUA DE ANTERO DE QUENTAL

A Rua de Antero de Quental permite a circulação automóvel nos dois sentidos, visto que a chegada à interseção pelo lado sul é possível através de duas vias, sendo a esquerda destinada exclusivamente para viragem à esquerda, ao passo que a via da direita apenas permite o movimento em frente e, conseqüente, atravessamento da interseção. No entanto, esta rua possui uma única via de saída da interseção.

Do lado norte, verifica-se a chegada à interseção por uma única via, que permite movimento de viragem à direita ou movimento em frente, possuindo também uma única via de saída.

Dependendo, assim, da proveniência do veículo, é possível a saída da interseção pelos sentidos norte, sul e oeste (Fig.23).

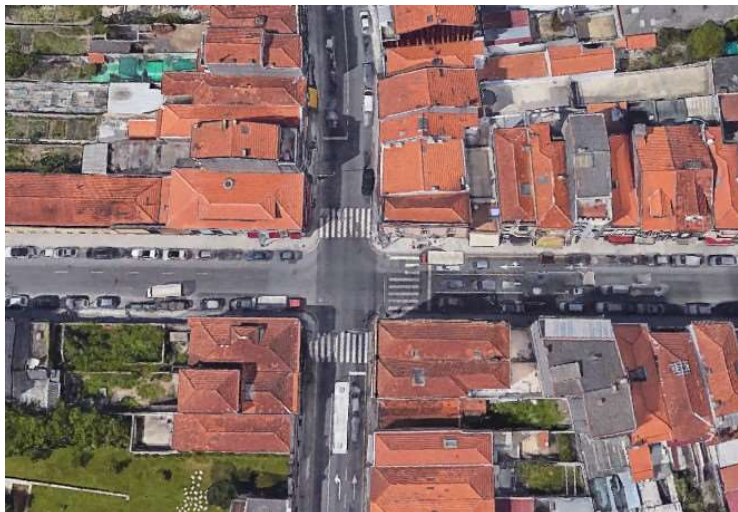


Figura 23 – Vista aérea (Google Earth)

4.4 RECOLHA DE DADOS

4.4.1 METODOLOGIA

De modo a estudar de uma forma mais pormenorizada as interseções anteriormente descritas, foram realizadas recolhas de imagens de vídeo em duas fases distintas [9]. Em ambas as fases, o material utilizado foi uma câmara fotográfica com a funcionalidade de captura de vídeo.

A primeira fase de recolha de dados ocorreu ainda antes da intervenção de que seria alvo a Rua da Constituição, sendo realizada a partir de um ponto único de filmagem, a uma distância de sensivelmente 70 metros da linha de paragem.

Esta distância foi mantida, de forma aproximada, nas duas interseções em estudo, isto é, com a Rua de Faria Guimarães e com a Rua de Antero de Quental.

Em termos do período de recolha, este ocorreu entre as 08:00 e as 09:00 da manhã, durante um período correspondente a 20 ciclos completos em cada uma das interseções, procurando-se desta forma, obter dados relativos a situações de maior afluência de tráfego automóvel (tabela 5).

Tabela 6 – Período de análise

Período	Recolhas por interseção	Duração
08:00 – 09:00	2	20 Ciclos

Para além deste processo, foram ainda realizadas medições no local ou através de imagens de satélite, das dimensões geométricas necessárias para a quantificação de fatores de ajustamento com influência

na caracterização das vias quer com o recurso à metodologia desenvolvida por Webster, quer para a utilização da metodologia descrita no Highway Capacity Manual (HCM) [6][7].

A segunda fase de recolha, foi realizada com os mesmos pressupostos que a primeira, com a particularidade de que a Rua da Constituição, em ambas as intersecções em análise, ter sido alvo de intervenções com o objetivo de melhorar a circulação automóvel nesse pontos específicos.

A recolha dos dados através da metodologia acima descrita, permitiu uma análise mais detalhada das duas intersecções e uma quantificação mais aproximada à realidade dos vários parâmetros pretendidos.

4.4.2. DADOS OBTIDOS

Após a recolha das imagens em formato de vídeo, procedeu-se à análise das mesmas com o objetivo de recolher dados com interesse para o estudo que se pretende realizar. Nesse sentido foram contabilizados os seguintes dados (Fig.24):

- Fila inicial em cada ciclo por via;
- Tempo de início de verde;
- Tempo de início de amarelo;
- Número de veículos que passam a linha de paragem nos primeiros dez segundos de verde;
- Número de veículos que passam a linha de paragem após os primeiros dez segundos e até ao fim de saturação;
- Número de veículos que passam a linha de paragem já depois do final do tempo de verde no caso do ciclo ser totalmente saturado;
- Número de manobras de estacionamento;
- Número de paragens de autocarro;
- Número de veículos pesados na corrente de tráfego.

Através da realização das medições geométricas no local das intersecções, apuraram-se, por sua vez, os seguintes dados:

- Largura de cada via;
- Raio da curva à esquerda ou à direita;
- Distância da paragem de autocarro à linha de paragem;
- Distância à linha de paragem de lugares de estacionamento;
- Distância à linha de paragem de local onde se verifica mudança do número de vias.

Através dos vários parâmetros acima mencionados foi possível determinar parâmetros essenciais à análise das intersecções como:

- Tempo de verde saturado;
- Tempo de verde total;
- Fatores de Ajustamento para o débito de saturação;
- Débito de Saturação.
- Informações relevantes para a inserção de dados do Software utilizado no estudo.

Antero Quental Antiga - ESQ																					
Ciclo	Válido	Veículos que partem (veic)									T. Verde Saturado	Tempo Verde	Fila Inicial	Ti	Tint	Tf	Verde Sat	Temp. Verm.	Temp. Ama	Tempo ciclo	
		Ti			Tint			Tf													
		Total	Esquerda	Frente	Total	Esquerda	Frente	Total	Esquerda	Frente											
1	1	3	2	1	4	2	2	1	0	1	18	30	7	3	4	1	9	66	3	99	
2	1	4	0	4	8	5	3	3	0	3	23	45	11	4	8	3	13	54	3	102	
3	1	4	1	3	8	5	3	3	0	3	32	32	11	4	8	3	22	65	3	100	
4	1	3	1	2	8	5	3	2	0	2	32	32	9	3	8	2	22	65	3	100	
5	1	4	0	4	7	2	5	1	0	1	33	49	7	4	7	1	23	57	3	100	
6	1	4	1	3	8	4	4	0	0	0	25	32	10	4	8	0	15	65	3	100	
7	1	4	2	2	8	4	2	1	0	1	24	30	9	4	6	1	14	65	3	98	
8	1	4	1	3	5	2	3	4	1	3	33	30	8	4	5	4	12	65	3	98	
9	1	5	1	4	7	2	5	1	0	1	30	30	10	5	7	1	20	64	3	97	
10	1	4	0	4	8	3	5	1	0	1	27	27	11	4	8	1	17	65	3	95	
11	1	5	2	3	9	4	5	1	0	1	37	37	11	5	9	1	27	63	3	103	
12	1	3	0	3	7	1	6	0	0	0	27	32	7	3	7	0	17	55	3	90	
13	1	3	0	3	5	2	3	1	0	1	35	35	5	3	5	1	25	69	3	107	
14	1	4	0	4	5	3	2	1	0	1	32	32	11	4	5	1	22	65	3	100	
15	1	3	1	2	9	4	5	1	0	1	40	40	12	3	9	1	30	63	3	106	
16	1	3	1	2	8	2	4	1	0	1	32	32	10	3	6	1	22	65	3	100	
17	1	3	0	3	3	1	2	2	0	2	30	30	11	3	3	2	20	60	3	93	
18	1	3	1	2	6	2	4	2	0	2	27	27	12	3	6	2	17	59	3	89	
19	1	3	0	3	8	3	5	1	0	1	30	30	10	3	8	1	20	52	3	85	
20	1	3	1	2	1	0	1	1	0	1	19	19	3	3	1	1	9	52	3	74	

Figura 24 – Exemplo dados recolhidos

4.4.3. MATRIZES ORIGEM - DESTINO

Ainda na recolha de dados, foi possível o acesso às matrizes Origem – Destino, provenientes de um estudo previamente realizado onde se incluía o troço em análise neste relatório (Fig.25). Este conteúdo, juntamente com a modelação da Rede em estudo no Software SATURN, de forma compatibilizar essa informação com os dados recolhidos, permitiu a obtenção de dados essenciais para a realização do estudo contido neste relatório [9].



Figura 25 – Rede considerada na obtenção das matrizes Origem – Destino (Google Earth)

Assim como já referido relativamente às matrizes, foram consideradas as fases dos ciclos de cada uma das interseções e os seus respetivos tempos, com base em estudos previamente realizados, sendo neste caso obtidos os valores relativos às interseções da Rua da Constituição com Rua de Faria Guimarães, Rua do Cantor Zeca Afonso/Rua de São Brás e Rua de Antero de Quental.

4.4.4. SOFTWARE DE ANÁLISE

Após a recolha dos dados já referidos, procedeu-se ao tratamento e análise dos mesmos. Para esse efeito, recorreu-se ao software SATURN, de modo a desenhar a rede em análise contemplando todos os fatores acima referidos [10].

Foi assim construída uma rede em que se verifica a existência de três interseções sequenciais da Rua da

Constituição, para as quais foram definidos diversos parâmetros consoante o conteúdo a analisar, resultando num total de 5 situações distintas, diferenciadas pelos valores obtidos para o débito de saturação.

Atendendo às características do próprio software, para o desenho da rede foi necessário considerar cada movimento independente, podendo no entanto estes coexistirem em casos de vias partilhadas, situação automaticamente ponderada pelo software.

4.4.5. CÁLCULO DÉBITO DE SATURAÇÃO

4.4.5.1. 1ª SITUAÇÃO: DÉBITO DE SATURAÇÃO TEÓRICO

Como ponto de partida para a análise a efetuar, foram definidos como débitos de saturação os seguintes valores para os diferentes tipos de movimento existentes na rede:

- Movimento em Frente – 1900 u.v.l.
- Viragem à esquerda – 1700 u.v.l.
- Viragem à direita – 1600 u.v.l.

Com base nestes valores, procedeu-se à configuração da rede e consequente associação da mesma às matrizes Origem – Destino anteriormente referidas, processo que se verificou de igual forma nas seguintes situações enumeradas.

4.4.5.2. 2ª SITUAÇÃO: DÉBITO DE SATURAÇÃO CORRIGIDO POR RECURSO AO HCM

Considerando a metodologia descrita no HCM, abordada no Capítulo 3 deste relatório, foram então calculados os fatores de ajustamento para o débito de saturação de base, tendo este o valor de 1900 u.v.l., valor que seria posteriormente corrigido em função das características geométricas de cada uma das interseções, bem como das condicionantes verificadas relativamente à tipologia do tráfego automóvel, ao comportamento dos utilizadores e à própria área envolvente.

- s_0 – Débito de saturação base
- f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via
- f_{HV} – Fator de ajustamento devido aos veículos pesados presentes na corrente de tráfego
- f_g – Fator de ajustamento devido ao declive
- f_p – Fator de ajustamento devido à existência de via para estacionamento e manobras de estacionamento
- f_{bb} – Fator de ajustamento devido ao bloqueio provocado pela existência de paragens de autocarro
- f_a – Fator de ajustamento devido ao tipo de área envolvente
- f_{LU} – Fator de ajustamento devido à utilização da via
- f_{LT} – Fator de ajustamento devido à viragem à esquerda num grupo de vias
- f_{RT} – Fator de ajustamento devido à viragem à direita num grupo de vias
- f_{Lpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à esquerda
- f_{Rpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à direita

4.4.5.3. 3ª SITUAÇÃO: DÉBITO DE SATURAÇÃO CORRIGIDO POR RECURSO À METODOLOGIA DE WEBSTER

À semelhança do ponto anterior, de modo a adotar a metodologia desenvolvida por Webster, foi necessário proceder ao cálculo dos diferentes fatores de ajustamento, para posterior afetação da rede. Nesse sentido, e utilizando à semelhança do ponto anterior o valor de base para o débito de saturação de 1900 u.v.l. foram obtidos os seguintes valores de ajustamento:

- f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via;
- f_i – Fator de ajustamento devido ao declive da via;
- f_z – Fator de ajustamento devido à localização do cruzamento;
- f_p – Fator de ajustamento devido à localização da via;
- f_t – Fator de ajustamento devido à composição da corrente de tráfego;
- f_d – Fator de ajustamento devido a mudança de direção.

