



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

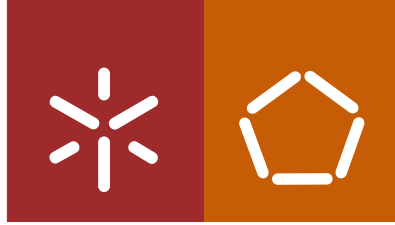
Luís António Pena Jardim Gonçalves

Modelação de uma rede de transporte individual. Estudo de caso Guimarães

Luís António Pena Jardim Gonçalves **Modelação de uma rede de transporte individual. Estudo de caso Guimarães**

UMinho | 2016

novembro de 2016



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luís António Pena Jardim Gonçalves

Modelação de uma rede de transporte individual. Estudo de caso Guimarães

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Doutor Paulo Jorge Gomes Ribeiro
e do
Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares

DECLARAÇÃO

Nome: Luís António Pena Jardim Gonçalves

Endereço electrónico: a65183@alunso.uminho.pt Telefone: 918677857

Número do Bilhete de Identidade: 14380724

Título: Modelação de uma rede de transporte individual. Estudo de caso Guimarães

Orientadores: Doutor Paulo Jorge Gomes Ribeiro
E Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação é um passo muito importante na minha vida, pelo que não poderia deixar de prestar agradecimentos a algumas pessoas, cuja a ajuda e colaboração, direta e indireta, foi crucial para que fosse possível aqui chegar.

Começo por agradecer ao meu orientador Doutor Paulo Jorge Gomes Ribeiro e pela orientação, preocupação, incentivo, partilha de conhecimentos, tanto técnicos como metodológicos e pela forma amigável que sempre me recebeu durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Ao Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares, pela partilha de conhecimentos, disponibilidade e orientação durante a parte mais crucial deste trabalho e à FEUP pela permissão do uso das instalações e do software para desenvolvimento deste trabalho.

Um agradecimento muito grande aos meus pais, irmão e avó pelo apoio incondicional, pelo esforço e compreensão que me deram ao longo destes anos do curso de Engenharia Civil, num percurso que nem sempre foi fácil.

A toda a equipa do Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica, do departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, que me acolheu com tanta simpatia e disponibilidade.

A toda a equipa do Laboratório de Transportes, do departamento de Engenharia Civil da FEUP, pelo acolhimento, simpatia e disponibilidade, com especial agradecimento ao Eng. Murilo Santos, com quem partilhei conhecimentos tantos técnicos como metodológicos durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos de mestrado pela amizade, convivência, pelo ambiente proposto durante todo desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos, pelo grande apoio, ajuda, amizade que sempre demonstraram durante toda esta fase da minha vida, em especial ao meu grande amigo Cláudio Vilaça

A toda a minha família pelo apoio e incentivo que sempre demonstraram.

RESUMO

Os modelos de transportes representam uma importante ferramenta de planeamento de redes viárias, tendo em consideração a melhoria do seu desempenho em termos de circulação e segurança.

O principal objetivo desta dissertação consiste no estudo e caracterização do modelo de transportes de quatro passos, para que, através de um software especializado de modelação de transportes, seja possível avaliar o desempenho de uma rede viária, com uma procura caracterizada única e exclusivamente por contagens de tráfego em determinadas interseções. Deste modo, será apresentado e caracterizado o procedimento de cálculo para aplicação do modelo de quatro passos, com base no software de modelação de transportes PTV Visum 15 (meso e macroscópico) que permita a analisar as várias fases do processo, sobretudo a que diz respeito à afetação de viagens à rede.

Para além disso, será analisada e gerada de uma matriz origem – destino (OD) para a hora de ponta da manhã e da tarde tendo por base contagens de tráfego em determinados elementos da rede viária. Para esse efeito, será apresentado o processo de cálculo e discutidos os principais problemas associados à criação e aplicação dos resultados desta matriz. Por outro lado, pretende-se identificar as principais fragilidades no desenvolvimento desse processo, de modo a que este documento possa representar um elemento de consulta para futuros trabalhos de afetação tráfego de um modelo de quatro passos, a um nível macroscópico, sobretudo com a utilização do software PTV Visum.

Por último, será desenvolvido um estudo de caso para a rede viária distribuidora da cidade de Guimarães, com o objetivo de avaliar e discutir os resultados de um modelo para essa rede associada ao modo de transporte individual. Assim, será apresentada uma análise das condições de circulação da rede, recorrendo-se a caracterização do volume de tráfego e do seu rácio volume-capacidade e atraso médio em cada arco, para o cenário base (rede atual) e mais três cenários, relacionados com o encerramento de ruas e abertura de novas vias distribuidoras.

Palavras-chave: Planeamento de transportes; Modelação de Transportes; Modelo de quatro passo; Afetação de tráfego; Visum.

ABSTRACT

Transport models represent an important planning tool for road networks, taking into account the improvement of their performance in terms of traffic and safety.

The main objective of this dissertation is the study and characterization of the four-step transport model, so that, through specialized transportation modeling software, it is possible to evaluate the performance of a road network, with a search characterized solely and exclusively by counts Traffic at certain intersections. In this way, the calculation procedure for the application of the four-step model will be presented and characterized, based on the Visum 15 PTV transport modeling software (meso and macroscopic) to analyze the various stages of the process, To the allocation of trips to the network.

In addition, it will be analyzed and generated from a source-destination (OD) matrix for the morning and afternoon rush hour based on traffic counts on certain elements of the road network. For this purpose, the calculation process will be presented and the main problems associated with the creation and application of the results of this matrix will be discussed. On the other hand, it is intended to identify the main weaknesses in the development of this process, so that this document can represent an element of consultation for future works of traffic affectation of a model of four steps, at a macroscopic level, mainly with the use Of the PTV Visum software.

Finally, a case study will be developed for the distribution network of the city of Guimarães, with the objective of evaluating and discussing the results of a model for this network associated with the individual mode of transport. Thus, an analysis of the conditions of circulation of the network will be presented, using the characterization of the volume of traffic and its volume-capacity ratio and average delay in each arc, for the base scenario (current network) and three scenarios, related with the closure of streets and the opening of new distribution routes.

Keywords: Transport planning; Transportation Modeling; Four-step model; Traffic impingement; Visum.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	3
1.1.	Enquadramento.....	3
1.2.	Objetivos	5
1.3.	Metodologia.....	6
1.4.	Estrutura da dissertação.....	7
2.	ESTADO DA ARTE – MODELOS EM TRANSPORTES.....	11
2.1.	Introdução.....	11
2.2.	Modelação em transportes.....	18
2.2.1.	Modelo de 4 passos	20
2.2.1.1.	Geração/Atração de viagens.....	21
2.2.1.2.	Distribuição de viagens	29
2.2.1.3.	Repartição modal	34
2.2.1.4.	Afetação de tráfego	39
2.2.2.	Processo de Calibração e Validação.....	46
3.	CONSTRUÇÃO DE MODELOS	57
3.1.	Enquadramento geral.....	57
3.2.	Software de modelação – PTV Visum 15	59
3.3.	Desenho da rede de transporte individual	61
3.3.1.	Definição de zonamento.....	61
3.3.2.	Caracterização e definição de rede.....	63
3.3.3.	Elementos da rede	65
3.3.3.1.	Nós (<i>Nodes</i>) e Viragens (<i>Turn</i>).....	65
3.3.3.2.	Arcos (<i>Links</i>).....	66
3.3.3.3.	Zonas (<i>zones</i>)	68
3.3.3.4.	Conectores (<i>Connectors</i>)	69
3.4.	Métodos de contagem.....	70
3.4.1.	Técnicas de contagem de veículos	70
3.4.1.1.	Contagens manuais	71

3.4.1.2.	Contagens automáticas	72
3.4.1.3.	Contagem a partir de imagens de vídeo	73
3.5.	Construção de uma matriz OD.....	73
3.5.1.	Método de entrevistas no domicílio.....	75
3.5.1.1.	Dados básicos / ou informação inicial	75
3.5.1.2.	Período de análise.....	76
3.5.1.3.	Amostra	76
3.5.1.4.	Tratamento dos dados.....	76
3.5.2.	Método de identificação de matrícula.....	77
3.5.3.	Método de entrevistas na via	78
3.5.3.1.	Dados básicos / informações mínimas	78
3.5.3.2.	Localização e número de postos.....	79
3.5.3.3.	Período de análise.....	79
3.5.3.4.	Amostra	80
3.5.3.5.	Dimensionamento.....	80
3.5.4.	Matrizes no PTV Visum 15	81
3.5.4.1.	Matriz OD.....	81
3.5.4.2.	Skim Matrices.....	82
3.5.5.	Valores de impedância.....	85
3.6.	Afetação no software PTV Visum15	86
3.6.1.	Parâmetros do modelo de equilíbrio	87
3.7.	Processos de calibração do modelo	88
3.7.1.	TFlowFuzzy	89
3.7.2.	Análise interativa	92
3.7.2.1.	Flow Bundles.....	93
3.7.2.2.	Isócronas.....	95
3.7.2.3.	Identificação do caminho mais rápido.....	97
3.7.3.	Parâmetros de calibração e validação	99
ESTUDO DE CASO - GUIMARÃES		105
4.1.	Enquadramento geral	105
4.2.	Desenho da rede.....	109
4.2.1.	Criação dos tipos de Arcos	111

4.2.2.	Criação dos nós	113
4.2.3.	Criação dos arcos	115
4.2.4.	Seleção das viragens.....	118
4.2.5.	Criação das zonas	119
4.2.6.	Criação dos conectores.....	122
4.3.	Dados de carregamento	124
4.3.1.	Contagens de tráfego.....	124
4.3.1.1.	Postos de contagem.....	125
4.3.1.2.	Valores das contagens de tráfego.....	133
4.3.2.	Matriz OD Inicial	137
4.4.	Afetação e calibração do modelo	143
4.4.1.	1ª Iteração	144
4.4.2.	2ª Iteração.....	161
4.4.3.	7ª Iteração	161
4.4.4.	8ª Iteração	162
4.4.5.	Ultima Iteração	164
4.4.6.	Ultima Iteração – Hora de Ponta da Tarde.....	164
4.4.7.	Validação das contagens.	165
4.5.	Matriz OD final	168
4.6.	Apresentação de resultados	170
4.7.	Análise de possíveis futuras intervenções na rede viária da cidade de Guimarães – formação de cenários	180
4.7.1.	Cenário 1	180
4.7.1.1.	Intervenções	180
4.7.1.2.	Apresentação gráfica dos resultados	183
4.7.2.	Cenário 2	188
4.7.2.1.	Intervenções	188
4.7.2.2.	Apresentação gráfica dos resultados	196
4.7.3.	Cenário 3	204
4.7.3.1.	Intervenções	204
4.7.3.2.	Apresentação gráfica dos resultados	205
4.7.4.	Análise e discussão dos resultados.....	213