4.4.5.4. 4ª SITUAÇÃO: DÉBITO DE SATURAÇÃO MEDIDO ANTES DA INTERVENÇÃO

Com recurso aos dados provenientes da recolha de imagens realizada, foi ainda possível a obtenção de outros valores para o débito de saturação, s , em virtude das contagens realizadas. Para tal foi utilizada a seguinte fórmula:

$$s = \frac{X_2}{X_4 - 10 \cdot n_4} \quad (41)$$

Onde:

X_2 – número de veículos que passam a linha de paragem após os primeiros 10 segundos do tempo de verde, até ao final de saturação da fila.

X_4 – tempo de verde saturado

n_4 – número de ciclos válidos

Refira-se a necessidade de uma conversão do valor obtido, uvl/s, para uvl/h, multiplicando-se o valor obtido por 3600, valor indicativo do número de segundos presentes no período de uma hora.

Na fórmula anterior, destaca-se a necessidade de uma seleção dentro dos dados recolhidos, uma vez que apenas se consideram válidos os dados referentes a ciclos, em que o tempo de verde saturado ultrapasse os 10 segundos iniciais, t_i (Fig. 26).

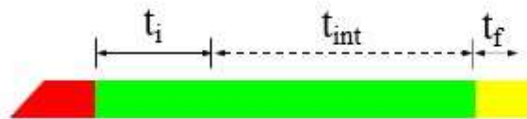


Figura 26 – tempos de ciclo (Apontamentos CT1)

Esta ponderação fez com que nas duas interseções em análise existisse uma grande discrepância entre o número de ciclos válidos para a obtenção dos valores para o débito de saturação [3].

4.4.5.5. 5ª SITUAÇÃO: DÉBITO DE SATURAÇÃO MEDIDO APÓS INTERVENÇÃO

Tal como na situação anteriormente descrita, foram utilizados os dados recolhidos através das filmagens realizadas nas interseções em análise. Nesse sentido a única diferença deve-se a que desta feita o cálculo do débito de saturação, foi realizado com recurso aos dados obtidos na segunda filmagem, já depois das intervenções de que foram alvo ambas as interseções.

Essa diferenciação, permitiu de uma forma imediata e ainda antes de recorrer ao software de análise, perceber diferenças significativas entre as situações antes e após intervenções.

5

ANÁLISE DE DADOS

5.1. SEQUÊNCIA DE ANÁLISE

Com o intuito de obter parâmetros aceitáveis, que permitissem uma melhor ponderação sobre a influência das variáveis identificadas, no estudo de uma interseção, procedeu-se à análise dos dados recolhidos e posterior comparação entre estes e as estimativas consideradas [10].

Nesse sentido, procedeu-se à separação dos dados recolhidos e estimados em 5 casos os débitos de saturação, existindo ainda subdivisões nalguns destes casos, onde foi possível denotar variações relevantes para o estudo que se pretendia, nomeadamente quando comparadas as interseções antes e após a realização das intervenções.

Os valores obtidos nestes 5 casos serão posteriormente utilizados como base de dados a inserir no software SATURN, servindo deste modo de calibração da rede realizada no programa. Este aspecto permitirá, aquando da associação destes dados aos valores das matrizes Origem / Destino no software de análise, perceber as implicações que existem nos resultados finais, em função do grau de exigência que se coloca nos parâmetros considerados.

Após separação dos dados recolhidos pelos casos considerados, será possível proceder à comparação entre os valores obtidos, o que nos permitirá ter uma noção mais válida sobre a aplicabilidade dos modelos a que se recorreu, bem como perceber até que ponto uma análise mais pormenorizada de um dado caso com recurso a parâmetros cada vez mais específicos levará a um benefício significativo na análise de uma interseção. Por outro lado, será também possível perceber, que nem sempre uma excessiva pormenorização dos dados se traduz num ganho significativo no que diz respeito aos valores finais obtidos.

5.2. CASOS CONSIDERADOS

5.2.1. MODELO TEÓRICO

Neste modelo que acaba por servir de ponto de partida, o débito de saturação foi considerado idêntico para vias com o mesmo tipo de movimento, sendo estes apenas divididos em 3 categorias e apresentados em unidades de veículos ligeiros, a partir de valores de base utilizados de forma expedita.

- Movimento em frente – 1900 u.v.l./h
- Movimento de viragem à esquerda – 1700 u.v.l./h
- Movimento de viragem à direita – 1600 u.v.l./h

Além da atribuição destes valores para os débitos de saturação, é ainda necessário individualizar cada um dos movimentos, no caso em que uma via seja partilhada por dois ou mais movimentos, uma vez que o software assim o exige, de modo a ajustar modelo desenvolvido pelo utilizador ao caso real que se pretende estudar.

Desta forma, no caso de termos uma via partilhada que permite a realização de três movimentos distintos, por exemplo, movimento em frente, de viragem à direita e de viragem à esquerda, essa via no programa terá de ser estabelecida com a criação de três vias independentes, correspondendo cada uma delas a um dos movimentos possíveis.

Contudo, o débito de saturação para cada movimento, será a soma de todos os que estejam associados ao movimento em análise, ou seja, num caso em que existam duas vias que possibilitem o movimento em frente, teremos um total do débito de saturação para esse movimento, com um valor de 3800 u.v.l./h, aquando da atribuição do valor do débito de saturação a colocar no software.

Através desta metodologia, foram assim obtidos os seguintes valores:

- Interseção Rua da Constituição com Rua Antero de Quental:

Tabela 7 – Débito de saturação teórico

Débito de Saturação Teórico (u.v.l/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1700,0	3800,0	1600,0

- Interseção Rua da Constituição com Rua de Faria Guimarães:

Tabela 8 – Débito de saturação teórico

Débito de Saturação Teórico (u.v.l/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	3800,0	1600,0

Esta situação, relacionada com a soma dos débitos de saturação de vias que permitam um mesmo movimento, nos casos em que o software utilizado seja o SATURN, como acontece no presente relatório, verifica-se para todos os modelos considerados.

5.2.2. MODELO TEÓRICO AJUSTADO PELO MÉTODO DE WEBSTER

5.2.2.1. Rua de Antero de Quental

Como descrito anteriormente no capítulo 3, uma das metodologias existentes no que refere à análise do tráfego automóvel e à avaliação das interseções é descrita como Método de Webster. De modo a utilizar esta metodologia, foi considerado como débito de base o valor de 1900 u.v.l. por hora, o qual foi depois ajustado em função de vários fatores de ajustamento. A saber:

- f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via;
- f_i – Fator de ajustamento devido ao declive da via;
- f_z – Fator de ajustamento devido à localização do cruzamento;
- f_p – Fator de ajustamento devido à localização da via;
- f_t – Fator de ajustamento devido à composição da corrente de tráfego;
- f_d – Fator de ajustamento devido a mudança de direção.

Como se constata pela própria designação, ou consultando a sua descrição anteriormente realizada neste relatório, é possível verificar que, os ajustamentos realizados segundo esta metodologia, estão quase na sua totalidade relacionados com a geometria da interseção em si ou com a sua envolvente, sendo poucos ou nulos os fatores afetados pelo comportamento dos utilizadores da via.

- Interseção Rua da Constituição com Rua Antero de Quental:

Tabela 9 – Débito de saturação Webster

Débito de Saturação Webster (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1553,4	3460,3	1356,0

Recorrendo ao mesmo processo, procedeu-se novamente ao ajustamento do débito de saturação de base, com recurso aos fatores utilizados nesta metodologia, desta feita na interseção após intervenção, obtendo-se os seguintes valores:

Tabela 10 – Débito de saturação Webster após intervenção

Débito de Saturação Webster (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1540,8	3350,8	1265,6

5.2.2.2. Rua de Faria Guimarães

À semelhança do processo realizado na Rua de Antero de Quental, foram também calculados os vários fatores de ajustamento para a Rua de Faria Guimarães, com o objetivo de ajustar o valor inicial definido para o débito de saturação de base, com o valor de 1900 u.v.l.. Ainda que tal como no caso anterior, exista uma diferença significativa entre o ponto de partida e o valor obtido após o ajustamento, continua evidente neste caso que é um ajustamento com uma grande influência dos parâmetros geométricos da interseção, e não tanto uma ponderação que considere de uma forma clara o comportamento dos utilizadores.

- Interseção Rua da Constituição com Rua de Faria Guimarães:

Tabela 11 – Débito de saturação Webster

Débito de Saturação Webster (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	3449,4	1334,2

Assim como na anterior interseção, foram também recolhidos novos dados, sendo influenciados pelas novas condicionantes existentes após a intervenção de que foi alvo a via.

Tabela 12 – Débito de saturação Webster após intervenção

Débito de Saturação Webster (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	3379,1	1373,8

5.2.2.3. Comparativo

Graficamente, é assim possível perceber que existem diferenças na avaliação do débito de saturação antes e após a intervenção realizada. Na sua generalidade, e olhando aos parâmetros que regulam este modelo, é ainda possível notar que a variação existente, se deve única e exclusivamente ao fator relacionado com a composição da corrente de tráfego uma vez que os restantes se mantêm.

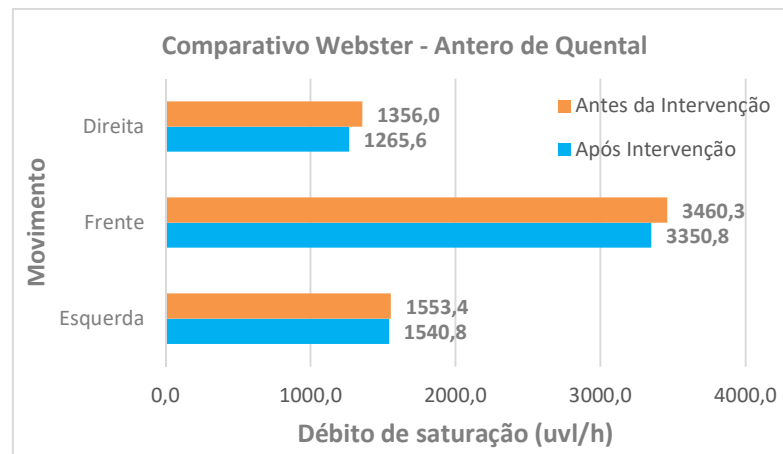


Gráfico 1 – Comparativo Rua Antero de Quintal

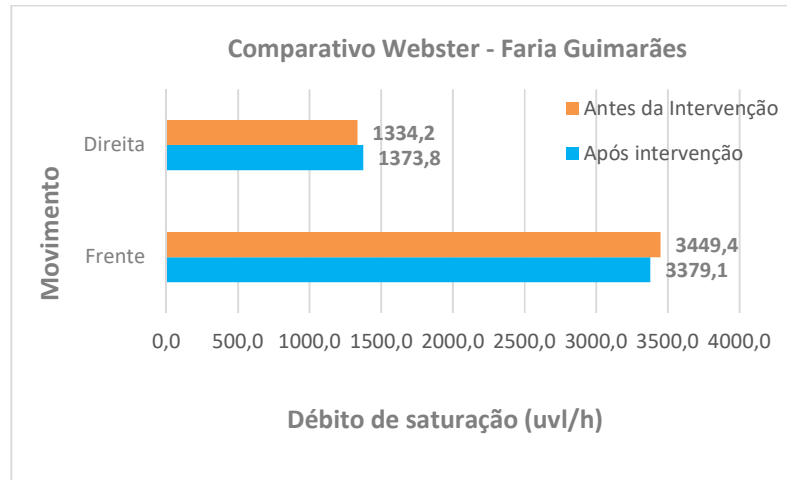


Gráfico 2 – Comparativo Rua de Faria de Guimarães

Este aspeto é de especial relevo, uma vez que nas contagens realizadas após a intervenção, o número de ciclos válidos para o estudo foi reduzido, graças a uma redução significativa do número de ciclos que não excediam os 10 segundos de saturação inicial, pelo que a amostra poderá estar comprometida relativamente a este fator de ajustamento.

5.2.3. MODELO TEÓRICO AJUSTADO SEGUNDO O HCM

Comparativamente ao verificado na metodologia de Webster, o ajustamento ao débito de saturação de base sugerido pelo Highway Capacity Manual, não só identifica um maior número de variáveis a considerar, como também indica algumas delas onde o comportamento do utilizador é decisivo no seu cálculo.

Para o ajuste e obtenção do débito de saturação, considera-se então os seguintes fatores:

- f_w – Fator de ajustamento devido à largura da via
- f_{HV} – Fator de ajustamento devido aos veículos pesados presentes na corrente de tráfego
- f_g – Fator de ajustamento devido ao declive
- f_p – Fator de ajustamento devido à existência de via para estacionamento e manobras de estacionamento
- f_{bb} – Fator de ajustamento devido ao bloqueio provocado pela existência de paragens de autocarro
- f_a – Fator de ajustamento devido ao tipo de área envolvente
- f_{LU} – Fator de ajustamento devido à utilização da via
- f_{LT} – Fator de ajustamento devido à viragem à esquerda num grupo de vias
- f_{RT} – Fator de ajustamento devido à viragem à direita num grupo de vias
- f_{Lpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à esquerda
- f_{Rpb} – Fator de ajustamento devido a peões e velocípedes para movimentos de viragem à direita

Sem uma grande pormenorização, é desde logo possível verificar que fatores como os associados ao estacionamento ou ao bloqueio associado à existência de paragens de autocarro nas proximidades da interseção, representam de uma forma mais visível, o impacto que o comportamento do utilizador tem na estimação do débito de saturação de cada via.

Ainda dentro desta linha de raciocínio, constata-se que os ajustamentos devido à presença de peões ou velocípedes têm um impacto assinalável, ainda que neste relatório, por simplificação, este fator seja considerado como tendo o valor unitário, não afetando assim o débito de saturação.

5.2.3.1. Rua de Antero de Quental

Sendo das duas interseções, a que apresenta mais condicionantes, é interessante perceber o impacto significativo que o ajustamento sugerido pelo HCM tem neste caso. No que refere à interseção, antes de ser efetuada a intervenção, eram visíveis e perfeitamente identificáveis, situações de estacionamento ilegal até próximo da linha de paragem do lado esquerda, ocorrendo a mesma situação do lado direito do grupo de vias ainda que em menor escala. Do lado direito verificava-se a existência de inúmeras paragens para cargas e descargas, relacionadas com os vários estabelecimentos de comércio existentes com especial afetação da via da direita.

Atendendo a esses fatores, foi possível determinar os seguintes fatores de ajustamento e obter os respetivos débitos de saturação para cada movimento:

- Interseção Rua da Constituição com Rua Antero de Quental:

Tabela 13 – Débito de saturação HCM

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1453,0	3058,4	1299,6

Após a intervenção, contudo, esta é claramente a interseção onde se regista uma maior diferenciação entre a eficiência antes e depois, no que refere à alteração verificada em termos comportamentais, por parte dos utilizadores.

Com efeito, ainda que relativamente ao ajustamento devido ao bloqueio por paragem de autocarros não tenham existido alterações significativas, em termos do ajustamento associado ao estacionamento, existe uma redução muito significativa no número de manobras de estacionamento realizadas junto à interseção.

A juntar a esse aspecto, é ainda de salientar, que essas manobras, por restrições associadas à delimitação com recurso a balizas reversíveis, deixaram praticamente de ser realizadas de forma ilegal, fora da zona destinada para estacionamento, ou junto à linha de paragem.

Face a estas novas condicionantes, obtiveram-se os seguintes valores:

Tabela 14 – Débito de saturação HCM após intervenção

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1523,6	3205,8	1362,0

5.2.3.2. Rua de Faria Guimarães

Contrariamente ao verificado na Rua de Antero de Quental, a Rua de Faria Guimarães, quer antes, quer depois da intervenção possui lugares de estacionamento identificados do lado esquerdo até junto da linha de paragem pelo que desde logo, embora existam manobras de estacionamento, estas não influenciam diretamente a largura disponível para a passagem de veículos após a realização do estacionamento, com exceção de eventuais estacionamentos em 2ª fila.

Além deste fator, também a inexistência de uma paragem de autocarro próxima da interseção com a Rua de Faria Guimarães, faz com que neste caso não exista um reajustamento do débito de saturação devido a este fator, não havendo após intervenção alteração desta situação.

Tabela 15 – Débito de saturação HCM

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	2674,5	1136,4

É no entanto na via da direita que neste caso verificamos a maior diferença em termos de funcionamento com a delimitação da via destinada a velocípedes com recurso a balizas reversíveis, o que por si só para além de evitar o estacionamento ilegal do lado direito da faixa de rodagem, permitiu também evitar situações de paragens mais demoradas para manobras de carga e descarga de mercadorias.

Situações relacionadas com a saída/entrada de alunos no colégio, efetuadas de forma temporária com recurso a transportes particulares, passaram também a encontrar uma barreira que obriga os utilizadores a ponderar melhor essa situação

Tabela 16 – Débito de saturação HCM após intervenção

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	2772,5	1178,0

5.2.3.3. Comparativo

Após análise, uma comparação gráfica, permite-nos perceber um afastamento significativo relativamente ao teórico, mas uma variação antes e depois da intervenção pouco significativa, pese embora exista uma melhoria assinalável relativamente ao número de manobras de estacionamento.

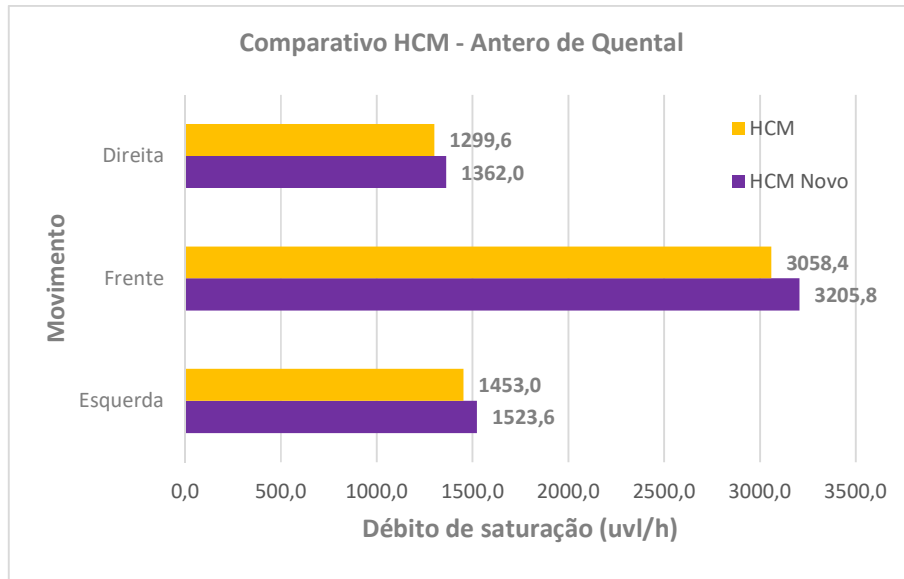


Gráfico 3 – Comparativo Rua Antero de Quental

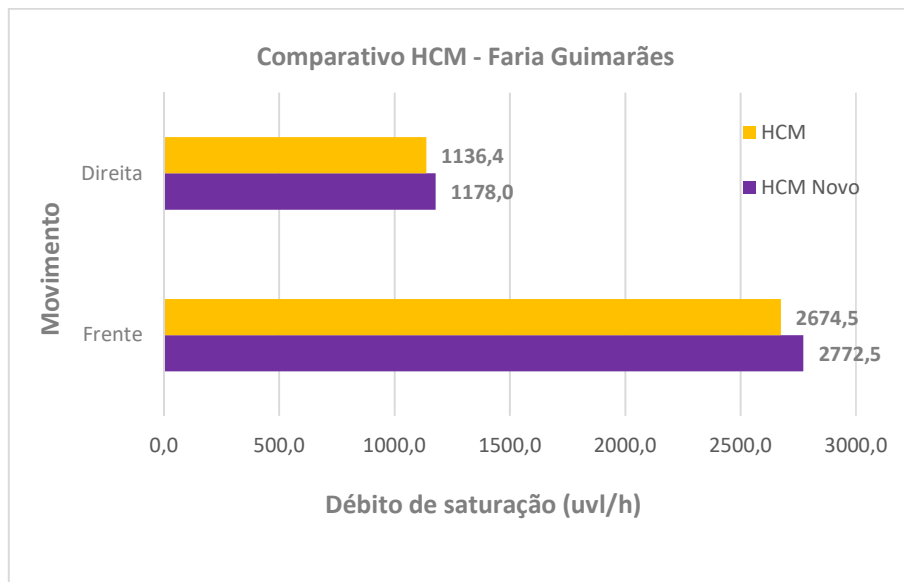


Gráfico 4 – Comparativo Rua Antero de Quental

5.2.4. MODELO COM RECURSO A CONTAGENS

Como referido anteriormente, além dos modelos referidos anteriormente, foram também realizadas filmagens “in situ”, com o objetivo de recolher dados relevantes para um estudo mais realista das interseções em análise.

Para esse efeito, foram contabilizados vários parâmetros que permitiram, recorrendo à expressão (41) que se apresenta de seguida e às abordadas de forma pormenorizada no capítulo 5, estimar os valores para o débito de saturação.

$$s = \frac{X_2}{X_4 - 10 \cdot n_4}$$

Onde:

X_2 – número de veículos que passam a linha de paragem após os primeiros 10 segundos do tempo de verde, até ao final de saturação da fila.

X_4 – tempo de verde saturado

n_4 – número de ciclos válidos

Na expressão mencionada anteriormente, relembra-se que o débito de saturação é fornecido nas unidades veic/s, sendo pois necessário, por uma questão de homogeneização dos dados, converter esse valor em uvl/h multiplicando o valor obtido pelo número de segundos existentes no período de uma hora, totalizando 3600.

5.2.4.1. Rua de Antero de Quental

Seguindo as indicações acima referidas foi então possível obter o valor do débito de saturação verificado na Rua da Constituição com recurso a contagens na interseção com a Rua de Antero de Quental, onde desde logo é possível observar uma enorme diferença entre os valores obtidos e os calculados anteriormente não só o valor teórico, mas também com recurso às metodologias de Webster e HCM.

Tabela 17 – Débito de saturação por Contagem

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
520,9	1699,7	308,0

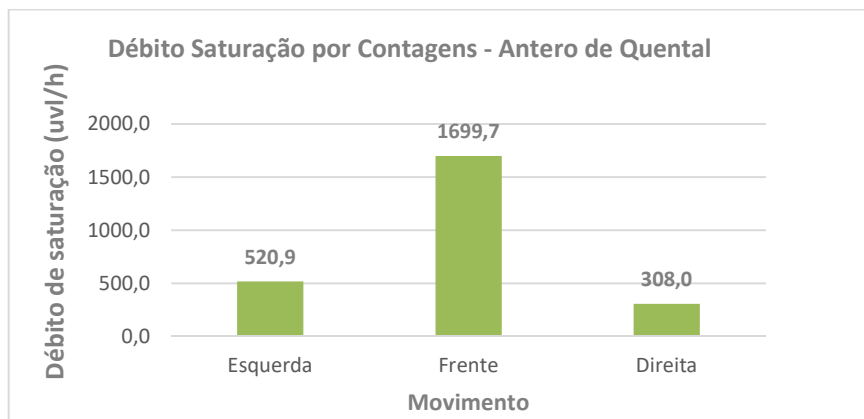


Gráfico 5 – Rua Antero de Quental

Após a intervenção realizada no local, existe contudo um uma grande diferença nos valores obtidos através desta metodologia. Com efeito, a delimitação do espaço entre vias com recurso a balizas reversíveis, acaba por se traduzir, nesta interseção em particular, numa regulação muito mais eficiente do tráfego automóvel, levando a que os valores obtidos para os débitos de saturação sejam mais próximos aos calculados anteriormente.

É ainda de salientar que, embora o movimento de viragem à esquerda através de uma via exclusiva apresente valores próximos dos desejados, os movimentos em frente e de viragem à direita, ainda se encontram distantes do pretendido.

Tal situação poderá estar relacionada com a via da direita, onde existe movimento partilhado em frente e de viragem à direita, uma vez que existem algumas condicionantes verificadas como a localização de uma paragem de autocarros próxima à interseção, bem como constantes paragens para cargas e descargas de mercadorias, relacionadas com os estabelecimentos comerciais adjacentes à faixa de rodagem.