5.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	227
5.1.	Dificuldades	227
5.2.	Conclusões	229
5.3.	Perspetivas futuras	233
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	237
	ANEXOS.....	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de detalhe dos modelos	15
Figura 2 - Representação esquemática de uma rede de transportes (Tavares, 2003)	19
Figura 3 - Modelo Clássico de 4 passos, Transportes (Ortúzar & Willumsen, 2011).....	21
Figura 4 - Distribuição da taxa de viagem por tipo de família (Ortúzar & Willumsen, 2011)	28
Figura 5 - Distribuição de viagens por motivo e matriz OD (Ortúzar & Willumsen, 2011)....	29
Figura 6 - Diagrama Fundamental das correntes de tráfego (Viegas, 2014).....	45
Figura 7 - Desenvolvimento de um modelo	47
Figura 8 - Propagação dos erros de modelação (Tavares, 2003).....	48
Figura 9 - Fiabilidade estimada de alguns parâmetros da modelação (Tavares, 2003 e Ortúzar & Willumsen, 2011)	50
Figura 10 - Estrutura de Funcionamento PTV Visum (Duarte, 2013 e PTV Group, 2015).....	60
Figura 11 - Modelação de interseções: a) simples; b) expandida (Vasconcelos, 2004).....	64
Figura 12 - Janela de identificação de nó no PTV Visum 15	66
Figura 13 - janela de identificação dos arcos no PTV Visum 15	67
Figura 14 - janela de identificação das Zonas no PTV Visum 15	69
Figura 15 - Janela de identificação do conector no PTV Visum 15	70
Figura 16 - Fases de construção de uma matriz OD de acordo com o modelo de 4 passos	74
Figura 17 - Janela de identificação da Matriz OD no PTV Visum 15	82
Figura 18 - Janela de carregamento dos dados da Matriz OD.....	82
Figura 19 - Exemplo de uma Matriz OD no PTV Visum 15 (PTV Group, 2015)	82
Figura 20 - Janela de Funcionalidade do PTV Visum 15.....	84
Figura 21 - Escolha dos valores a calcular nas Skim Matrices	84
Figura 22 - Exemplo de Skim Matrices para a variável t_0 para o transporte individual no PTV Visum 15	85
Figura 23 - Parâmetros do modelo de Equilíbrio	88
Figura 24 - Processo de calibração do TFlowFuzzy (PTV Group, 2015).....	90
Figura 25 - Esquema do processo iterativo da metodologia TFlowFuzzy (Duarte, 2013).....	91
Figura 26 - Parâmetros TFlowFuzzy	92
Figura 27 - Janela de criação de filtros no PTV Visum 15	95
Figura 28 - Tráfego com todos os arcos ativos no flow Bundles (a) e Tráfego com arcos passivos (b) (PTV Group, 2015)	95

Figura 29 - Tempo de viagem do transporte individual até ao destino: exibição nos arcos (PTV Group, 2015)	97
Figura 30 - Caminho mais rápido entre dois nós (PTV Group, 2015).....	98
Figura 31 - Exemplo de uma análise por gráfico de dispersão de valores observados e modelados (Vilarinho, 2008).	101
Figura 32 - Exemplo de um gráfico de dispersão de valores observados versus modelados, com uma reta de regressão $y = x$ (Vilarinho, 2008).....	102
Figura 33 - Zonamento da Cidade de Guimarães	106
Figura 34 - Zona de Estudo (OpenStreetMap, 2016).....	107
Figura 35 - Rede da cidade de Guimarães modelada.....	107
Figura 36 - Enquadramento da rede modelada no território	108
Figura 37 - Dimensão da rede permitida pela licença de Training Version do PTV Visum 15	109
Figura 38 - Ativação do OpenStreetMap	109
Figura 39 - Janela de apresentação do PTV Visum 15 com o OpenStreetMap ativo	110
Figura 40 - Etapas de desenho da rede.....	110
Figura 41 - Menu Network.....	111
Figura 42 - Janela de Identificação dos Link Types	111
Figura 43 - Menu Graphics	112
Figura 44 - Menu Edit graphic parameters, visualização dos Link Types.....	112
Figura 45 - Menu Network Editor.....	113
Figura 46 - Exemplo da seleção da localização do nó	114
Figura 47 - Janela de Identificação dos nós	114
Figura 48 - Forma dos nós	114
Figura 49 - Nós criados no estudo de caso.....	115
Figura 50 - Desenho do arco	115
Figura 51 - Janela de criação dos arcos.....	116
Figura 52 - Janela de identificação dos arcos	117
Figura 53 - Forma dos arcos	117
Figura 54 - Estrutura da rede em relação aos arcos	118
Figura 55 - Seleção do nó que se pretende caracterizar as viragens	119
Figura 56 - Lista de caracterização das viragens e respetiva representação	119
Figura 57 - Seleção da localização do centroíde.....	120
Figura 58 - Janela de identificação das zonas	120

Figura 59 - Criação do limite geométrico da zona	121
Figura 60 - Menu Zones-Display, classificação das zonas.....	121
Figura 61 - representação das zonas do estudo de caso.....	122
Figura 62 - Seleção dos elementos para a ligação do conector	123
Figura 63 - Janela de identificação dos conectores	123
Figura 64 - representação dos conectores utilizados no estudo de caso	124
Figura 65 - Localização dos Postos de Contagem.....	125
Figura 66 - Posto 1 (GoogleMaps, 2016)	126
Figura 67 - Caracterização dos movimentos - posto 1 (Quadrilátero, 2013)	126
Figura 68 - Posto 2 (GoogleMaps, 2016)	127
Figura 69 - Caracterização dos movimentos - posto 2 (Quadrilátero, 2013)	127
Figura 70 - Posto3 (GoogleMaps, 2016)	128
Figura 71 - Caracterização dos movimentos - posto 3 (Quadrilátero, 2013)	128
Figura 72 - Posto 4 (GoogleMaps (2016)).....	129
Figura 73 - Caracterização dos movimentos - posto 4 (Quadrilátero, 2013)	129
Figura 74 - Posto 5 (GoogleMaps, 2016)	130
Figura 75 - Caracterização dos movimentos - posto 5 (Quadrilátero, 2013)	131
Figura 76 - Posto 6 (GoogleMaps, 2016)	132
Figura 77 - Caracterização dos movimentos - posto 6 (Quadrilátero, 2013)	132
Figura 78 - Posto 7 (GoogleMaps (2016)).....	133
Figura 79 - Caracterização dos movimentos - posto 7 (Quadrilátero, 2013.....	133
Figura 80 - Viragens referentes ao ponto de contagens 4.....	137
Figura 81 - Menu View	138
Figura 82 - Janela de criação e seleção de matrizes	138
Figura 83 - Janela de identificação de matrizes.....	139
Figura 84 - Matriz de valor 0 no PTV Visum 15	139
Figura 85 - Janela Set Value.....	140
Figura 86 - Janela Set Value - opção Constant.....	140
Figura 87 - Excerto da matriz OD inicial no PTV Visum 15	140
Figura 88 - Menu Demand	141
Figura 89 - Janela TSys/Modes/DSeg	141
Figura 90 - Janela de criação do segmento de procura.....	141
Figura 91 - Janela Demand Data	142
Figura 92 - Janela Select matrix	142

Figura 93 - Processo de afetação e calibração do modelo do estudo de caso	144
Figura 94 - Menu Network editor - opção filtro das viragens	145
Figura 95 - Janela de criação de filtros nas viragens	145
Figura 96 - Opções viragens	146
Figura 97 - Janela Multi-edit das viragens.....	146
Figura 98 - Janela de atribuição de atributos a outros atributos.....	146
Figura 99 - Seleção do campo AddValue1	147
Figura 100 - Atribuição do campo AddValue1 ao campo AddValue3.....	147
Figura 101 - Menu Calculate	148
Figura 102 - Janela Procedure sequence	148
Figura 103 - Janela de escolha das funcionalidades	149
Figura 104 - Funcionalidades para a afetação e calibração do modelo	149
Figura 105 - Seleção do segmento de procura	150
Figura 106 - Janela Procedure sequence, célula Variant/file	150
Figura 107 - Janela de caracterização do modelo de Equilíbrio	151
Figura 108 - Janela de caracterização do TFlowFuzzy.....	152
Figura 109 - Janela User-defined attributes	153
Figura 110 - Janela Create user-defined attribute (Turns).....	153
Figura 111 - Janela Insert function	154
Figura 112 - Inserir operantes da função GEH	154
Figura 113 - Seleção dos atributos Operantes.....	154
Figura 114 - Forma da função GEH no PTV Visum 15	155
Figura 115 - Menu Lists.....	155
Figura 116 - Seleção da lista das viragens	155
Figura 117 - Lista das viragens.....	156
Figura 118 - Janela Attribute selection (Turns)	156
Figura 119 - Lista das viragens Pretendida.....	157
Figura 120 - Informação de erro	157
Figura 121 - Janela de Informação.....	158
Figura 122 - Valores da Primeira iteração, Excerto.....	158
Figura 123 - Afetação do tráfego da 1ª iteração - Flow Bundles.....	159
Figura 124 - Janela Search das viragens	159
Figura 125 - Posto de contagem 2, movimento 4	160
Figura 126 - Menu Graphics, opção Shortest path search	162

Figura 127 - Caminho mais rápido entre a Zona 11 e a Zona 14	163
Figura 128 - Caminho mais rápido entre a zona 1 e a zona 14, depois das alterações.....	163
Figura 129 - Alteração efetuada na rede, hora de ponta da tarde	165
Figura 130 - Gráfico de Dispersão, Hora de Ponta da Manhã.....	168
Figura 131 - Gráfico de Dispersão, Hora de Ponta da Tarde	168
Figura 132 - Pontos Críticos.....	170
Figura 133 - Volumes de tráfego na hora de ponta da manhã.....	172
Figura 134 - Volumes de tráfego na hora de ponta da tarde.....	173
Figura 135 - Rácio volume/capacidade na hora de ponta da manhã	174
Figura 136 - Rácios volume/capacidade na hora de ponta da tarde	175
Figura 137 - Atrasos médios para a hora de ponta da manhã.....	176
Figura 138 - Atrasos médios na hora de ponta da tarde	177
Figura 139 - Acessibilidade para a hora de ponta da manhã.....	179
Figura 140 - Acessibilidade na hora de ponta da tarde	179
Figura 141 - Rede do Cenário 1.....	181
Figura 142 - Local da Primeira Ligação - Fotografia Aérea (GoogleMaps, 2016).....	181
Figura 143 - Local da Primeira Ligação (OpenStreetMaps, 2016)	181
Figura 144 - Exemplo de Alteração da Primeira Ligação	181
Figura 145 - Local da segunda Ligação - Fotografia Aérea (GoogleMaps, 2016).....	182
Figura 146 - Local da segunda Ligação (OpenStreetMaps, 2016).....	182
Figura 147 - Exemplo de Alteração da segunda Ligação	182
Figura 148 - Volumes de tráfego no cenário 1 na hora de ponta da manhã.....	183
Figura 149 - Volumes de tráfego no cenário 1 na hora de ponta da tarde.....	184
Figura 150 - Rácios Volume/capacidade no cenário 1 na hora de ponta da manhã.....	185
Figura 151 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 1 na hora de ponta da tarde.....	186
Figura 152 - Atrasos médios no cenário 1 na hora de ponta da manhã.....	187
Figura 153 - Atrasos médios no cenário 1 na hora de ponta da tarde.....	188
Figura 154 - Cenário 2 - encerramento de ruas	189
Figura 155 - Rua Serpa Pinto, Av. Barbosa e Largo Martins Sarmiento (GoogleMaps, 2016)	189
Figura 156 - Rua Serpa Pinto, Av. Barbosa e Largo Martins Sarmiento (OpenStreetMaps, 2016)	190
Figura 157 - Alameda de S. Dâmaso (GoogleMaps, 2016).....	190
Figura 158 - Alameda S. Dâmaso (OpenStreentMaps, 2016).....	191