Tabela 18 – Débito de saturação por Contagem após intervenção

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
1505,5	2594,6	616,2

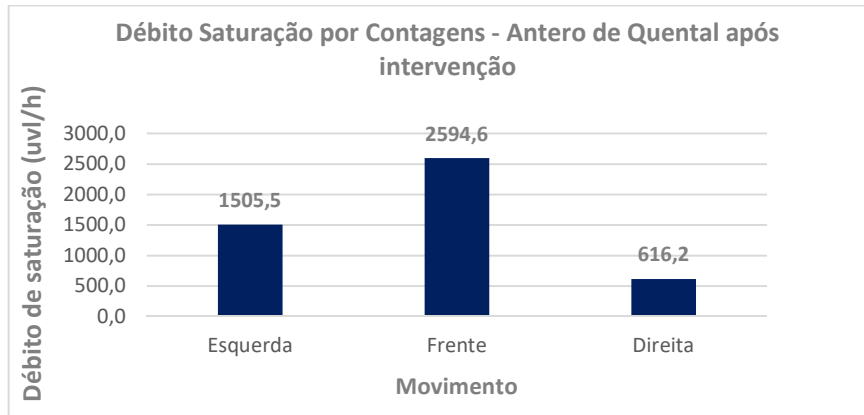


Gráfico 6 – Rua Antero de Quental após intervenção

5.2.4.2. Rua de Faria Guimarães

Também na interseção com a Rua de Faria de Guimarães, foi verificada uma diferença enorme entre os valores obtidos e os que anteriormente tinham sido calculados, assumindo-se que tal situação decorre em grande parte do comportamento dos utilizadores, ou a fatores não ponderados pelos modelos anteriores.

Tabela 19 – Débito de saturação por Contagem

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	1950,0	822,9

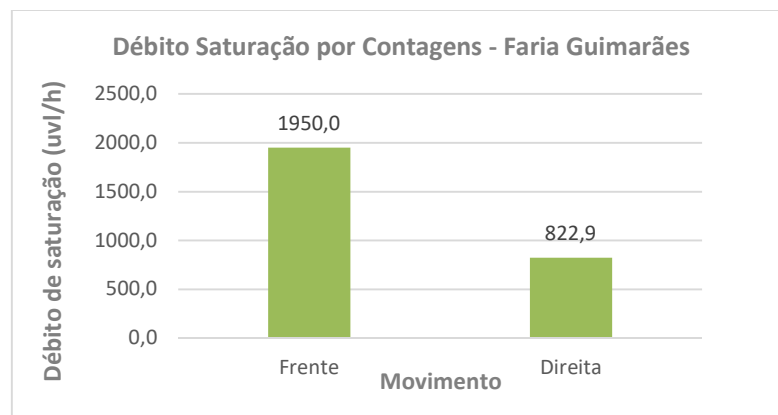


Gráfico 7 – Rua de Faria Guimarães

Após a intervenção, nesta interseção, não se verifica contudo uma mudança significativa entre os valores obtidos, existindo apenas um ligeiro aumento no movimento em frente.

É importante nesse sentido verificar que, para além de uma variação muito residual no movimento em frente, existiu uma diminuição significativa no movimento de viragem à direita, o que, por estar associado a uma via partilhada com movimento em frente, poderá justificar esta falta de variação neste

caso em concreto.

À semelhança do que foi já atrás referido, o reduzido número de ciclos válidos ao longo do período de observação poderá também de certa forma ter um impacto significativo neste resultado..

Tabela 20 – Débito de saturação por Contagem após intervenção

Débito de Saturação HCM (uvl/h)		
Esquerda	Frente	Direita
0,0	1957,3	505,7

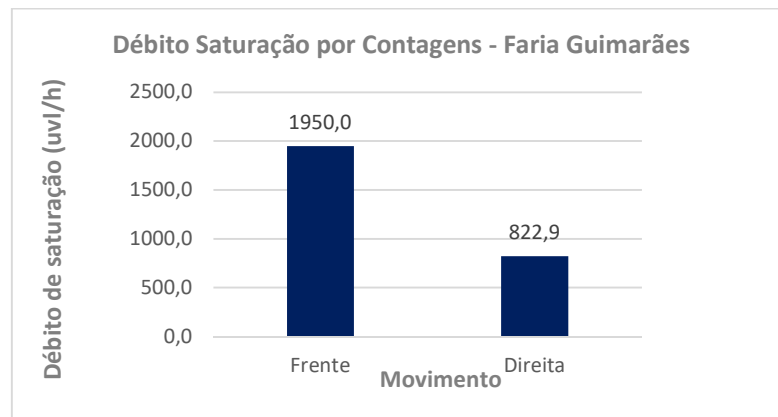


Gráfico 8 – Rua de Faria Guimarães após intervenção

5.2.4.3. Comparativo

Considerando que as contagens foram relativas a dados obtidos, primeiramente antes de realizadas as intervenções na interseção, e posteriormente após a intervenção, é possível realizar uma comparação entre as duas situações.

Constata-se uma variação muito significativa nos valores obtidos relativamente a Antero de Quental para os débitos de saturação, como se verifica na figura seguinte, onde é visível que o valor praticamente triplicou no movimento de viragem à esquerda, duplicou no movimento de viragem à direita e sofreu um aumento muito significativo no movimento em frente.

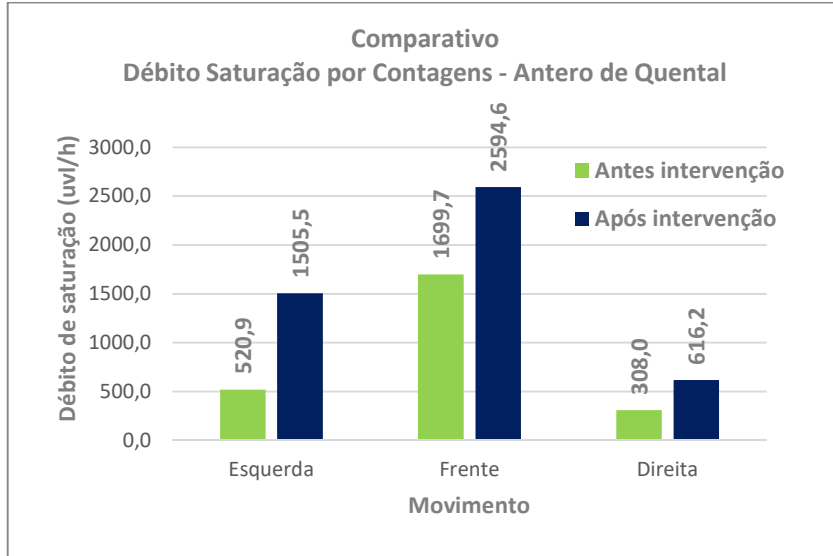


Gráfico 9 – Comparativo Antero de Quintal

Pelo contrário, em Faria Guimarães, o reduzido número de ciclos válidos, poderá estar na origem de uma oscilação residual ou negativa.

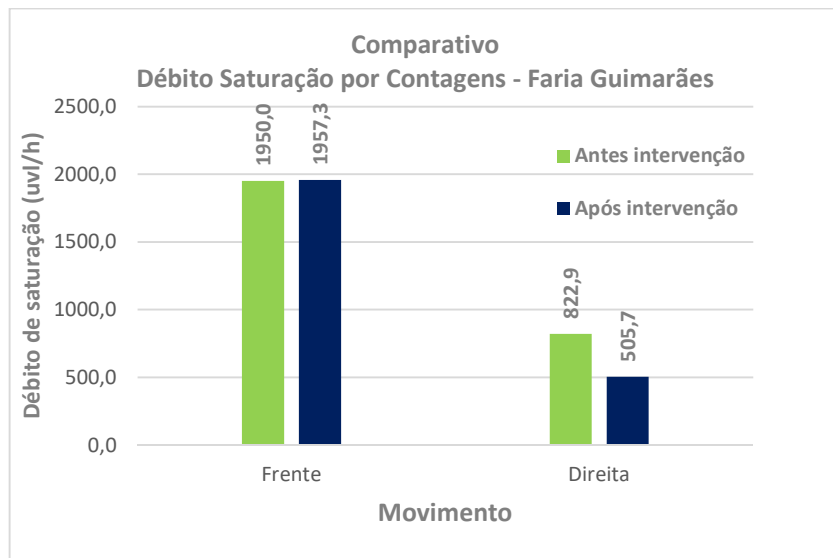


Gráfico 10 – Comparativo Faria de Guimarães

Uma análise mais detalhada nesta interseção com um número mínimo de ciclos válidos, poderá ser necessária para conclusões mais criteriosas que permitam com algum rigor identificar a origem desta situação.

5.3. ANÁLISE GERAL DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE

Após a análise mais específica de cada uma das metodologias adotadas neste relatório, é possível proceder a uma apreciação global das mesmas através de uma comparação relativamente aos valores obtidos. Assim sendo, e separando esta análise em duas partes, correspondendo cada uma delas às interseções estudadas, é possível identificar aspetos de relevo.

6.3.1. INTERSEÇÃO RUA DA CONSTITUIÇÃO COM RUA DE ANTERO DE QUENTAL

Nesta interseção é desde logo evidente uma mudança muito significativa no seu desempenho quando se compara o antes e o após a realização da intervenção no local com a colocação de balizas reversíveis para delimitação das vias. Como já referido, inicialmente eram visíveis três vias sendo que, na realidade, efetivamente o tráfego automóvel circulava em duas vias.

Esta situação tinha como principal catalisador o estacionamento indevido do lado esquerda, dentro da faixa de rodagem onde esta manobra era proibida. Esse fator, em simultâneo com um constante número de veículos de transporte de mercadorias que efetuavam cargas e descargas do lado direito, restringia a circulação a apenas duas vias, sendo que ambas teriam uma largura inferior ao inicialmente previsto.

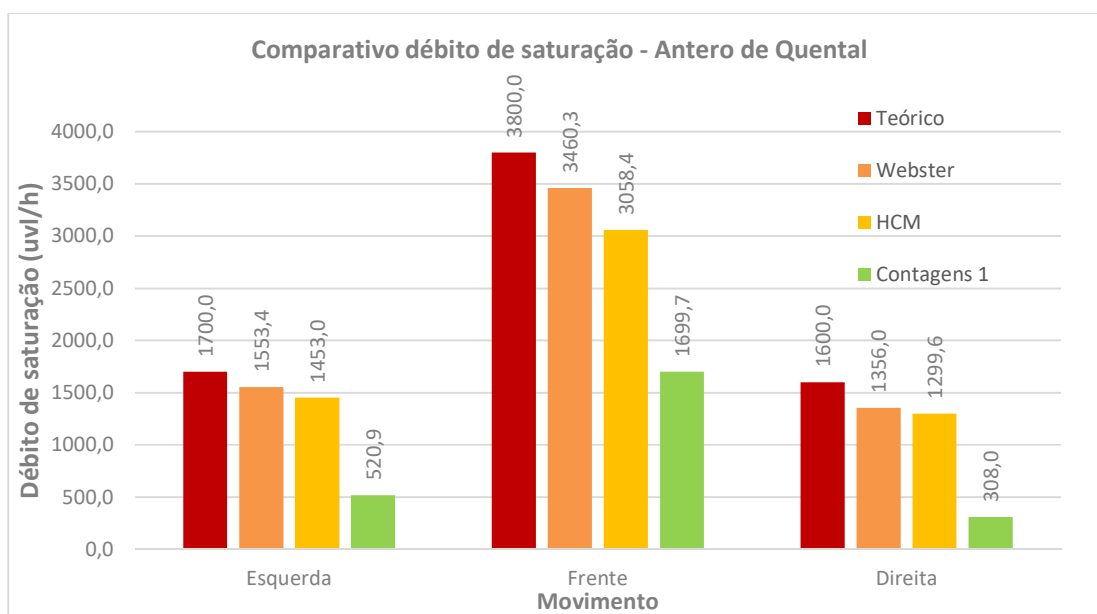


Gráfico 11 – Comparativo Interseção com Antero de Quental antes da intervenção

Analisando o impacto da intervenção realizada e considerando como “Contagens 1” e “Contagens 2”, os valores obtidos em função da recolha de dados antes e após as intervenções nos locais analisados, é assim possível verificar, que a dissuasão e restrição do estacionamento indevido à esquerda, onde se encontra uma via exclusiva de viragem à esquerda atualmente, contribui para que este movimento em específico se encontre a funcionar com valores muito próximos dos obtidos com recurso às metodologias desenvolvidas por Webster e pelo HCM, como graficamente se constata.

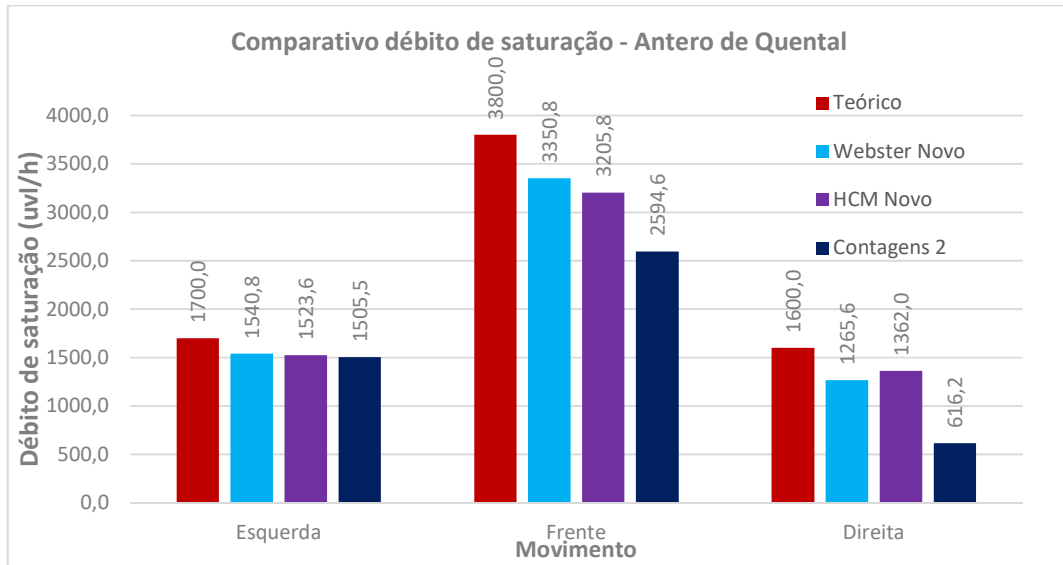


Gráfico 12 – Comparativo Interseção com Antero de Qidental depois da intervenção

Ainda relativamente a este aspeto, é visível, que sendo a metodologia descrita pelo HCM afetada pelo fator de ajustamento relacionado com o estacionamento, após a intervenção era espetável que o seu valor para o débito de saturação se aproximasse do valor obtido por Webster como se veio a verificar, chegando mesmo a ser superior na via da direita.

É desta forma possível, globalmente, denotar uma melhoria significativa da eficiência da interseção da Rua da Constituição com a Rua de Antero de Qidental depois de realizada a intervenção no local.

O Gráfico 13 permite uma comparação gráfica relativamente aos vários métodos de análise utilizados para o cálculo do débito de saturação, bem como da sua utilização antes ou após a intervenção no local.

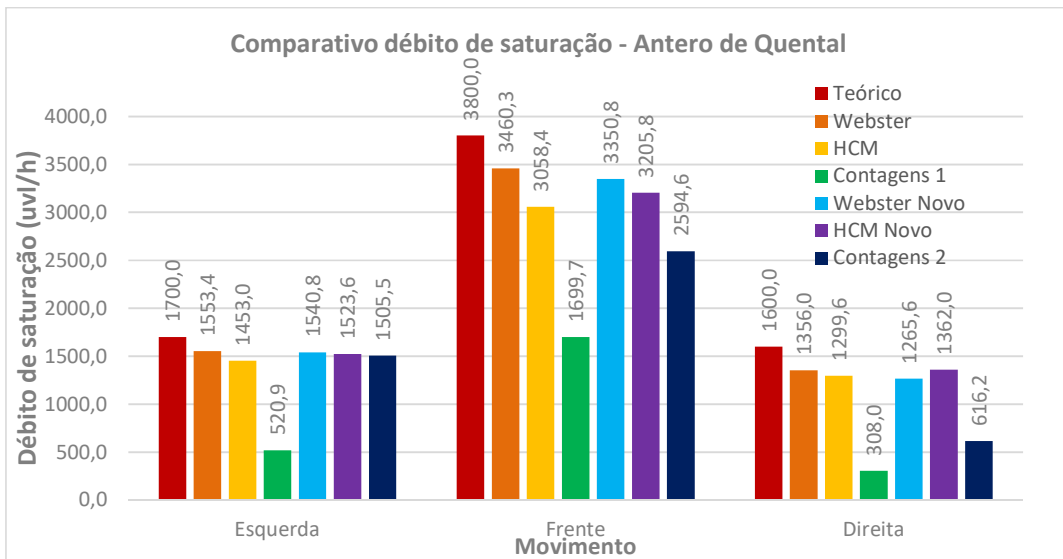


Gráfico 13 – Comparativo global Antero de Qidental

5.3.2. INTERSEÇÃO RUA DA CONSTITUIÇÃO COM A RUA DE FARIA GUIMARÃES

Com uma morfologia desde logo diferente da verificada na interseção com a Rua de Antero de Quental, a situação da interseção com a Rua de Faria Guimarães apresentava inicialmente um desempenho que, embora não fosse o ideal, não seria motivo de grande atenção.

Apresentando lugares de estacionamento até junto da linha de paragem, delimitações físicas que impossibilitavam o estacionamento sobre o lancil/passeio do lado direito e inexistência de paragens de autocarro nas proximidades da interseção, os maiores transtornos nesta interseção relacionavam-se com a envolvente.

Nesse sentido, é importante referir a presença de uma oficina de automóveis do lado esquerdo, um parque de estacionamento subterrâneo do lado direito imediatamente antes das delimitações físicas de separação da faixa de rodagem e do passeio, e a presença de um estabelecimento de ensino a poucos metros da linha de paragem do lado direito.

Inicialmente verificou-se uma diferença gradual entre as diferentes metodologias e as contagens realizadas, apresentadas de seguida:

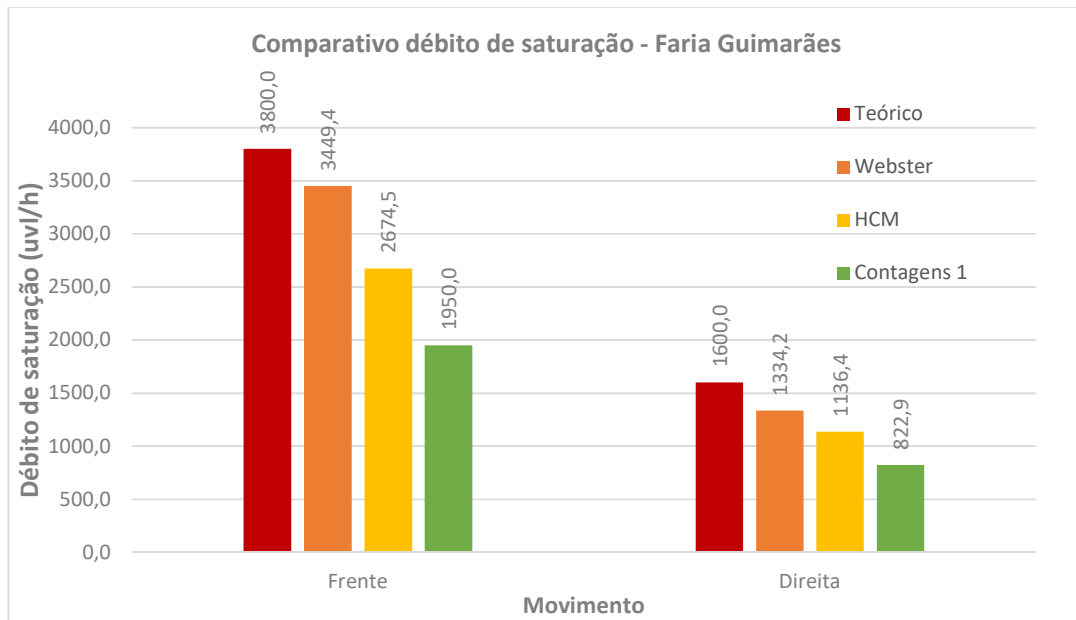


Gráfico 14 – Comparativo Interseção com Faria Guimarães antes da intervenção

Após os resultados verificados em Antero de Quental, seria então expectável que após a intervenção, os valores de aproximassem entre si, o que acabou por não se verificar no que diz respeito às contagens realizadas.

Com efeito, o valor obtido após a intervenção através das contagens acaba mesmo por ser inferior, o que deverá traduzir o reduzido número de ciclos válidos recolhidos, quando estes não possuíam os 10 segundos iniciais de verde saturado.

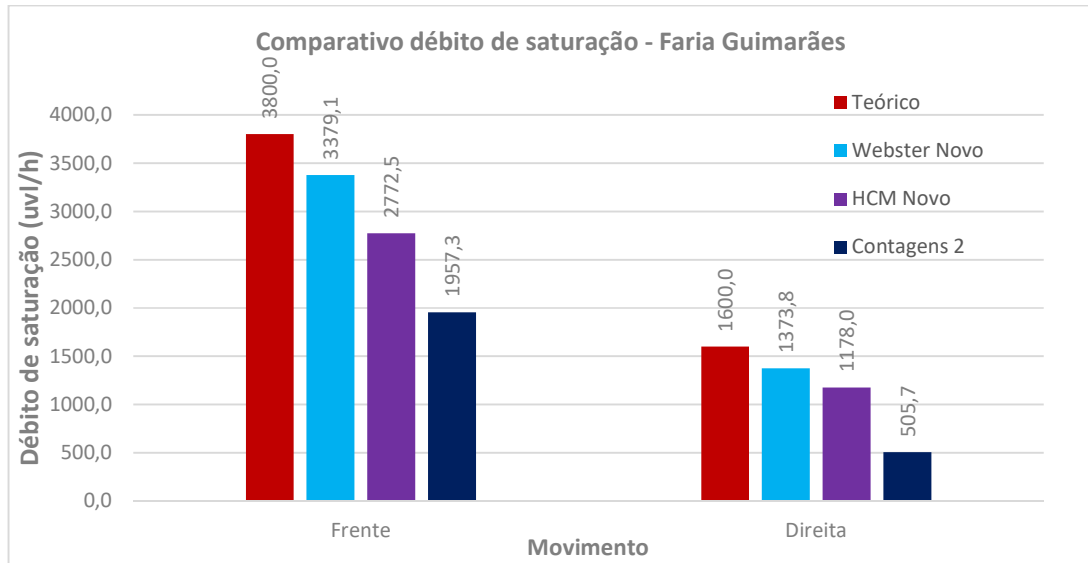


Gráfico 15 – Comparativo Interseção com Faria Guimarães depois da intervenção

Torna-se assim pertinente olhar para estes dados com algumas reticências, na medida em que seria necessário um estudo mais pormenorizado neste caso para utilização de um número mínimo de ciclos mais elevado, de forma a mitigar pontuais alterações que possam existir nalguns ciclos.

Em todo o caso, no Gráfico 16, apresenta-se o comparativo global para esta interseção.

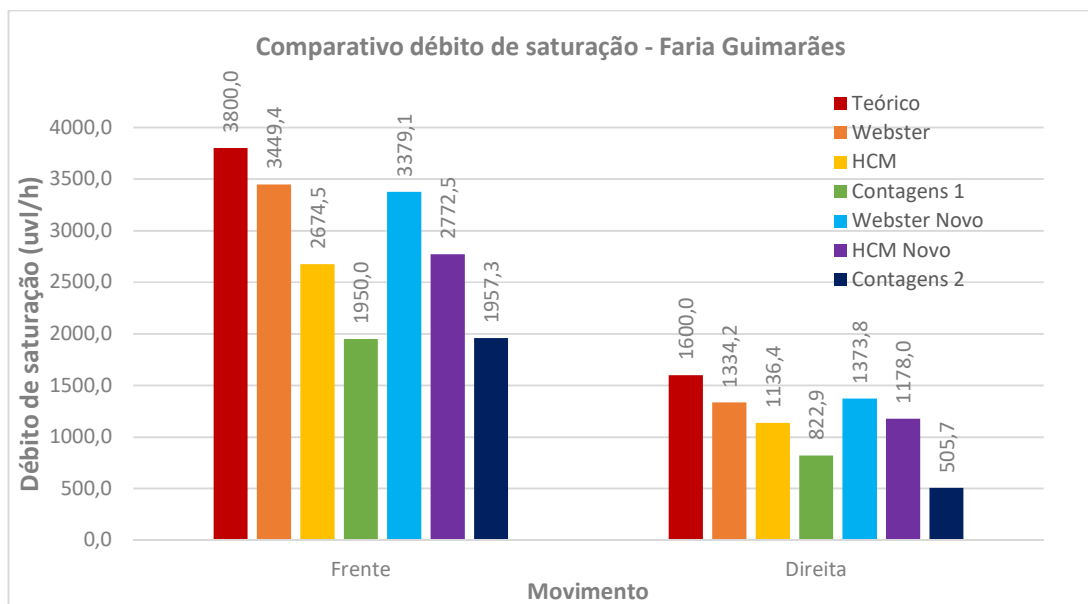


Gráfico 16 – Comparativo Global de Faria Guimarães

5.4. ANÁLISE DA MODELAÇÃO DA REDE NO PROGRAMA SATURN

Na elaboração do presente relatório, foram igualmente criados modelos de regulação microscópica, com recurso ao software SATURN. O seu desenvolvimento, além de uma melhor perceção do funcionamento da rede neste troço em específico, permitiu uma análise mais detalhada relativamente ao desempenho verificado em função da procura existente.