Figura 159 - Largo do Toural (GoogleMaps, 2016)	191
Figura 160 - Largo do Toural (OpenStreetMaps, 2016)	191
Figura 161 - Rua de Santo António (GoogleMaps, 2016)	191
Figura 162 - Rua de Santo António (OpenStreetMaps, 2016).....	192
Figura 163 - Rua Paio Galvão e Largo do Toural (GoogleMaps, 2016)	192
Figura 164 - Rua Paio Galvão e Largo do Toural (OpenStreetMaps, 2016)	193
Figura 165 - Avenida D. Afonso Henriques (GoogleMaps, 2016).....	193
Figura 166 - Avenida D. Afonso Henriques (OpenStreetMaps, 2016).....	193
Figura 167 - Rede do cenário 2 – interceções intervencionadas.....	194
Figura 168 - 1ª zona de intervenção (GoogleMaps, 2016)	194
Figura 169 - 1ª zona de intervenção (OpenStreetMaps, 2016)	194
Figura 170 - 1ª intervenção	195
Figura 171 - 2ª zona de intervenção (GoogleMaps, 2016)	195
Figura 172 - 2ª zona de intervenção (OpenStreetMaps, 2016)	195
Figura 173 - 2ª intervenção	195
Figura 174 - Volumes de tráfego no cenário 2 na hora de ponta da manhã.....	196
Figura 175 - Volumes de tráfego no cenário 2 na hora de ponta da tarde	197
Figura 176 - Rácios Volume/capacidade no cenário 2 na hora de ponta da manhã	198
Figura 177 - Rácio Volume/Capacidade no cenário 2 na hora de ponta da tarde.....	199
Figura 178 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da manhã.....	200
Figura 179 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da tarde	200
Figura 180 - Atrasos médios no cenário 2 na hora de ponta da manhã	201
Figura 181 - Atrasos médios no cenário 2 na hora de ponta da tarde	202
Figura 182 - Atrasos médios no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da manhã.....	203
Figura 183 - Atrasos médios no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da tarde	203
Figura 184 - Rede do cenário 3	204
Figura 185 - Volumes de tráfego no cenário 3 na hora de ponta da manhã.....	205
Figura 186 - Volumes de tráfego no cenário 3 na hora de ponta da tarde	206
Figura 187 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 3 na hora de ponta da manhã.....	207
Figura 188 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 3 na hora de ponta da tarde	208

Figura 189 - Rácios Volume/Capacidade na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da manhã	209
Figura 190 - Rácios Volume/Capacidade na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da tarde	209
Figura 191 - Atrasos médios no cenário 3 na hora de ponta da manhã.....	210
Figura 192 - Atraso médios no cenário 3 na hora de ponta da tarde	211
Figura 193 - Atrasos médio na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da manhã	212
Figura 194 - Atrasos médio na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da tarde.....	212
Figura 195 - Pontos de análise.....	214
Figura 196 - Volumes de tráfego - hora de ponta da manhã	217
Figura 197 - Volumes de tráfego - hora de ponta da tarde	217
Figura 198 - Rácios Volume/Capacidade - hora de ponta da manhã	218
Figura 199 - Rácios Volume/Capacidade - hora de ponta da tarde	218
Figura 200 - Atrasos médios - hora de ponta da manhã	219
Figura 201 - Atrasos médios - hora de ponta da tarde.....	219

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de Geração de Viagens para diferentes tipos de ocupação do solo (Viagens/1.000m ²) (Duarte, 2013).....	26
Tabela 2 - Fiabilidade estimada de alguns parâmetros da modelação (Tavares, 2003)	49
Tabela 3 – Exemplo de tipologia de caracterização dos arcos da rede (Ramos & Neto, 2012)	68
Tabela 4 - Zonas - Características	106
Tabela 5 - Capacidade do tipo de viragem	118
Tabela 6 - Exemplo de estruturação dos dados do posto de contagem 7 (Quadrilátero, 2013)	134
Tabela 7 - Fatores de equivalência (Martins et al., 2006)	134
Tabela 8 – Excerto da tabela de resultados da conversão do tráfego para unidade de veículo equivalente para a hora de ponta da manhã.....	135
Tabela 9 - Tráfego total de cada interseção para a hora de ponta da manhã.....	136
Tabela 10 - Tráfego total de cada interseção para a hora de ponta da tarde.....	136
Tabela 11 - Extrato da Matriz OD inicial (Valor 10)	138
Tabela 12 - Resultados GEH, primeira iteração	160
Tabela 13 - Resultado GEH, segunda iteração	161
Tabela 14 - Resultados GEH, sétima iteração	161
Tabela 15 - Resultados GEH, oitava iteração.....	164
Tabela 16 - Resultados GEH, última iteração	164
Tabela 17 - Resultados GEH - última iteração - hora de ponta da tarde	165
Tabela 18 - Excerto da tabela de resultados da comparação entre os valores das contagens e os valores modelados e respetivos GEH - Hora de Ponta Manhã.....	167
Tabela 19 - Resultados RMSE	167
Tabela 20 - Matriz OD Final - Hora de ponta da Manhã (u.v.e./h).....	170
Tabela 21 - Pontos de análise – critérios de seleção.....	213
Tabela 22 - Comparação de resultados entre a rede inicial e os vários cenários – Hora de Ponta da Manhã	214
Tabela 23 - Variação dos resultados na hora de ponta da manhã.....	215
Tabela 24 - Comparação de resultados entre a rede e os vários cenários - Hora de Ponta da Tarde.....	215
Tabela 25 - Variação dos resultados na hora de ponta da tarde	216

NOMENCLATURA

OD – Origem/Destino

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TSys – Sistema de Transporte

PrT – Transporte Privado

PuT – Transporte Público

HGV – Veículos Pesados

u.v.e. – Unidade de Veículo Ligeiro Equivalente

PTV Visum 15 – Software de Modelação Macroscópica de Tráfego, criado pela PTV Group.

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os problemas do funcionamento de uma rede de transportes são cada vez mais atuais nas grandes cidades, como congestionamentos, poluição sonora e atmosférica, que têm impactos a nível social e económico diretamente ligados à qualidade de vida das populações. Assim, torna-se imperioso conhecer as dinâmicas das deslocações dos diferentes tipos de meios de transporte, nomeadamente o transporte individual, que representa a maioria do tráfego que solicita uma rede viária. Logo, é necessário realizar um bom planeamento do sistema de transportes de modo a eliminar problemas de desempenho da rede viária, determinando para esse efeito alguns indicadores, como relação entre a oferta e procura ao longo do tempo, que se pode traduzir em diversos custos, como o tempo perdido, vulgo atraso, de modo a tornar mais eficiente e segura a circulação dos veículos e das pessoas.

Deste modo, um dos principais objetivos do planeamento de transportes consiste na criação de boas condições para o deslocamento das pessoas, como a criação de boas condições de circulação com custos adequados. Atualmente grande parte das infraestruturas rodoviárias já estão implementadas e a tendência, devido a fatores económicos e políticos, é de reabilitação das mesmas, diminuindo assim a construção de novas. A reabilitação das infraestruturas rodoviárias tem como objetivo contribuir para o melhoramento do funcionamento da rede viária. Na base das reabilitações a serem efetuadas, deve existir todo um estudo de forma a saber se é viável ou não implementar alterações na rede. Que, por consequência, origina várias dúvidas, tais como: Como será feito o estudo? Quais os custos associados? Quais as melhorias na rede?

No planeamento de transportes existem vários tipos de estudos, como estudos de mobilidade, emissões de poluentes, níveis de ruído, estudos de tráfego, entre outros. Dentro dos estudos de mobilidade e transportes estão presentes os modelos de tráfego, que facilitam o estudo das redes de transportes, principalmente, redes com grande dimensão, tendo por base modelos matemáticos. Estes modelos permitem realizar uma avaliação “*a priori*” sobre alterações preconizáveis nos elementos de uma rede, de uma forma rápida, sem que para isso seja necessário realizar avultados investimentos associados ao desenvolvimento de modelos e análises à escala real.

Segundo Tavares (2003), os modelos de transportes tentam representar a localização e a distribuição geográfica das viagens, a seleção dos diferentes meios de transporte e dos vários itinerários, de forma a caracterizar os volumes de tráfego correspondentes às várias infraestruturas de transportes da rede viária.

A caracterização dos volumes de tráfego representa a fase de afetação de tráfego que consiste na atribuição das viagens aos arcos que constituem a rede viária, podendo ser descrita pela (Tavares, 2003):

- determinação dos caminhos lógicos entre cada origem e cada destino;
- atribuição e acumulação das viagens em cada arco;
- cálculo de indicadores do nível de desempenho da rede.

Os modelos de transporte têm inseridos um conjunto de variáveis (volume de tráfego, atraso médio, rácio volume/capacidade, etc.) que permitem avaliar o desempenho da rede, como largura e número de vias, velocidades base, contagens de tráfego, capacidade das vias, etc. Para que seja realizada a avaliação eficiente da rede, estas variáveis devem ser inseridas e posteriormente calibradas e validadas, de forma que a representação do modelo da rede seja a mais aproximada possível da realidade.

Porém, existem outros fatores muito difíceis de modelar, como por exemplo, a tomada de decisão de cada utilizador da rede, dado o grau de subjetividade envolvido. Como os modelos de transportes foram concebidos com base em modelos matemáticos e estatísticos que tentam fazer a previsão dos movimentos dos utilizadores da rede, há assim, em qualquer caso, uma simplificação da realidade.

Existe, assim, um equilíbrio difícil, que terá de ser conseguido entre a simplificação da realidade e aplicabilidade do modelo, ou seja, os modelos não podem conter demasiadas simplificações, pois podem levantar dúvidas quanto ao seu ajuste e à fiabilidade dos resultados e conclusões que se possam obter. Por outro lado, não se pode caminhar no sentido oposto, criando um modelo tão complexo que torne a sua aplicabilidade quase nula (Tavares, 2003).

Esta dissertação pretende percorrer com elevado detalhe a modelação de uma rede para transporte individual, tendo por base o modelo de transportes de quatro passos, de modo a poder aplica-lo na caracterização e avaliação do desempenho de uma parte da rede da cidade de

Guimarães, com particular incidência da fase da do modelo relacionada com a afetação de tráfego, sendo utilizado o software PTV Visum 15 e um conjunto de contagens de tráfego existentes realizadas no âmbito do estudo de mobilidade para o Quadrilátero. Assim, para que tal seja possível apresenta-se no ponto seguinte os principais objetivos deste trabalho.

1.2. Objetivos

O primeiro objetivo desta dissertação consiste no estudo e caracterização do modelo de transportes de quatro passos, para que, através de um software especializado de modelação de transportes, seja possível avaliar o desempenho de uma rede viária, com uma procura caracterizada única e exclusivamente por contagens de tráfego em determinadas interseções.

Assim, o segundo objetivo consiste na caracterização do procedimento de cálculo para aplicação do modelo de quatro passos com base no software de modelação de transportes PTV Visum 15 (meso e macroscópico), que permita a analisar as várias fases do processo, sobretudo a que diz respeito à afetação de viagens à rede.

Deste modo, o terceiro objetivo da dissertação é a criação de uma matriz OD para a hora de ponta da manhã e da tarde com base nos dados das contagens fornecidos. E com base nestas matrizes OD, analisar os resultados resultantes destas para a hora de ponte referente.

O quarto e último, objetivo desta dissertação, é a análise de cenários alternativos a um cenário base, que corresponde à situação atual da rede relativa ao transporte individual. Deste modo, pretende-se desenvolver um cenário restritivo que consiste no corte da circulação do tráfego rodoviário em ruas envolventes ao Centro Histórico da cidade de Guimarães, de forma a melhorar o desempenho pedonal dessas áreas. Por outro lado, em sentido inverso pretende-se desenvolver um cenário que vise melhorar o desempenho da rede do transporte individual através da criação de novas vias (arcos de rede). Por último, pretende-se criar um cenário que combine os dois cenários anteriores, isto é, um cenário restritivo com um cenário expansionista. Estes cenários serão selecionados de modo a alterar a estrutura base da rede, como criação de novos arcos, alteração de arcos, como aumento de vias, alteração dos sentidos de circulação e eliminação de arcos. Através destas análises pretende-se desenvolver uma análise crítica sobre

a possibilidade de identificar problemas existentes na rede, assim como estudar melhorias de forma a melhorar as condições de circulação, tanto para tráfego pedonal como rodoviário.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada para a realização da dissertação será apresentada através de uma lista de tarefas, que estão alinhadas com os objetivos a atingir nesta dissertação e que se apresentam de seguida:

TAREFA 1 – Estudo e caracterização do modelo de transportes de 4 passos.