Foram assim definidos e considerados vários aspetos. Na definição da rede em análise, é necessário desde logo perceber a dimensão de análise. Nesse sentido, compreende-se que a modelação envolve uma série de modelos matemáticos, os quais pretendem traduzir o comportamento dos utilizadores do sistema. Este ponto é de especial importância, uma vez que se assumem vários pressupostos perante os quais os utilizadores iriam decidir.

Além deste aspeto, a perceção da dimensão da rede em análise é fundamental no desenho do modelo, já que o dimensionamento das suas áreas geográficas, ou zonas, e a determinação do início e fim das viagens nos seus centros de atividade, ou centróides, poderá requerer que a área em análise seja desagregada em áreas mais pequenas, definindo-se onde são geradas ou atraídas as viagens.

5.4.1. ELABORAÇÃO GERAL DA REDE

No presente relatório, a análise refere-se a um troço em específico da Rua da Constituição, compreendido entre as duas interseções que se pretende analisar tal como demonstra a figura seguinte.



Figura 27 – Localização da Rede

Inicialmente, foram definidas 8 zonas externas, de aspeto triangular, com a respetiva numeração, segundo as quais se determinaria a origem e destino como se verá mais à frente na seleção das matrizes. Para além dessas zonas, foi necessário proceder-se à criação de 8 centróides (Figura 28), apresentados com a forma de pentágono (1,7,8,9,10,11,12 e 13), nos quais se assume que uma viagem tem o seu início ou fim, ainda que o software não reconheça situações de viagens intrazonas. (Tavares, 2003)

No caso em específico deste relatório foi desenhada uma rede correspondente à Rua da Constituição e as interseções desta com a Rua de Faria Guimarães, R. do Cantor Zeca Afonso/R. De São Brás e a Rua de Antero de Quental, sendo o principal foco do estudo a primeira e a última interseções referidas.

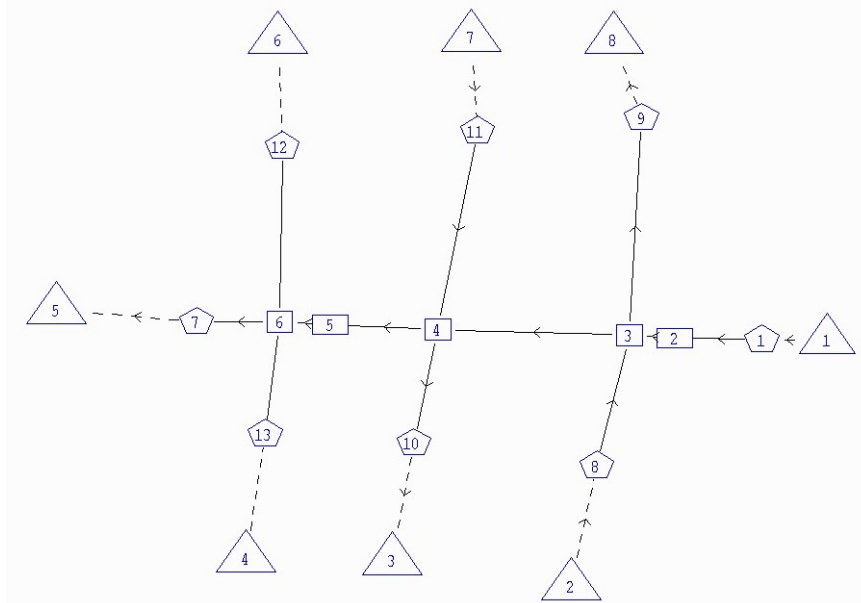


Figura 28 – Aspeto Global da Rede

Na imagem é assim possível identificar as interseções em análise, correspondendo estas a retângulos identificados da seguinte forma:

- 3 – Interseção Rua da Constituição com Rua de Faria Guimarães
- 4 – Interseção Rua da Constituição com R. Cantor Zeca Afonso(norte)/R. de S. Brás(sul)
- 6 – Interseção Rua da Constituição com Rua de Antero de Quental

Refira-se ainda que os retângulos 2 e 5 representam mudanças do número de vias da faixa de rodagem, e são definidas mediante a sua distância à interseção com recurso a medições realizadas.

Além dos pontos enumerados acima, foi ainda necessário definir o comprimento dos arcos que ligam cada um destes pontos, sendo para tal necessário conhecer as distâncias reais destes elementos, sendo estes obtidos por medições via imagens de satélite.

A presença de setas direcionais nos arcos indicam que estes são de sentido único, ao passo que a sua ausência refere-se à possibilidade de o tráfego automóvel se realizar nos dois sentidos.

5.4.2. PROGRAMAÇÃO DAS INTERSEÇÕES

Após a definição geral da rede, é necessário realizar a definição de cada interseção em particular. Para esse efeito são definidos os movimentos de viragem admitidos em função dos sentidos de cada afluente à interseção, bem como são também definidas as fases e a sua duração individual e duração completa do ciclo [12].

Em termos das diferentes fases, estas foram definidas através do recurso a dados previamente existentes conforme é possível verificar nas figuras seguintes.

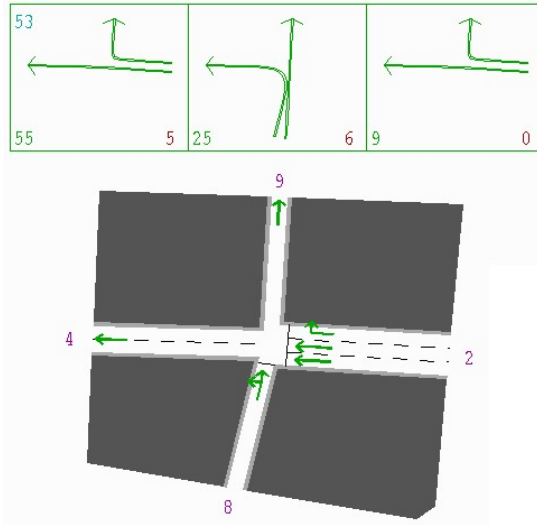


Figura 29 – Fases Faria Guimarães

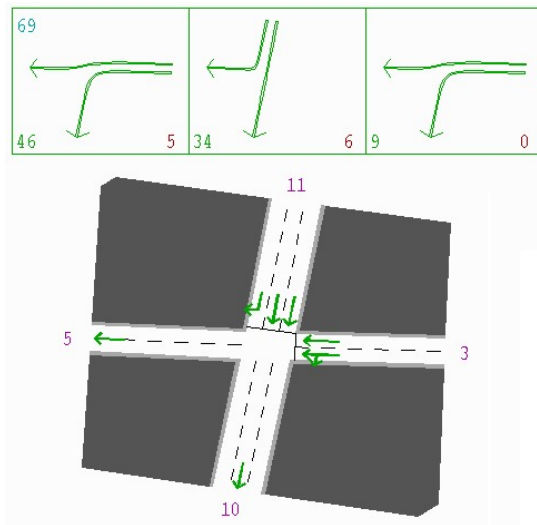


Figura 30 – Fases Zeca Afonso e São Brás

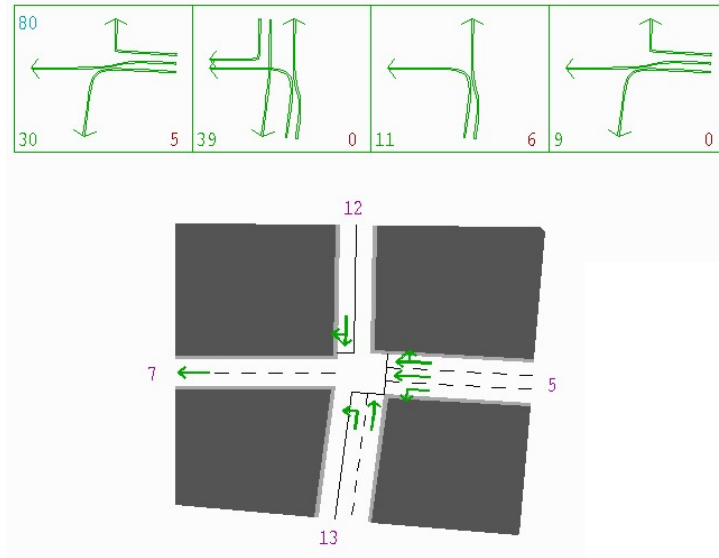


Figura 31 – Fases Antero de Quental

Além destes parâmetros, é ainda necessário introduzir os valores relativos aos débitos de saturação para cada um dos movimentos, onde foram utilizadas 5 metodologias para a sua obtenção como visto anteriormente, a saber:

- Método Teórico;
- Método segundo Webster;
- Método descrito no HCM;
- Método com recurso a contagens, antes da intervenção;
- Método com recurso a contagens, após a intervenção.

5.4.3. RECOLHA DAS MATRIZES O/D

Após a configuração da rede e das respetivas interseções, procedeu-se à sua afetação através de matrizes Origem / Destino, obtidas com recurso à utilização de dados provenientes de um estudo já realizado na Rua da Constituição. Ainda assim, e uma vez que estas matrizes foram concebidas para períodos de 15 minutos, foi necessário o seu tratamento e seleção [9][10].

Desta forma, foram seleccionadas 4 matrizes correspondentes aos períodos compreendidos entre o intervalo em que foram realizadas as contagens (08:00 e as 09:00):

- 08:00 – 08:15;
- 08:15 – 08:30;
- 08:30 – 08:45;
- 08:45 – 09:00.

Após seleção das matrizes para análise, foi necessário proceder ao seu ajustamento, relativamente às origens e destinos existentes, de modo a que representassem o desenho concebido para a rede.



Figura 32 – Rede afeta às matrizes utilizadas

Procedeu-se inicialmente a uma seleção dos dados, de modo a obter uma matriz que apenas representasse as origens e destinos presentes na rede em análise neste relatório, em função de dados previamente recolhidos em estudos anteriores onde se verificava a existência de numeração específica para cada origem e destino.

Tabela 21 – Matriz inicial que serviu de ponto de partida

id	Período 08:00 - 08:15										Totais
	713	715	720	724	726	732	739	744	746	748	
715	1	0	10	2	2	10	2	2	26	1	56
718	35	35	21	3	3	22	5	5	57	35	221
722	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
730	24	24	15	1	1	4	0	4	39	24	136
734	15	15	9	1	1	4	1	2	25	15	88
736	15	15	9	1	1	4	1	2	25	15	88
742	7	7	4	1	1	4	1	1	11	7	44
744	7	7	4	1	1	4	1	0	11	7	43
748	1	1	10	2	2	10	2	2	26	0	56
751	1	1	10	2	2	10	2	2	26	1	57
Totais	106	105	92	14	14	72	15	20	246	105	789

Posteriormente, e para cada período de 15 minutos, procedeu-se à multiplicação dos valores obtidos por 4 de modo a estimar os valores horários, considerando-se as zonas em análise no caso particular considerado nesta dissertação. Deste processo, resultou para cada um dos 4 períodos, uma matriz com a configuração da indicada de seguida, onde já se encontram identificadas as 8 zonas:

Tabela 22 – Matriz final para o primeiro período de 15 minutos para afetação horária

Período 08:00 - 08:15								
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	300	156	156	156	0	96
2	0	0	92	56	56	56	0	236
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	8	8	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	220	4	0	0	0
7	0	0	464	140	140	140	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Após a configuração das 4 matrizes horárias, em função de cada período de 15 minutos, procedeu-se à sua afetação à rede no software SATURN.