Esta tarefa consiste na realização de um estado-da-arte sobre o tema em questão, com enfoque na definição e análise do modelo de transportes de 4 passos. No âmbito desta dissertação serão analisadas as principais referências desta área num contexto mais atual possível. Estudar a evolução da modelação de redes de transportes e do modelo de 4 passos, através da compilação de diversos documentos científicos. Para tal, a definição do modelo de 4 passos deve encerrar as diferentes dimensões que a constituem, geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e afetação do tráfego.

TAREFA 2 - Estudo de um software de modelação de transportes e desenvolvimento de uma metodologia.

Neste ponto será apresentado o software de modelação PTV Visum, e o desenvolvimento de uma metodologia de modelação, com a caracterização das várias fases.

TAREFA 3 – Desenho de uma rede de transporte individual, no software PTV Visum.

Após o estudo do software de modelação de transportes, PTV Visum, partimos para definição e explicação do desenho de uma rede de transportes individual. Caracterizando as diferentes fases de introdução de dados no modelo e como se definem os diferentes modelos constituintes de uma rede, nomeadamente eixo de estrada/via e diferentes tipos de cruzamentos, com base na metodologia adotada.

TAREFA 4 – Modelação e calibração de uma rede de transporte individual.

Esta tarefa consiste na modelação e calibração de uma rede de transporte individual, descrevendo e analisando as diferentes fases seguintes, tratamento das contagens e introdução dos resultados no modelo, construção das matrizes origem/destino e métodos de afetação da

procura à rede, processos de calibração do modelo e matrizes origem/destino e ferramentas de apoio (*TFlowFurry*, *FlowBundles* e identificação do caminho mais rápido), validação do modelo face à realidade (valores contados versus modelos), definição e gravação dos parâmetros gráficos para apresentação de resultados e definição de legendas e elaboração de figuras.

TAREFA 5 – Análise e estudo de técnicas de verificação da qualidade dos resultados e exploração dos resultados obtidos.

Esta tarefa consiste na realização de uma análise estatística dos resultados que permita a comparação entre os resultados obtidos a partir de valores contados e valores modelados. Esta análise será também realizada recorrendo ao *software* de modelação de transportes PTV Visum.

TAREFA 6 – Apresentação de propostas de intervenção para o estudo de caso.

Tendo em conta os resultados obtidos nas tarefas 4 e 5 pretende-se apresentar um conjunto de propostas que permitam alterar os padrões de mobilidade praticada em meio urbano.

TAREFA 7 – Discussão e descrição das conclusões obtidas.

Esta tarefa consiste na descrição das conclusões obtidas no estudo e aplicação do modelo de afetação. Para além disso pretende-se apresentar os problemas e dificuldades que surgiram durante todo o processo de modelação da rede de transporte privado, que represente uma discussão sobre a aplicabilidade e replicabilidade do processo apresentado na dissertação.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por 5 capítulos.

O capítulo 1 diz respeito à introdução, onde são apresentadas algumas noções acerca do tema em estudo. Neste capítulo é também feito o enquadramento do tema, descritos os objetivos desta dissertação e exposta a metodologia e a respetiva estrutura do documento.

No capítulo 2 é apresentado um estado da arte, onde são apresentadas algumas reflexões em relação ao tema e à descrição do modelo de quatro passos, com as várias etapas, geração/atração de viagens, distribuição de viagens, repartição modal e afetação, sendo este a base da modelação

de transportes. Neste capítulo é também feita uma pequena abordagem sobre a validação, calibração e escala da rede.

No capítulo 3 são descritos todos os elementos que constituem a rede e caracterização de cada um deles. São caracterizados os dados a serem inseridos no modelo, como dados de contagens e matriz OD e a forma como estes são recolhidos e organizados. É definido também o modelo de afetação utilizado e a caracterização do mesmo no software em causa. Por último são descritos e caracterizados os processos de calibração do modelo e forma a que este seja o mais fiel possível à realidade

No capítulo 4 descreve-se o estudo de caso. É apresentada a metodologia utilizada para a criação da rede e implementação dos dados fornecidos. É apresentado o processo de afetação e de criação da matriz OD utilizados e apresentação e análise dos resultados obtidos através dos mesmos. Ainda neste capítulo são apresentados 3 cenários de forma a melhorar as condições de circulação da rede em relação ao tráfego pedonal e rodoviário e análise destes em relação à rede principal.

No capítulo 5 são descritas as principais conclusões e as perspetivas futuras e analisam-se os objetivos inicialmente definidos. São ainda descritos e comentados os resultados obtidos e é realizada uma análise do desempenho do software PTV Visum, descrevendo-se os obstáculos e como estes foram ultrapassados durante todo o processo de modelação.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE. MODELOS EM TRANSPORTES

2. ESTADO DA ARTE – MODELOS EM TRANSPORTES

2.1. Introdução

A atividade de transportes, é um elemento essencial dentro dos serviços de distribuição, contribuído para a deslocação de pessoas e bens, nacionalmente e internacionalmente. Um sistema de transportes eficiente é fundamental para o sucesso de uma determinada economia regional, pois torna possível a integração geográfica das zonas de produção e consumo (Filho, 1995; Lee & Yoo, 2016).

Para isso é necessário um planeamento de transportes eficaz, que resulta na criação de serviços de transporte de qualidade, a um custo razoável e com um mínimo impacto. Uma má eficiência neste planeamento, pode originar situações de congestionamento da rede, a usos de solo indesejáveis, a impactos ambientais elevados e ao desperdício de recursos e fundos públicos (Tavares, 2003). Segundo Lopes Filho (2003), o planeamento de transportes (Leme, 2005): “Visa estimar o padrão dos fluxos interzonais (viagens de pessoas e veículos) na área de estudo, num determinado horizonte de projeto, a fim de avaliar alternativas de investimento no Sistema de Transportes Públicos e na malha viária, de forma a atender a procura futura de forma satisfatória”.

Mas o planeamento de transportes é um processo complexo que envolve um grande número de etapas (Tavares, 2003):

1. Definição do problema;
2. Delimitação da área de estudo;
3. Definição de objetivos e critérios;
4. Caracterização de procura e oferta de transportes;
5. Recolha de dados;
6. Desenvolvimento de alternativas e cenários;
7. Previsão do futuro comportamento do transporte;
8. Avaliação das alternativas;
9. Seleção do plano;
10. Implementação do plano;
11. Avaliação;
12. Monitorização; e

13. Atualização.

O desenvolvimento e avaliação das políticas de planeamento de transportes para melhorar a mobilidade nas cidades e periferias depende fortemente de modelos de transportes (Geroliminis & Daganzo, 2007). Estes desempenham um papel fundamental neste processo, nomeadamente nas etapas de previsão e avaliação, pois permitem a estimação do número de viagens que são (irão ser) realizadas e como estas se distribuem no tempo e no espaço, em função de uma dada utilização do solo e de alternativas de transporte. Estas estimativas são a base de sustentação de planos de transportes, de estudos de impacto e de estudos de investimentos (Tavares, 2003 e Duarte, 2013).

Estes modelos são utilizados com uma dada sequência de forma a responder a questões relacionadas com os padrões de deslocação (Tavares, 2003 e Vasconcelos, 2004):

- Ocupação do Território
 - População: quantas habitações?
 - Economia: que atividades?
 - Uso do solo: onde é que as pessoas habitam e onde desempenhas as suas atividades?
- Previsão de Transporte
 - Geração de Viagens: quantas se realizam?
 - Distribuição de viagens: de onde vêm e para onde vão? (em que período se realizam?)
 - Repartição Modal: que modos de transporte são utilizados?
 - Afetação das Viagens: que percursos são utilizados?
- Avaliação de Cenários: quais são os efeitos destas viagens?

Para o caso específico dos transportes, um modelo (Tavares, 2003): “Consiste na representação das diversas componentes da infraestrutura de transportes (rede viária, linhas de transporte público, gestão e controlo de tráfego) e dos fluxos de tráfego (utilizadores e veículos) de forma a reproduzir as condições operacionais do sistema viário.” Deste modo, estes modelos tornam principalmente possível a previsão dos fluxos de tráfego numa rede de transportes como sendo uma função do sistema que a contém e das suas características.

Com o avanço do campo informático, têm sido desenvolvidos modelos de tráfego (Modelos de simulação de tráfego) cada vez mais potentes. Mas, no entanto, o aumento da sua complexidade de forma a tentar uma maior aproximação à realidade, exige um esforço maior para a sua

representação. Por sua vez, a avaliação da qualidade de um modelo não deve ser feita pela sua dimensão, nem pela sua sofisticação, mas sim pela sua capacidade de resposta com a previsão necessária, função da informação fornecida, para a tomada de decisões (HMSO, 1991).

A simulação do tráfego veicular é um modelo matemático para representação de sistemas viários num computador, que tem o principal objetivo de replicar a sequência de eventos hipotéticos do sistema estudado, ao longo do tempo, tratando as entidades que percorrem o modelo (veículos) de forma agregada ou individualizada (Maia, 2007).

Segundo Machado (2004), os modelos matemáticos que descrevem o comportamento do fluxo de tráfego são um pré-requisito para uma diversa quantidade de tarefas possíveis de simular, podendo simular-se o planeamento de transportes, vigilância e monitorização de tráfego, deteção de incidentes, o desenho sistemático de estratégias de controlo, simulação, previsão, análise de poluição produzida pelos sistemas de transporte e do seu impacto ambiental.

Os modelos de simulação reproduzem, com maior ou menor nível de precisão a interação entre os veículos, os seus operadores e as infraestruturas, sendo caracterizadas as condições de circulação numa determinada rede devido a uma relação de oferta/procura. O carácter dinâmico de variação destas condições pode ser feito a partir de uma divisão do tempo em pequenos intervalos, em que se representa, tanto ao nível do tempo como do espaço, o desempenho da rede (Vilarinho, 2008).

Os modelos de simulação podem ser classificados de acordo com as diferentes abordagens (Vilarinho, 2008 e Figueiredo, 2013):

- Escala Temporal (contínuos, discretos);
- Nível de detalhe dos elementos modelados (macroscópicos, mesoscópicos, microscópicos);
- Representação dos processos de escolha de trajetos (determinísticos, estocásticos).

Escala temporal

Neste tipo de classificação pode-se distinguir os modelos estáticos, em que variáveis como a procura permanecem constantes ao longo do período temporal em estudo, e os modelos dinâmicos que permitem a sua variação (Vilarinho, 2008).

Segundo Vilarinho (2008), no caso de modelos dinâmicos é natural classificar os modelos tendo em conta o tempo como variável independente, resultando nos seguintes modelos:

- Modelos contínuos: descrevem as mudanças no tráfego de forma ininterrupta no tempo, num sistema de solicitações contínuas;
- Modelos discretos: consideram que as alterações no tráfego acontecem de forma descontínua no tempo, podendo ser discriminados dois tipos de modelos discretos em função do tempo e do “evento”; o primeiro modelo divide o tempo em intervalos de tempo discretos, enquanto que o segundo modelo caracteriza o sistema através de certos elementos que se alteram – os eventos, como por exemplo o estado dos sinais luminosos;

Representação do processo

A representação do modo de comportamento dos veículos numa rede de transporte pode ser realizada tendo por base duas abordagens, nomeadamente (Vilarinho, 2008):

- Determinística: O comportamento é conhecido para todos os intervenientes, sendo, portanto, um processo que descreve as variáveis de uma forma analítica não tendo em atenção a aleatoriedade;
- Estocástica: reflete a natureza aleatória/ocasional, bem como probabilística das variáveis intervenientes.

Segundo Vilarinho (2008), o modelo de interação entre veículos pode ser formulado como uma relação determinística ou estocástica dependendo se o tempo de reação do condutor do veículo é uma constante ou um valor aleatório respetivamente.

Nível de Detalhe

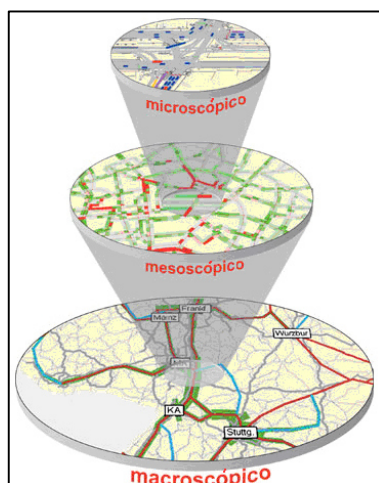


Figura 1 - Nível de detalhe dos modelos (Vilarinho, 2008)

Macroscópico

Os modelos macroscópicos caracterizam-se pela análise integrada das correntes de tráfego, em que os vários estados de tráfego são determinados com base nas relações entre as variáveis fundamentais do tráfego: fluxo, densidade e velocidade (Vasconcelos, 2008). Segundo Maia (2007), a partir de TRB (2000) estes modelos são determinísticos, não incorporando o conceito de variabilidade na representação do fenómeno do fluxo do tráfego veicular na rede de simulação.

Nos modelos macroscópicos, a velocidade média da corrente de tráfego é modelada pela função analítica da relação fluxo/densidade, específica para cada arco da rede, mantendo-se constante em toda a extensão do arco, não considerando a variância das velocidades individuais dos veículos que compõem a corrente (Maia, 2007).

Segundo Vilarinho (2008), os modelos macroscópicos têm grande aplicabilidade, principalmente em processos onde as características macroscópicas, como os volumes, são os resultados de maior interesse. Contudo ao contrário do que acontece com os modelos microscópicos, nos modelos macroscópicos, de um modo geral, a descrição de detalhes micro é realizada de um modo muito simplista, como por exemplo a alteração da topologia da rede.

Os modelos macroscópicos são muitas vezes utilizados na prática de estudos de planeamento de transportes, uma vez que são mais simples e rápidos que os modelos microscópicos de simulação. No entanto, há situações onde os modelos macroscópicos são insuficientes e é recomendada a simulação de tráfego com modelos microscópicos uma vez que os primeiros não conseguem representar grande nível de detalhe, por não possuírem a capacidade de simular a interação entre veículos individuais.

Mesoscópicos

Segundo Vilarinho (2008), os modelos mesoscópicos possuem um nível de detalhe intermédio, incorporando aspetos dos modelos microscópicos e macroscópicos. Os modelos mesoscópicos não distinguem o comportamento individual dos veículos, mas especificam o comportamento individual por exemplo de uma forma probabilística. A representação dos veículos é realizada por meio de pelotões, ou seja, pequenos grupos de veículos agregados. As atividades e interação entre veículos são caracterizadas com um nível de detalhe reduzido. Normalmente os resultados dos modelos microscópicos são agregados para uso em modelos mesoscópicos, reduzindo assim o tempo necessário para a simulação.

Estes modelos são capazes de lidar com pequenas mudanças nos fluxos de tráfego em curtos períodos de tempo, que podem ser da ordem de alguns segundos. Assim, os modelos mesoscópicos são bastante utilizados na representação da formação e dispersão de filas de espera em interseções semaforizadas, o que torna alguns destes modelos aptos a simularem a escolha de percursos por parte dos utilizadores. O nível de detalhe nessas simulações pode mudar ao longo do tempo dependendo das condições de tráfego (Maia, 2007).

Na sua generalidade um modelo mesoscópico representa maior parte das entidades com um nível de detalhe elevado, mas as suas atividades e interações são descritas a um nível baixo de detalhe. Assim, segundo Machado (2004), uma mudança de faixa poderia ser representada para veículos individuais como sendo um acontecimento instantâneo em que a decisão recaí sobre a densidade relativa das faixas em vez da interação do veículo.

Os modelos mesoscópicos têm a vantagem de descrever o comportamento individual dos veículos, sem necessitarem de descrever o seu comportamento ao longo do tempo e do espaço. Tal como os modelos microscópicos, os mesoscópicos são constituídos por uma grande

quantidade de parâmetros, que dificultam a sua calibração e aplicabilidade em tempo real (Vilarinho, 2008).

Microscópico

Segundo Vilarinho (2008), os modelos microscópicos são de grande utilidade para testar a geometria da rede. No entanto, vários especialistas em modelação de tráfego defendem que os modelos microscópicos não são capazes de produzir informação fiável acerca de variáveis macroscópicas como a capacidade e o comprimento das filas de espera, devido à inexistência de algumas variáveis neste tipo de modelo e devido à dependência não linear dos resultados do modelo em relação a essas variáveis.

Contrariamente aos modelos macroscópicos e mesoscópicos, nos modelos microscópicos do tráfego, os veículos são tratados de forma inteiramente individualizada, sendo o modelo detalhado de acordo com o algoritmo da análise. Todas as variáveis importantes para o cálculo das medidas de desempenho da rede simulada são gravadas de um modo desagregado para cada veículo. Os veículos são acompanhados, individualmente, desde sua entrada na rede até atingirem o seu destino, caracterizando o aspeto estocástico da modelação de tráfego. Assim, os resultados de saída dos modelos microscópicos são mais detalhados do que os outros tipos, sendo possível obter valores de diversas variáveis de forma totalmente desagregada, para qualquer momento ou período de tempo de simulação (Maia, 2007).

A caracterização faz-se a nível espacial e temporal, o exemplo dos modelos de mudança de via, de interação entre veículos e de intervalo crítico. Este modelo depende do comportamento dos condutores e das características dos seus veículos, sendo as variáveis mais utilizadas a velocidade individual, o tempo e a distância entre veículos. Deste modo, consegue-se uma representação mais “realística” da forma como os veículos circulam na rede, no entanto, requer uma maior quantidade de dados e tempo de codificação (Vilarinho, 2008).

O acompanhamento individual dos veículos permite aos modelos microscópicos realizarem a afetação dinâmica do tráfego (Peeta & Zhou, 1997), que consiste na avaliação em tempo real dos tempos de viagem nos arcos, com os trajetos dos veículos, sendo desviadas dos caminhos mais congestionados. Estes modelos são mais precisos na estimação dos atrasos, comprimentos

da fila de espera e outros parâmetros de desempenho associados ao tráfego, mas o seu processo de calibração e validação mostra-se mais complexo e demorado (Maia, 2007).

Proposto realçar que também existe um impasse na definição da forma de calibração e validação dos modelos de simulação de tráfego. Para Colella & Demarchi (2005) este processo é integrado, validando-se o modelo ao final do processo de calibração.

É importante enfatizar, que nenhum modelo de tráfego consegue ter em conta todos os fatores com influência no comportamento dos utilizadores de uma rede de transportes, podendo afirmar-se que nenhum modelo consegue reproduzir ou prever perfeitamente a “realidade”.

2.2. Modelação em transportes

A modelação da Procura/oferta de transportes, ou seja, o desenvolvimento de modelos de tráfego, começou a desenvolver-se no início da década de 50, de forma a apoiar o planeamento rodoviário na ligação entre meios urbanos distintos (autoestradas, vias rápidas, estradas nacionais...). Mas, no que diz respeito à sua aplicação em redes urbanas, com a incorporação de outros modos de transporte (transportes públicos, peões, bicicleta, a pé, ...) e a necessidade de análise de estratégias e políticas alternativas de transporte, o processo de modelação tem sofrido alterações ao longo dos anos de maneira a incluir técnicas que permitam analisar estes tipos de abordagens (Tavares, 2003).

Na modelação de transportes estão presentes uma série de modelos matemáticos com o objetivo de simular o comportamento dos utilizadores do sistema. Os modelos são geralmente sequências, que envolvem várias fases que respondem a um conjunto de questões sobre as decisões dos utilizadores, havendo a necessidade de definir os vários pressupostos sobre como serão tomadas as várias decisões, quais os fatores considerados e como serão as reações em situações alternativas (Tavares, 2003 e Duarte, 2013).

Segundo Tavares (2003), o modelo em análise deve ser desagregado numa série de áreas mais pequenas para os quais é possível concluir a origem e o destino das viagens, uma vez que seria quase impossível tratar cada viagem isoladamente, dada a multiplicidade de Origens/Destinos. Face a isto, os modelos de transportes utilizam áreas geográficas com características homogêneas, que se denominam de “zonas”, e para as quais se assume que as viagens se iniciam e terminam no seu centro de atividade – “centróide”. A dimensão da zona depende de vários

fatores como, por exemplo, o objetivo do estudo, da dimensão e tipologia da área em análise, do nível de sectorização das atividades económicas, verificando-se, que por norma, estes tendem a ser menores em meios urbanos do que nos meios rurais.

Na utilização deste conceito de “zona” é de salientar que os modelos não têm em conta as viagens intrazonas, ou seja, viagens que começam e acabam na mesma zona. Nos modelos apenas são representadas as viagens interzonas, que são viagens com início e fim em diferentes zonas. Desta forma, a dimensão das zonas é um fator importante para a determinar a representação da realidade e da fiabilidade do modelo. Segundo Tavares (2003) se as zonas são de grande dimensão, o modelo não consegue estimar com grande precisão os fluxos de tráfego apesar da matriz OD ser fiável e, por outro lado, se as zonas forem de reduzida dimensão, a amostra para as células da matriz OD também o é, afetando a fiabilidade das estimativas das viagens e dos fluxos, para além de existirem recursos eventualmente incompatíveis.

Por último, o desenvolvimento de modelos de transportes, tem por base a representação da respetiva infraestrutura de transportes, que é realizada pela introdução do conceito de rede. A rede é constituída por “arcos”, que representam os segmentos de vias rodoviárias ou linhas de transporte públicos, por “nós”, que caracterizam as interseções ou outros pontos da rede onde existam discontinuidades, e por “centróides” que se encontram ligados à rede pelos respetivos conectores, como está representado esquematicamente na Figura 1.

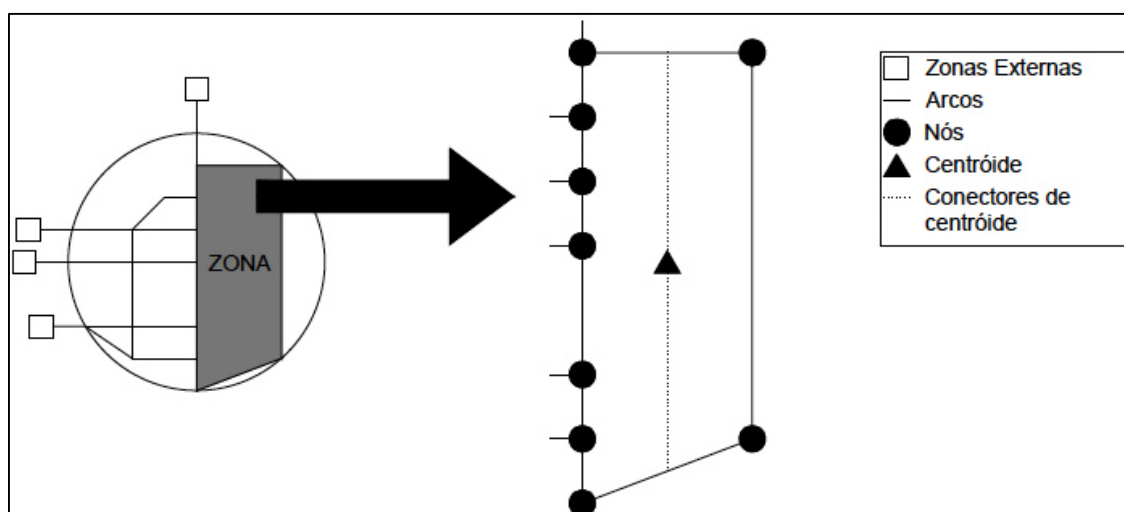


Figura 2 - Representação esquemática de uma rede de transportes (Tavares, 2003)

A caracterização dos “arcos” inclui a identificação dos “nós” inicial e final, os tempos de percurso ou velocidades para determinadas condições típicas de tráfego, a capacidade e os sentidos de circulação. Já para os “nós”, é necessário identificar a sua localização geográfica e as características operacionais das interseções (tipologia, níveis de serviço, capacidades, etc). Com base na representação da rede, é possível simular as viagens ao longo da rede construída por arcos e nós, que tem início na sua zona de geração e fim na zona de atração.