5.4.4. AFETAÇÃO DAS MATRIZES À REDE

Recorrendo ao programa SATURN, foram então configuradas as 4 matrizes, introduzindo-se os valores obtidos para cada um dos casos, procedendo-se depois à sua afetação à rede previamente realizada. Para tal, foi necessário configurar primeiro a matriz com recurso à opção *MX*, procedendo-se depois à execução do programa *Saturn* tendo por base a matriz e o ficheiro onde constam as características associadas às interseções, nomeadamente débitos de saturação por movimento ou velocidades permitidas, sendo esta última configurada para 50 km/h. Desta forma foi obtido o ficheiro .UFS que nos permitirá analisar o modelo através da ferramenta *PIX*.

Tabela 23 – Matrizes por período de análise

Período 08:00 - 08:15								
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	300	156	156	156	0	96
2	0	0	92	56	56	56	0	236
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	8	8	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	220	4	0	0	0
7	0	0	464	140	140	140	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Período 08:15 - 08:30								
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	364	224	224	224	0	136
2	0	0	60	40	40	40	0	412
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	8	8	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	396	4	0	0	0
7	0	0	628	168	168	168	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Período 08:30 - 08:45								
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	520	272	272	272	0	396
2	0	0	40	24	24	24	0	404
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	8	8	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	524	4	0	0	0
7	0	0	652	168	168	168	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Período 08:45 - 09:00								
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	620	244	244	244	0	308
2	0	0	88	40	40	40	0	368
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	8	8	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	712	4	0	0	0
7	0	0	500	128	128	128	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.5. ESTUDO DA REDE

Após este processo, e dentro das possibilidades fornecidas pelo programa abrindo o ficheiro .UFS com a opção *PIX*, recorreu-se à opção *Analysis Opt – Joy Ride - Go*, obtendo-se valores individuais para cada uma das interseções, bem como valores globais para o trajeto, referentes ao atraso, velocidade e tempo de realização do percurso.

Para cada um dos parâmetros é possível registar a evolução dos valores obtidos consoante a metodologia em análise, sendo que comparativamente obtemos os seguintes gráficos para:

- Tempo de realização do percurso
- Atraso verificado
- Velocidade de percurso

Graficamente é notória a diferenciação entre os modelos de estimação, e os modelos baseados nas contagens registadas, sendo ainda estes últimos, muito diferentes entre si.

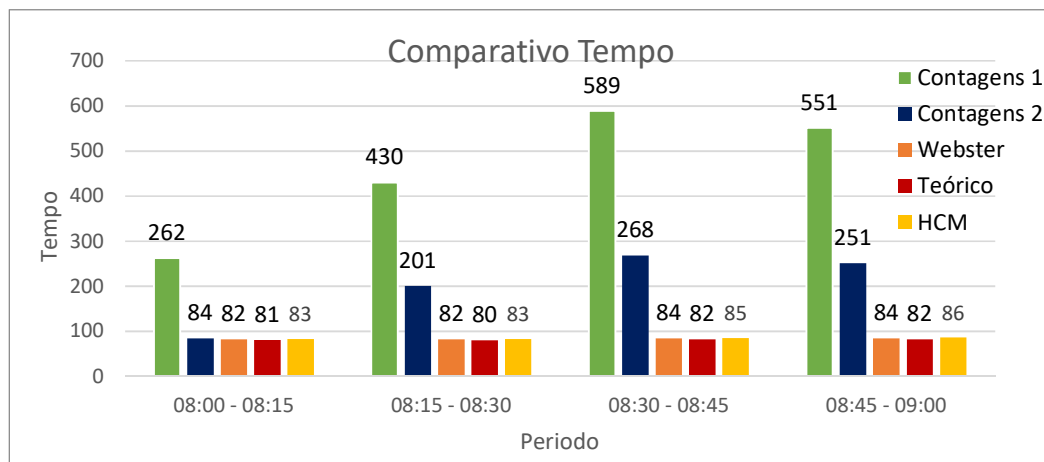


Gráfico 17 – Comparativo para tempo de realização do percurso em segundos

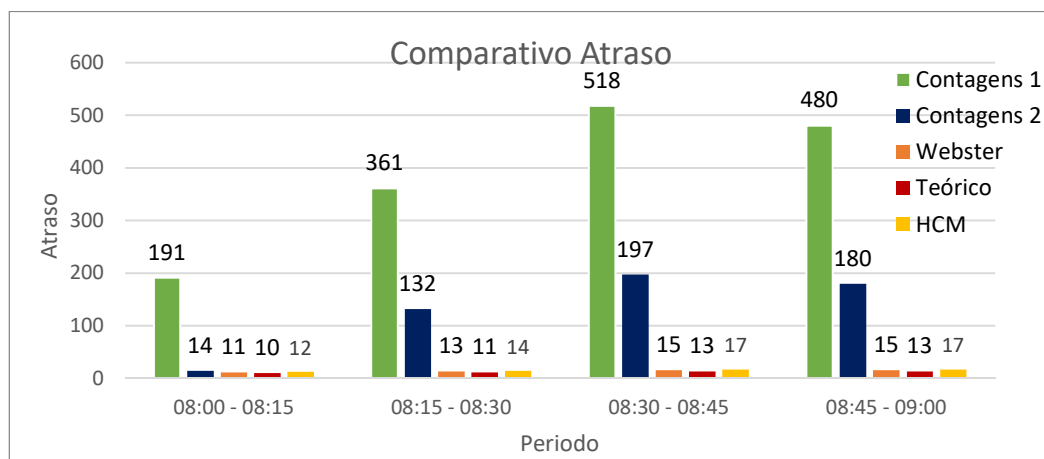


Gráfico 18 – Comparativo para o atraso verificado em segundos

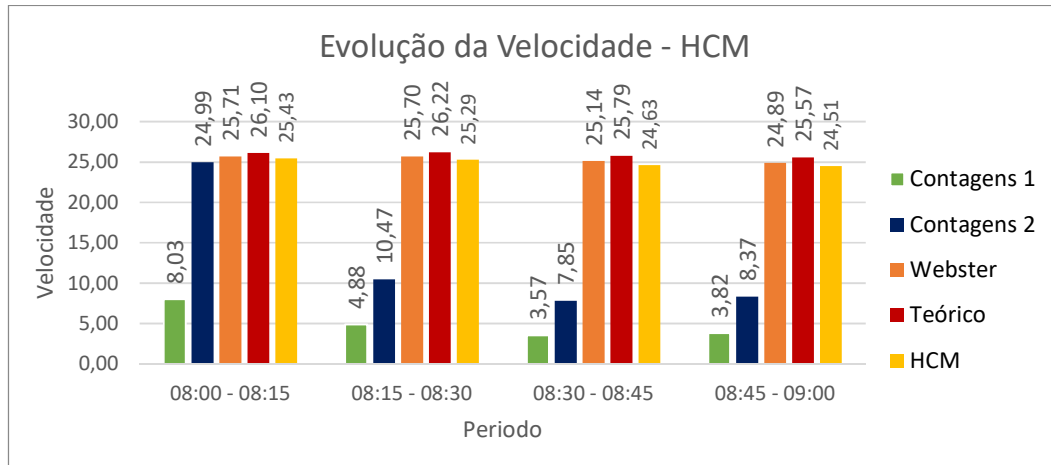


Gráfico 19 – Comparativo para a velocidade do percurso em km/h

Como se constata graficamente, os resultados obtidos quando a metodologia considerada se baseia nas contagens efetuadas, difere em larga escala, dos valores obtidos com recurso às restantes metodologias. Verifica-se ainda que, nos primeiros 15 minutos da hora de ponta, os valores obtidos nas contagens após as intervenções, são muito próximos dos verificados pelas metodologias restantes.

Relativamente apenas e só aos valores associados às contagens, é notória uma evolução positiva, quando se comparam as contagens realizadas antes e após as intervenções na rede em estudo, sendo possível constatar uma melhoria significativa do desempenho da rede.

Olhando para os 4 períodos em análise, pode também constatar-se que o intervalo entre as 08:30m e as 08:45 minutos, é o que provoca na rede o pior desempenho, no que diz respeito à análise referente à metodologia com recurso a contagens.

5.5. ANÁLISE DA CAPACIDADE

Ainda com recurso à metodologia descrita no HCM, procedeu-se à obtenção dos valores para a Capacidade, de forma a perceber a sua afetação em função da variação dos parâmetros verificados antes e após a intervenção.

Nesse sentido, e recorrendo à expressão (10), foi assumido que o tempo de verde efetivo seria igual ao tempo de verde, desprezando o seu ajuste com o tempo perdido no arranque e o tempo ganho após o final de verde, uma vez que os recursos disponíveis não permitiam a sua realização com rigor. Optou-se assim por recorrer aos tempos de ciclo obtidos para as interseções em estudo, em função de dados previamente existentes, para a definição do tempo de verde efetivo e do tempo total de ciclo.

$$c = Ns \frac{g}{C} \quad (42)$$

Onde:

c – Capacidade (veic/h)

N – Número de vias no grupo

s – Débito de saturação (veic/h)

- g – Tempo de verde efetivo
- C – Duração do ciclo (s)

Em termos do valor para o nº de vias antes e após intervenção, foi considerado que, devido ao estacionamento ilegal na via da esquerda na interseção com a Rua de Antero de Quental, antes da intervenção com a colocação das balizas reversíveis, apenas existiam 2 vias disponíveis, ao invés das 3 fisicamente existentes.

Os valores para os débitos de saturação foram assumidos como sendo os somatórios dos débitos dos vários movimentos no grupo de vias.

Foram assim obtidos os seguintes resultados:

Tabela 24 – Capacidade HCM para Antero de Quental

Interseção com a Rua de Antero de Quental					
	c	N	s	g	C
Antes da Intervenção	4532,6	2,0	5811,1	39,0	100,0
Após Intervenção	7126,8	3,0	6091,3	39,0	100,0

Tabela 25 – Capacidade HCM para Faria Guimarães

Interseção com a Rua de Faria Guimarães					
	c	N	s	g	C
Antes da Intervenção	4192,1	2,0	3811,0	55,0	100,0
Após Intervenção	4345,6	2,0	3950,5	55,0	100,0

Como foi possível verificar, apenas o número de vias variou de forma considerável, e apenas no caso da interseção com a Rua de Antero de Quental. No entanto, esta variação foi o suficiente para um aumento muito significativo na capacidade existente.

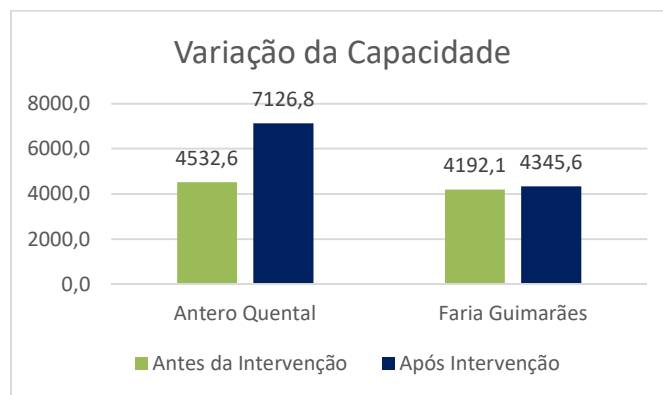


Gráfico 20 – Variação da Capacidade

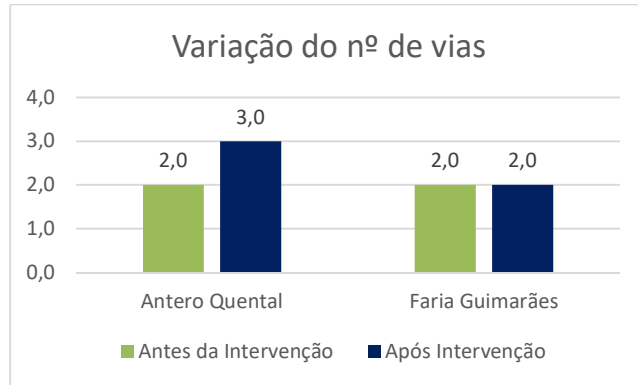


Gráfico 21 – Variação do nº de vias

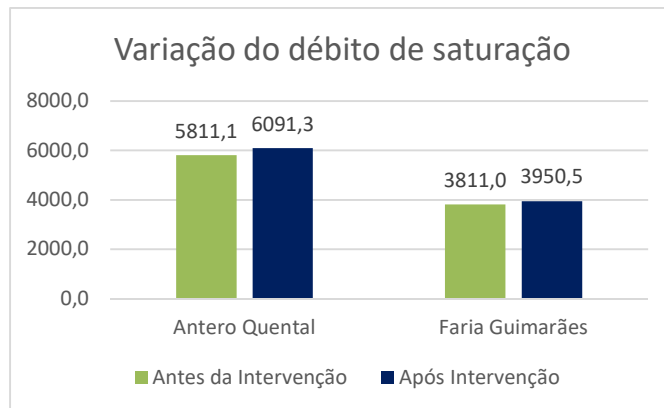


Gráfico 22 – Variação do débito de saturação

Desta forma, torna-se importante verificar de que forma o desempenho de uma dada interseção pode ser afetada pelo comportamento abusivo dos utilizadores da mesma, já que, como visto anteriormente, a redução do número de vias disponíveis na interseção da Rua da Constituição com a Rua de Faria Guimarães, tem a sua origem no estacionamento abusivo / ilegal, por parte dos utilizadores, até junto da linha de paragem do lado esquerdo.