2.2.1. Modelo de 4 passos

Através das redes de transporte, assim denominadas e caracterizadas, é possível aplicar um determinado Modelo de Transportes. Um dos modelos mais utilizados, considerado um “Modelo de 4 Passos” (Four-Stage-Model). Este modelo teve origem na década de 60, nos Estados Unidos da América, tendo-se verificado uma forte utilização em estudos de transportes para dar uma considerável expansão económica traduzida na construção de novas infraestruturas rodoviárias, normalmente como uma alternativa a outras vias congestionadas.

Embora possam existir outras combinações, o modelo de 4 passos apresenta, normalmente, a seguinte sequência de fases (Viegas, 2000; Tavares, 2003 e Ortúzar & Willumsen, 2011):

- **Geração de viagens:** estima-se o número de viagens geradas e atraídas em cada zona, em função do seu uso dos solos (número de residentes do lado da origem, número de empregos ou área comercial do lado do destino, consoante se trate de viagens casa-trabalho ou casa-compras);
- **Distribuição de viagens:** estima-se como é que as viagens de cada “zona” de origem se repartem pelas várias “zonas” de destino e vice-versa, ou seja, estimar o número de viagens entre cada par de “zonas”;
- **Escolha modal:** estima-se como é que as viagens realizadas entre cada par de “zonas” se repartem pelos modos alternativos de transporte;
- **Afetação de tráfego:** calcula-se quais os caminhos usados pelas viagens realizadas entre um dado par de “zonas”, num dado modo e transporte.

Segundo Viegas (2000), o modelo de 4 passos reduziu a uma cadeia de decisões simples de entender e de programar informaticamente o processo de viagens diárias da maior parte das pessoas. Foi usado na maior parte dos Planos de Transportes das grandes cidades de todo o mundo ao longo das décadas de 60 e 70.

A Figura 2, apresenta a formulação geral do modelo de 4 passos, que começa por considerar uma rede e um zonamento, bem como a recolha e codificação dos dados de planeamento, calibração e validação. Os dados são referentes à população das diferentes zonas da área de estudo no ano de referência e atividades económicas (emprego, espaços comerciais, educação, lazer). Estes dados são utilizados para estimar o número de viagens geradas e atraídas em cada zona (geração de viagens). De seguida faz-se a alocação dessas viagens para os respetivos destinos, ou seja, a distribuição de viagens, produzindo-se assim uma matriz OD. Na próxima etapa modela-se a escolha do modo de transporte (repartição modal), ou seja, faz-se a estimação das viagens da matriz OD aos diferentes modos de transporte. Por último, afeta-se a afetação das viagens por cada modo às suas redes correspondentes: transportes privado e público (Ortúzar & Willumsen, 2011).

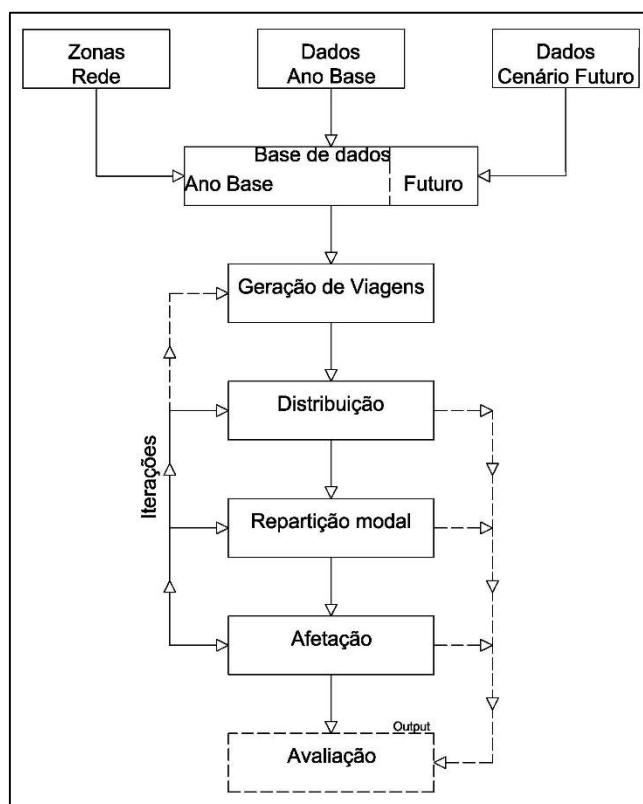


Figura 3 - Modelo Clássico de 4 passos, Transportes (Ortúzar & Willumsen, 2011)

2.2.1.1. Geração/Atração de viagens

A geração de viagens consiste em estimar o número de viagens que são geradas e atraídas por cada zona de tráfego quando se trata de modelos agregados (ao nível da zona), e da determinação da probabilidade de um indivíduo realizar uma viagem ou não quando se trata de

modelos desagregados (ao nível do agregado familiar) (Freitas, 2015). O primeiro passo de um modelo de transportes consiste na estimação do número de viagens produzidas e atraídas em cada zona. Este necessita de informação referente ao uso do solo e de dados socioeconómicos, de forma a estimar o número de pessoas que irão realizar deslocações de e para cada zona, no decorrer de um determinado período de tempo (Tavares, 2003). Com base em Cardoso (2010) e Ortúzar & Willumsen (2011), existem vários fatores que influenciam a geração de viagens como, renda, propriedade de automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, acessibilidade, entre outros. Assim como existem fatores que influenciam atração de viagens, tais como, a oferta de emprego, a atividade comercial, número de estudantes, entre outros.

Existem vários modelos para o cálculo da geração de viagens. Os mais utilizados são: regressão linear, Modelo do Fator de Crescimento, Modelo das Taxas de viagens e o Modelo de análise de Categorias.

2.2.1.1.1. Regressão linear

Este método tem o objetivo de estabelecer uma relação linear entre as viagens geradas (variável dependente) e os fatores que influenciam estas (variáveis independentes).

Segundo Tavares (2003), que teve por base Ortuzar & Willumsen (1990), a Geração de viagens é dividida em dois tipos, as que são geradas na habitação (HB – Home-based), ou seja, as que têm a sua origem ou o seu destino na habitação e as que não são geradas na habitação (NHB – Non home-based) que representam as viagens em que nenhum dos extremos é a habitação. Para determinar as primeiras origens (O_{HB}) é normalmente estabelecida uma função com base em critérios que têm em conta as características médias dos agregados familiares (habitações), como o tamanho da família, o nível de rendimento e a taxa de motorização. As do segundo tipo (O_{NHB}) representam apenas uma pequena percentagem das anteriores, representam cerca de 15 a 20% e são normalmente obtidas em função das atividades existentes em cada zona.

De forma geral, pode-se definir que o número total de viagens produzidas numa dada zona (O_i) será dada por (Tavares, 2003):

$$O_i = O_{HB_i} + O_{NHB_i} \quad (II.1)$$

Com:

$$O_{HB_i} = (\alpha + \beta_1 * \bar{X}_{1_i} + \beta_2 * \bar{X}_{2_i} + \dots + \beta_n * \bar{X}_{n_i}) * F_i \quad (II.2)$$

$$O_{NHB_i} = \left(\frac{p}{1-p} * \frac{S_i}{S} \right) * O_{HB_i} \quad (II.3)$$

Onde:

- O_{HB_i} – Viagens HB da zona i ;
- O_{NHB_i} – Viagens NHB da zona i ;
- \bar{X}_{k_i} – Valor médio da variável k (dimensão, nº de ativos, nº de automóveis...) das famílias residentes na zona i ;
- α, β_k – Parâmetros de calibração geralmente obtidos a partir da aplicação de técnicas de regressão múltipla;
- F_i – Número de famílias residentes na zona i ;
- p – Proporção de viagens NHB;
- S_i – Volume de atividades na zona i ;
- S – Volume de atividades;

Normalmente a atração de viagens é uma função das atividades socioeconómicas e do tipo de ocupações do solo presentes em cada zona (habitacional, industrial, comercial, de serviços, de lazer...). Estas são usualmente calculadas tendo como base os “volumes” das atividades presentes e o número total de viagens produzidas. Uma possível expressão geral para calcular o número de viagens atraídas para cada zona (D_j) pode ser dada por (Tavares, 2003):

$$D_j = O * \left(\gamma_1 * \frac{S_{1_j}}{\sum_j S_{1_j}} + \gamma_2 * \frac{S_{2_j}}{\sum_j S_{2_j}} + \dots + \gamma_k * \frac{S_{k_j}}{\sum_j S_{k_j}} \right) \quad (II.4)$$

Com:

- O – Número total de viagens produzidas;
- S_{k_j} – Volume da atividade k na zona j ;
- γ_k – Parâmetros da calibração ($\sum_k \gamma_k = 1$).

Assim, o modelo e geração de viagens é utilizado ao nível das zonas, tendo como base técnicas de regressão, para determinar o número de viagens produzidas em cada origem (O_i) e atraídas

para cada destino (D_j), valores que deverão ser calibrados e validados com base em valores observados, que geralmente são obtidos a partir de inquéritos. Alternativamente, o cálculo do número de viagens pode-se efetuar recorrendo à aplicação de taxas de geração de tráfego, com base na ocupação do solo em cada zona (Tavares, 2003).

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), o modelo de regressão linear múltipla é a forma mais utilizada, onde é feita uma tentativa de relação linear entre o número de viagens geradas ou atraídas pelas zonas e as características socioeconómicas das zonas:

$$Y = \theta_0 + \theta_1 X_1 + \theta_2 X_2 + \dots + \theta_k X_k + E \quad (\text{II.5})$$

Em que:

- Y – Número de viagens que são produzidas em cada zona de tráfego;
- $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_k$ – Parâmetros de ajuste do modelo;
- X_0, X_1, \dots, X_k – Variáveis explanatórias (fatores socioeconómicos e de uso do solo);
- E – Factor de erro para ter em conta os fatores não explicados na formulação do modelo.

O ajuste do modelo segue um procedimento convencional, sendo mais usado o método dos mínimos quadrados. Mas a escolha das variáveis explanatórias depende dos objetivos do modelo, assim como da fundamentação teórica para o seu uso. Segundo Freitas (2015) deve-se analisar ainda, se cada uma das variáveis independentes influenciam cada uma das variáveis dependentes. Por último deve-se, ainda, realizar um teste de significância estatística para a introdução das variáveis no modelo. Uma grande desvantagem presente na regressão linear é o factodas variáveis agregarem dados de uma zona inteira de tráfego, ou seja, utilizam-se, portanto, valores médios da renda e da idade, que podem causar a perda, ou uma diluição, de informação e conseqüentemente a perda de representatividade do modelo.

2.2.1.1.2. Modelo do Fator de Crescimento

Segundo Duarte (2013), que estudou Campos (2007), o Modelo do Fator de Crescimento determina o número de viagens futuras por zona em função de variáveis que têm influência na geração das mesmas (população, renda, propriedade de automóvel, densidade residencial ou comercial, entre outros), sendo que este modelo trabalha com dados agregados. A formulação geral deste modelo é traduzida a partir da equação II.6.

$$T_i = F_i \times t_i \quad (\text{II.6})$$

Onde:

- T_i – Número de viagens futuras que serão geradas na zona i ;
- F_i – Factor de Crescimento; e
- t_i – Número de viagens do ano base na zona i .

O principal problema deste modelo é a estimativa do fator de crescimento (F_i). Normalmente este fator está relacionado como: a População (P), a Renda (R), e a propriedade de Automóvel (C). A estimação do F_i é obtida a partir da equação II.7 (Duarte, 2013).

$$F_i = \frac{f(P_i^d \times R_i^d \times C_i^d)}{f(P_i^c \times R_i^c \times C_i^c)} \quad (\text{II.7})$$

Onde:

- c, d – Valores atuais e futuros;
- f – Pode ser uma função multiplicativa direta sem parâmetros;
- P_i – População da zona i ;
- R_i – Renda da zona i ; e
- C_i – Propriedade de Automóvel da zona i .

Devido as suas características este modelo é considerado rudimentar, logo pouco utilizado (Cardoso, 2010). Com base em Ortúzar & Willumsen (2011), Duarte (2013) concluiu que este modelo só deve se aplicado em planos a curto prazo, quando não for possível o uso de outro método. Este modelo deve ser usado preferencialmente para a previsão do número de viagens futuras externas para uma dada zona.

2.2.1.1.3. Modelo das Taxas de Viagens

Duarte (2013), concluí com base no estudo de Campos (2007), que o Modelo das Taxas de Viagens determina o número de viagens pelo tipo de ocupação do solo. Para cada tipo de ocupação define-se uma taxa de geração e/ou atração de viagens. Em que esta taxa relaciona o número de viagens por unidade de área construída ou de utilização do solo por atividade. Que de acordo com a possibilidade de pesquisa dos dados podem-se obter várias taxas que acarretam um maior número de atividades desagregadas.

Segundo Duarte (2013) que com base em Gasparini & D’Agosto (2010), um exemplo das taxas de geração de viagens por categoria de ocupação do solo para a cidade de Pittsburgh (E.U.A.), como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxas de Geração de Viagens para diferentes tipos de ocupação do solo (Viagens/1.000m²) (Duarte, 2013)

Uso do Solo	Taxa
Residencial	2.4
Comercial/Retalhista	8.1
Comercial/Serviços	5.2
Comercial/Grossistas	1.2
Indústrias	1.0
Transportes	4.0
Serviços Públicos	3.4

Os Valores apresentados na Tabela 1, foram estimados com base em inquéritos realizados em larga escala sobre a quantidade de viagens geradas em cada atividade, dividida pela área de ocupação de cada uma, no ano base.

De forma a facilitar a melhor compreensão deste modelo, é apresentado um simples exemplo tendo como base os dados da tabela 1 e ainda considerando uma zona residencial com aproximadamente 1.200.000 m², 2.900.000 m² de lojas comerciais, 1.555.000 m² de prestação de serviços, 850.00 m² de serviços públicos e 855.000 m² de transportes, sendo possível estimar que a quantidade de viagens geradas será:

$$T = 1200 \times 2,4 + 2900 \times 8,1 + 1555 \times 5,2 + 850 \times 3,9 + 855 \times 4,0 = 41191 \text{ viagens/dia}$$

Assim, segundo Duarte (2013) a projeção da futura área ocupada para cada atividade é feita através de métodos estatísticos, ou seja, exógenos ao modelo.

2.2.1.1.4. Modelo de Análise de Categorias ou de Classificação Cruzada

O modelo de análise de categorias, possui a vantagem de poder ser aplicado a nível domiciliar. Este modelo pode ser entendido como uma extensão de um modelo de taxas de viagens, utilizando neste caso dados dos agregados familiares, em vez de se utilizarem as características da zona (Duarte, 2013).

Este método tem como base a estimativa de resposta (por exemplo, o número de viagens geradas por agregado familiar com um dado destino) em função dos atributos do uso doméstico. O pressuposto básico é que as taxas de geração de viagem são relativamente estáveis ao longo do tempo para determinadas estratificações domésticas. O modelo encontra estas taxas empiricamente, mas para isso este necessita de grandes quantidades de dados, sendo que o elemento crítico é o número de famílias em cada classe. Embora inicialmente este método tenha sido concebido para usar dados dos censos do Reino Unido, o problema que existe na abordagem contínua a ser a necessidade de prever o número de famílias no futuro (Ortúzar & Willumsen, 2011).

As taxas de viagens que estão associadas a cada categoria são estimadas a partir de métodos estáticos e assume-se que são constantes no tempo. Os valores das taxas de Viagens para cada categoria são obtidos a partir dos dados do ano base (Duarte, 2013). A equação II.8, é a formulação geral deste modelo (Ortúzar & Willumsen, 2011).

$$t_h^p = \frac{T_h^p}{H_h} \quad (\text{II.8})$$

Em que:

- t_h^p – Taxa de geração de viagens por categoria h (dados do ano base);
- T_h^p – Número total de viagens para cada categoria; e
- H_h – Número total de famílias.

Segundo Cardoso (2010), a principal característica deste tipo de modelação está na escolha de categorias que minimizem variância das taxas de viagem, sendo possível aplicar a realização deste tipo de análise.

Tal como no modelo das taxas de viagens, as viagens futuras são estimadas com base na projeção (exógena ao modelo) do número de residências por categoria, em cada zona residencial, multiplicada pela taxa respetiva da categoria (Duarte, 2013).

Este tipo de modelo tem como vantagem a independência do zonamento, permitindo relações diferentes para cada categoria definida. Contudo, existe a perda de variância interna de cada categoria e dificuldades relativas às projeções das variáveis. Segundo Cardoso (2010), têm-se

problemas na projeção da população e/ou de famílias por categorias, principalmente das categorias com tamanho da amostra reduzido.

A "arte" do modelo reside na escolha de categorias de forma que, os desvios das distribuições de frequências descritos na Figura 4 sejam mínimos (Ortúzar & Willumsen, 2011).

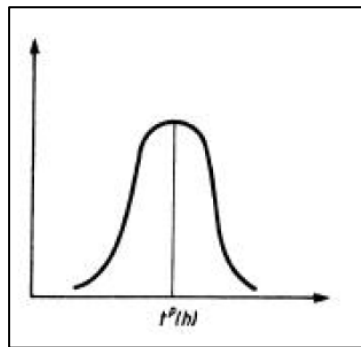


Figura 4 - Distribuição da taxa de viagem por tipo de família (Ortúzar & Willumsen, 2011)

Terminado o cálculo do número total de viagens produzidas e atraídas em cada zona, poderá ser necessário equilibrar estes dois valores, visto que os modelos não garantem, por defeito, esta igualdade ($\sum O_i = \sum D_j$) necessária à fase seguinte do modelo de transportes, referentes à distribuição das viagens. Normalmente, este equilíbrio é feito em função do número total de viagens geradas, uma vez que os respetivos modelos são considerados mais fidedignos utilizando variáveis explicativas.

2.2.1.2. Distribuição de viagens

Terminada a modelação da geração de viagens que são iniciadas e terminadas numa determinada zona é necessário proceder-se à formação de pares de viagens Origem-Destino (OD).

O objetivo principal dos modelos de distribuição é estimar o número de viagens entre pares de zonas – pares O/D – originando assim uma matriz de fluxo (matriz O/D). O fundamento deste modelo é a informação sobre o número global de viagens “Produzidas” e Atraídas” por cada zona de análise, num determinado ano base e no ano horizonte de planeamento. As estimativas são obtidas tendo como base projeções futuras das variáveis base relacionadas com o uso do solo, demografia e desenvolvimento económico. O modelo de geração de viagens fornece os totais das viagens produzidas (O_i) e viagens atraídas (D_j) por zona de análise (Campos, 2007 in Duarte, 2013). Sendo assim, é necessário aplicar modelos de distribuição de viagens de modo a caracterizar o processo de escolha do Destino para cada zona de Origem (Figura 5).

Proposto referir que esta fase do modelo de transportes leva a um grande aumento dos dados a analisar. Por exemplo, uma área de estudo com 100 zonas terá 9 900 combinações possíveis (não contabilizando as viagens intrazonas (viagens dentro da zona)), que são geralmente divididas por motivo de viagem. No final desta fase será possível obter-se a matriz O/D, conforme se representa na Figura 5.

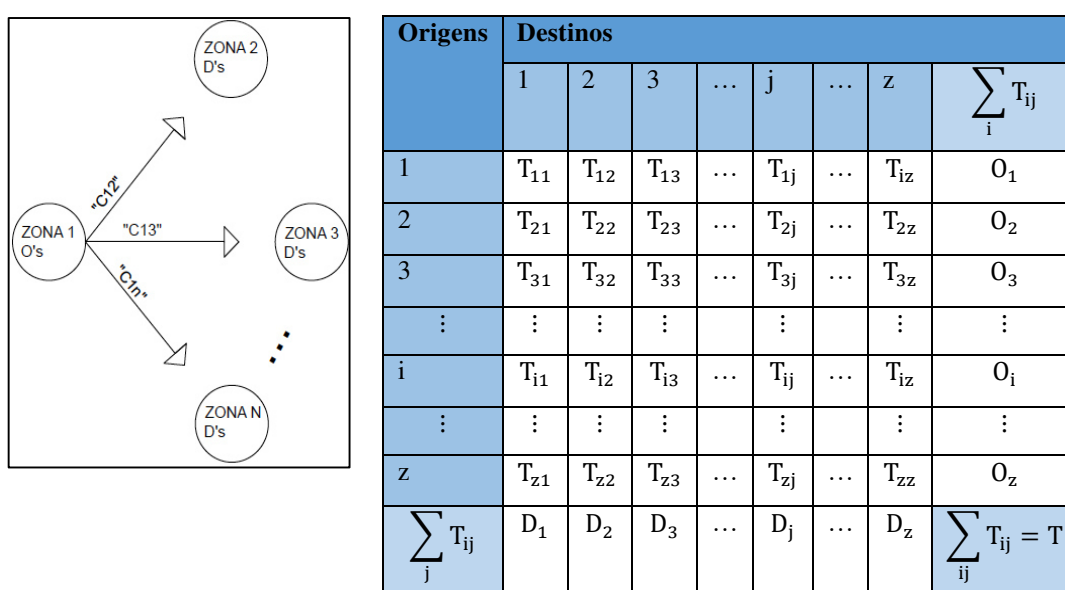


Figura 5 -Distribuição de viagens por motivo e matriz OD (Ortúzar & Willumsen, 2011)

Onde:

- T_{ij} – Número de viagens entre a origem i e o destino j ;
- O_i – Número de viagens produzidas na origem i ; e
- D_j – Número de viagens atraídas pelo destino j .

Os modelos de distribuição de viagens podem-se dividir em dois grupos de métodos: métodos analógicos ou de fatores de crescimento que são aplicados aos movimentos interzonais atuais ou métodos sintéticos (modelo Gravitacional) em que é realizada uma tentativa de se entender a relação causal que está associada aos movimentos, considerando-os como sendo similares a certas leis de comportamento físico (Duarte, 2013).

2.2.1.2.1. Métodos Analógicos ou de Fatores de Crescimento

A aplicação deste método baseia-se na existência de uma matriz origem – destino para o ano base (viagens na atualidade) e são usados para estimar matrizes OD de viagens futuros (Duarte, 2013).

Segundo Ortúzar e Willumsen (2011) a formulação geral dos métodos de fator de crescimento segundo é a seguinte:

$$T_{ij} = \tau \times t_{ij} \quad (\text{II.9})$$

Onde:

- T_{ij} – Número de viagens futuras entre as zonas i e j ;
- τ – Fator de Crescimento ou Expansão; e
- t_{ij} – Número de viagens atuais entre as zonas i e j .