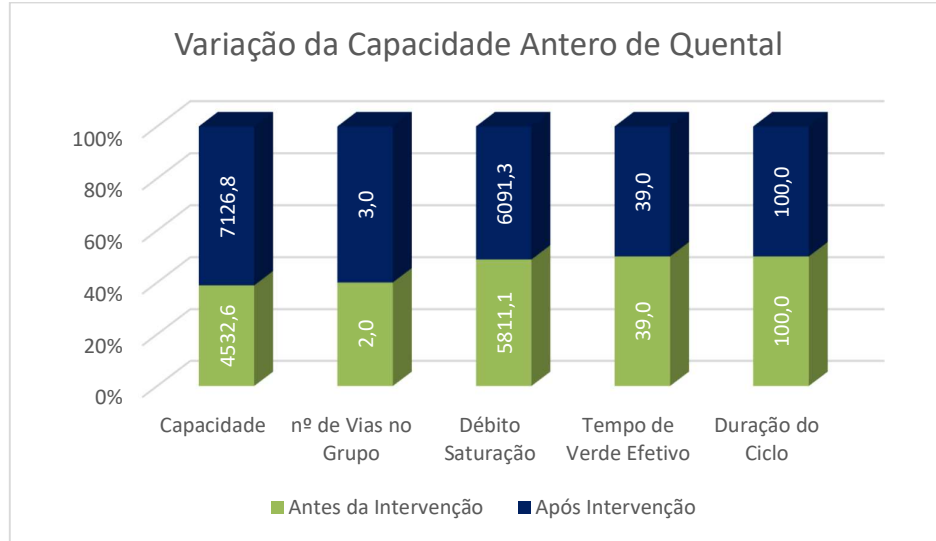


Gráfico 23 – Variação global da interseção com Antero de Quental

Esta situação, pode ser comprovada, quando comparada com a que se verifica na interseção com a Rua de Faria Guimarães, onde a variação existente, se devem apenas a um ligeiro ajusto nos débitos de saturação em função de alguma melhoria nas condições de circulação.

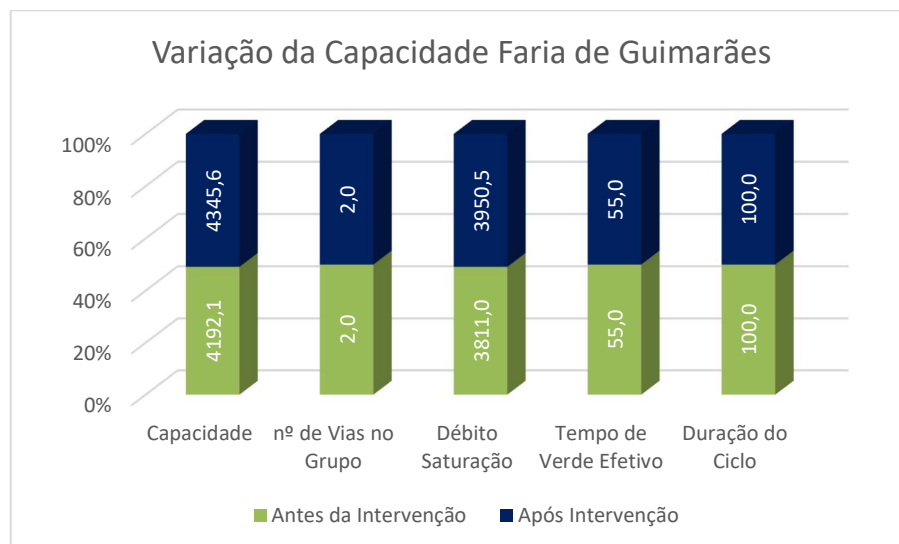


Gráfico 24 – Variação global da interseção com Faria Guimarães

6

CONCLUSÃO

6.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões relativamente ao estudo realizado em dois pontos particulares da Rua da Constituição na Cidade do Porto. As interseções com as ruas de Antero de Quental e de Faria Guimarães, foram assim objeto de análise em duas fases distintas.

Sendo que as duas interseções foram alvo de intervenções físicas, na Rua da Constituição, a primeira fase refere-se à situação verificada antes da intervenção, referindo-se a segunda fase aos dados recolhidos após a intervenção.

Em termos das intervenções em si, é de particular relevo para a colocação de balizas reversíveis para a delimitação das vias pertencentes à faixa de rodagem, junto da paragem, podendo o ponto de início variar da delimitação variar entre as duas interseções

Foi desta forma possível concluir, relativamente aos dados obtidos, que as intervenções resultaram de maneira distinta em cada um dos casos, verificando-se uma melhoria evidente na interseção com a Rua de Antero de Quental, onde voltaram a existir 3 vias disponíveis na faixa de rodagem, o que antes não se verificava. Essa situação estava claramente associada ao comportamento abusivo por parte dos utilizadores da via, com a realização de estacionamento abusivo / ilegal, dentro da faixa de rodagem do lado esquerdo até junto da linha de paragem, impedindo a utilização da via exclusiva destinado ao movimento de viragem à esquerda.

Este condicionalismo, obrigava os veículos que pretendiam realizar este movimento, a ocupar a via central, sendo que esta inicialmente seria exclusiva, o que acabou por diminuir em muito a capacidade existente e o débito de saturação verificado, uma vez que em vez de 3 vias, duas exclusivas (movimento de viragem à esquerda e movimento em frente) e uma partilhada (movimento de viragem à direita movimento em frente), apenas existiam na prática 2 vias partilhadas.

É ainda importante referir que os estacionamentos temporários para cargas e descargas realizados na via da direita, sofreram também eles uma diminuição importante, mantendo-se apenas presente os condicionalismos impostos pela presença de uma paragem de autocarro próxima da interseção.

Na interseção com a Rua de Faria Guimarães, as melhorias ainda que existentes, não foram tão significativas, uma vez que antes da intervenção, já existiam lugares destinados aos estacionamento do lado esquerdo da faixa de rodagem até junto da linha de paragem, existindo apenas algumas paragens relacionadas com a chegada e partida de estudantes afetos ao colégio existente junto à faixa à via e a situações de carga e descarga.

Comparativamente, a grande alteração verificada prende-se com a delimitação física da via destinada a velocípedes à direita da faixa de rodagem, bem como das restantes vias, com recurso a balizas reversíveis. Esta situação de certo modo, restringiu a possibilidade de paragem de veículos do lado direito da faixa de rodagem.

Na análise realizada em termos de metodologias, constata-se que, embora os fatores de ajustamento utilizados variem entre os dois métodos selecionados, HCM e Webster, a variação dos valores obtidos não se traduz numa diferença muito significativa entre as duas metodologias no caso da interseção com a Rua de Antero de Quental.

A tipologia do estacionamento realizado do lado esquerdo, associado possivelmente a estacionamentos de longa duração por parte de utilizadores ligados aos estabelecimentos de comércio adjacente, não se traduz num número significativo de manobras. Uma vez que um dos principais fatores de diferenciação entre as metodologias, se prende com a avaliação do impacto do estacionamento no modelo descrito no HCM e que Webster não contabiliza, uma vez que este ajustamento tem por base o número de manobras de estacionamento realizadas, nesta interseção, esta diferenciação não é visível.

Por outro lado, na interseção com a Rua de Faria Guimarães, a situação é distinta, devido à presença de lugares de estacionamento junto à faixa de rodagem, bem como à entrada e saída de viaturas no parque subterrâneo e na oficina existentes junto à interseção.

Conclui-se pois que uma ponderação cuidada de vários fatores, ainda que em certos casos, não se traduza em diferenças significativas, não são desprezáveis, podendo mesmo traduzir-se em diferenças significativas nos valores obtidos.

Esta apreciação reflete-se também na criação de modelos de tráfego, nomeadamente com recurso ao software SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks), na medida em que, embora as metodologias utilizadas possuam alguns fatores de ajustamento, de modo a ajustar da melhor forma a situação real com o modelo, as diferenças são muito significativas.

Dependendo também da procura existente para cada período de tempo, é notória uma discrepância em grande escala dos resultados obtidos para o modelo realizado tendo em considerações as metodologias descritas no HCM e de Webster, com os modelos definidos a partir da recolha de dados no local.

Tal pode acontecer, não só devido à não consideração de aspectos de carácter geométrico das interseções em estudo, mas acima de tudo, da dificuldade em quantificar em termos de modelo, o impacto que os diferentes comportamentos adotados pelos utilizadores, como são os casos do estacionamento ilegal ou abusivo, podem ter no desempenho de uma determinada interseção, e por consequência na rede viária.

Ainda que estas sejam conclusões retiradas a partir dos resultados obtidos, refira-se ainda que numa perspectiva futura, seria relevante um estudo com um número maior de ciclos válidos no que diz respeito à recolha de dados, no sentido de mitigar erros existentes, sendo aconselhável um número mínimo de ciclos de aproximadamente 30.

Esse estudo poderia ajudar a dissipar algumas dúvidas, uma vez que nas duas interseções em estudo neste relatório, existiu uma diferença muito significativa entre o número de ciclos válidos entre uma e outra, em especial depois de realizadas as intervenções nos locais.

Referências Bibliográficas

- [1] Macedo, Joaquim Miguel Gonçalves. *Seleção da Tipologia de Cruzamentos em Função da Procura*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [2] Pires da Costa, Américo; Seco, Álvaro; Vasconcelos, António. *Volume 7- Sinais Luminosos. Em Manual do planeamento de acessibilidades e transportes*, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, 2008.
- [3] *Acetatos de Circulação e Transportes 1*, Secção Vias de Comunicação do Departamento de Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2011.
- [4] Machado, Ana Isabel Pereira Sarmiento *Projecto de Instalação de um Sistema de Sinalização Luminosa numa Interseção Giratória*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [5] Tavares, José. *Sistemas centralizados de controlo de tráfego urbano*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 1994
- [6] TRB. *HCM 2010 Highway Capacity Manual*, Transportation research board of the national academies, Washington, DC. 2010
- [7] Webster, F. V. *Traffic Signal Settings*. Road Research Technical Paper HMSO, London, 1958.
- [8] Akçelik, Rahmi. *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. 1998
http://www.sidrasolutions.com/Cms_Data/Contents/SIDRA/Folders/Resources/Articles/Articles/~contents/ECN248EAGPU5KBRB/Akcelik_ARR%20123_SignalTiming.pdf (07/04/17)
- [9] ANDRADE, Marta - *Métodos e Técnicas de Recolha de Dados de Tráfego - Algoritmo para a Definição da Matriz Origem/Destino*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000
- [10] Tavares, José. *Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afecção de Tráfego em Redes Urbanas*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [11] Akçelik, R.. *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. . Australian Road Research Board. 1989
- [12] Costa, A. P. *Cruzamentos regulados por sinais luminosos*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1987.
- [13] AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C. 1994.
- [14] Oliveira, Maria de Lurdes Simões. *Definição de uma Estratégia Optimizada de Controlo de Tráfego em Cruzamentos Usando Simulação Estocástica*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [15] Seco, Alvaro; Antunes, António; Pires da Costa, Américo; Silva, Ana Maria. *Volume 4 - Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária*, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, 2008.

ANEXOS

Anexos

Os anexos encontram-se disponíveis em formato digital.