Este método tem como grande vantagem a sua simplicidade, mas por outro lado este também tem algumas desvantagens, são o caso de manter e ampliar erros da matriz base, como por exemplo, pares de zonas sem viagens e o facto de ignorar os custos das viagens (Cardoso, 2010).

2.2.1.2.2. Métodos sintéticos – Modelo gravitacional

O modelo gravitacional tem como base conceptual a lei gravitacional de Newton, que diz: “a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto das massas destes e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre eles” (Duarte, 2013).

A aplicação deste método em transportes considera a hipótese de que o número de viagens produzidas pela zona i e atraída pela zona j é proporcional ao número total de viagens geradas pela zona i , ao número total de viagens atraídas pela zona j e ainda proporcional a uma função de impedância que relacione a distância ou custo de uma viagem entre as zonas de tráfego (Cardoso, 2010).

A vantagem que este modelo tem em relação aos outros é que nele se considera, além da atração, o efeito da separação espacial ou facilidade de interação entre as regiões definidas pela função de impedância (Cardoso, 2010).

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), por analogia à Lei de Newton, a equação clássica do Modelo Gravitacional toma a seguinte forma:

$$T_{ij} = \alpha \times \frac{P_i \times P_j}{d_{ij}^c} \quad (\text{II.10})$$

Onde:

- T_{ij} – Número de viagens com origem em i e destino em j ;
- α, c – Parâmetros de calibração do modelo;
- P_i – Total de viagens produzidas pela zona i ;
- P_j – Total de viagens atraídas pela zona j ; e
- d – Fator de impedância ou resistência entre a zona i e a zona j

O modelo de distribuição utiliza as viagens que são produzidas numa zona e distribui-as para as outras proporcionalmente às respectivas “atratividades” ou importância e inversamente proporcional ao “custo” de deslocação (C_{ij}). O efeito do “custo” é encontrado normalmente através de um processo de calibração que procura a aproximação da distribuição entre as viagens modeladas e as viagens observadas, que são obtidas geralmente através de inquéritos realizados (Tavares, 2003).

A equação básica de um Modelo Gravitacional pode representar-se pela expressão seguinte (Tavares, 2003 e Freitas, 2015), que representa uma generalização do modelo, assumindo-se que o efeito da impedância poderia ser melhor representado por uma função generalizada de custo de viagem $f(C_{ij})$ com um ou mais parâmetros para calibração (Cardoso, 2010):

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(C_{ij}) \quad (\text{II.11})$$

Com:

- T_{ij} – Número de viagens entre a origem i e o destino j ;
- A_i, B_j – Fatores de equilíbrio;
- O_i – Número de viagens com origem na zona i ;
- D_j – Número de viagens com destino na zona j ;
- $f(C_{ij})$ – Função de impedância que depende do custo;

Segundo Freitas (2015), que estudou Van der Hoorn (2013), os fatores de ajuste são responsáveis por fazer o resultado do modelo de distribuição de viagens compatível com o modelo de geração de viagens. Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), a função de impedância tem o objetivo de fazer com que o modelo seja sensível ao custo da viagem entre as zonas i e j . Para fazer a avaliação dos custos de viagem entre uma origem e um destino, deve-se ter em conta não só os custos monetários, mas também os custos temporais. As funções de impedância podem tomar diversas formas, sendo a exponencial a mais representativo (Freitas, 2015).

A diferença existente entre os vários modelos existente encontra-se na função usada no custo generalizado, salientando-se que, para estes casos, a distribuição das viagens para além da importância das zonas é também muito dependente da forma da função $f(C_{ij})$ (Ortúzar & Willumsen, 2011):

- Polinomial:

$$f(C_{ij}) = C_{ij}^{-n} \quad (\text{II.12})$$

- Exponencial:

$$f(C_{ij}) = e^{-\beta C_{ij}} \quad (\text{II.13})$$

- Combinação das anteriores:

$$f(C_{ij}) = C_{ij}^{-n} * e^{-\beta * C_{ij}} \quad (\text{II.14})$$

Com:

- n, β – Parâmetros de calibração.
- C_{ij} – é uma combinação linear das componentes de custo para a viagem entre i e j .

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011) a componente de custo tem, basicamente a seguinte forma (Freitas, 2015):

$$C_{ij} = a_1 t_{ij}^v + a_2 t_{ij}^w + a_3 t_{ij}^t + a_4 t_{nij} + a_5 F_{ij} + a_6 \emptyset_j + \partial \quad (\text{II.15})$$

Onde:

- $a_1 \dots a_6$ – Pesos atribuídos às variáveis;
- t_{ij}^v – Tempo de viagem dentro do veículo entre i e j ;
- t_{ij}^w – Tempo de caminhada até e de estações;
- t_{ij}^t – Tempo de espera em estações;
- t_{nij} – Tempo de baldeação, se houver;
- F_{ij} – Custo fixo da viagem entre i e j ;
- \emptyset_j – Custo associado à paragem no destino j ;
- ∂ – Penalidade modal, ou seja, uma junção de parâmetros subjetivos associados à segurança, conforto e conveniência.

Segundo Freitas (2015), com base em Ortúzar & Willumsen (2011), o peso de cada variável depende das preferências e do peso atribuído pela população da área em estudo a cada variável. Com base em Van der Hoorn (2013), Freitas (2015) concluí que esta característica faz com que o modelo de primeira geração seja, a princípio, intransferível entre diferentes regiões, devendo-se reformular o modelo e voltar a calibrar os parâmetros para cada nova aplicação.

Para Silva (2007), o modelo gravitacional é de fácil compreensão, mas este possui algumas dificuldades de “reprodução da realidade”, devido aos seguintes fatores:

- Com o aumento da distância a diminuição da atração está longe de ser igual para os vários motivos de viagem e estratos sociais;

- A atitude das pessoas é marcada pelos seus próprios hábitos, que deixem de ser racionais face às localizações atuais (por conhecerem melhor o território numas zonas do que noutras).

Contudo este é o modelo mais utilizado para o passo de distribuição. Adicionalmente, Ortúzar & Willumsen (2011) consideram este modelo o mais fácil de entender, de entre os modelos de distribuição. Este modelo tem a vantagem de estimar as viagens para cada célula da matriz OD sem utilização direta de uma matriz observada. E tem a desvantagem de necessitar de um considerável número de ajustamentos e manipulações para se obter um resultado satisfatório e a não garante que os fatores socioeconómicos e os relacionados com os tempos de viagem sejam válidos no futuro (Duarte, 2013).

2.2.1.3. Repartição modal

O objetivo dos modelos de repartição modal é atribuir aos diferentes modos de transporte as viagens entre as diferentes zonas (Cardoso, 2010). Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), a repartição modal é a etapa que produz os resultados mais importantes dentro de um modelo de transportes, em relação às políticas públicas e ao planeamento de transportes.

Após o processo de distribuição de viagens, utilizam-se estes modelos para “dividir” a matriz OD global de viagens em matrizes O/D parciais por modo de transporte ou de viagem (Duarte, 2013).

Segundo Martins (2009), estes modelos tentam “identificar, estimar e simular os comportamentos dos viajantes” acerca das suas decisões de escolha do modo de transporte. Considerando que os viajantes são compradores de um serviço que, neste caso, é a viagem, estes modelos enquadram-se nos modelos comportamentais de análise do indivíduo, enquanto consumidor de bens e serviços, estabelecendo-se assim uma estreita ligação com a economia comportamental (Duarte, 2013).

A partir de Martins (2009), Duarte (2013) refere que as escolhas das viagens variam em função do tipo de utilizador, tipo de viagem, nível e qualidade de serviço e custo, quer em tempo, quer em preço. As escolhas dos utilizadores feitas com base nas suas variáveis de decisão intrínsecas, transformam-se geralmente num padrão de repartição modal relativamente constante, principalmente nas viagens cíclicas ou pendulares, que só é alterado quando surgem variações

significativas nas condições base que suportam as suas decisões iniciais. Nesse caso, os padrões, são reformulados num processo de decisão que tem em conta as novas variáveis.

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), a repartição modal é feita com base nas variáveis consideradas fundamentais para a escolha do utilizador. Os fatores que influenciam este modelo incluem características socioeconómicas (renda, propriedade de veículos) e as características de serviços dos modos de transporte, considerando as seguintes características:

- Características associadas ao viajante: propriedade de veículos, rendimento, estrutura familiar e nível cultural;
- Características da viagem: motivo da viagem, hora da viagem e destino;
- Características associadas ao meio de transporte: tempo de viagem e custos associados, tempo de espera e frequência do serviço, conforto, acessibilidade e segurança.

Existem basicamente dois tipos de modelos de repartição modal (Cardoso, 2010):

- Determinísticos: modelos que determinam a proporção de viagens por cada modo utilizando métodos quantitativos simples, como: Regressão Linear e Classificação Cruzada ou Curvas de Desvio.
- Probabilísticos: modelos que utilizam a probabilidade de escolha de cada modo para determinar a percentagem de viagens para seus respetivos modos de transporte. Os modelos mais usados são: Logit Binomial, Logit Multinomial e Logit Hierárquico ou Aninhado.

2.2.1.3.1. Modelos determinísticos

2.2.1.3.1.1. Modelo de Regressão Linear

Segundo Cardoso (2010), os modelos de Regressão Linear são, normalmente, usados para fazer a distribuição modal. Desta forma, determina-se a proporção de viagens por automóvel (TI) ou por transporte público (TP) através de uma relação matemática entre o número de viagens e as características socioeconómicas dos viajantes e/ou as características das alternativas.

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 \times X_{1i} + \theta_2 \times X_{2i} + \dots + E_i \quad (\text{II.16})$$

Onde:

- Y_i – Variável dependente (número de viagens de determinado modo de transporte i);
- X_{ni} – Variáveis independentes (fatores socioeconómicos, atributos do sistema de transportes);

- θ_n – Parâmetros estimados pelo modelo.

É de referir que a soma de Y_i, Y_j, \dots, Y_k para a situação (viagens de diferentes modos de transporte) é igual ao total de viagens do par Origem/Destino (Cardoso, 2010).

2.2.1.3.1.2. Modelo de Análise de Categorias (ou Classificação Cruzada)

Os modelos de Classificação Cruzada tentam dividir a população ou zonas de tráfego em grupos homogêneos. Os grupos podem ser classificados de acordo com as características do decisor (Viajante) ou com as características dos modos (Cardoso, 2010).

Na Classificação Cruzada, normalmente um valor médio da percentagem de utilização de cada modo de transporte para cada grupo homogêneo. Nestes modelos, considera-se que as percentagens de utilização permanecerão inalteradas para cada grupo de categoria (Cardoso, 2010).

Segundo Cardoso (2010), a dificuldade do modelo está na identificação dos grupos homogêneos, para além da suposição de que a percentagem de utilização de cada modo permanecerá inalterada para cada categoria, pode não corresponder á realidade.

Este tipo de modelo foi descrito mais detalhadamente nos modelos de geração/atração de viagens.

2.2.1.3.1.3. Modelos de Curvas de Desvio

Tal como os modelos anteriores, estes modelos determinam a proporção de viagens entre dois modos de transporte, com base em algumas curvas que relacionam a percentagem de utilização de cada um dos modos de transporte com parâmetros, tais como, o tempo, o custo, o nível de serviço e o rendimento do utilizador (Cardoso, 2010).

De uma forma geral os modelos determinísticos utilizam o modelo de Regressão Linear para chegar à proporção de viagens entre os modos de transportes; a diferença entre os modelos está na maior ou menor agregação dos dados que são usados na avaliação (Cardoso, 2010).

2.2.1.3.2. Modelos Probabilísticos

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), a probabilidade de um utilizador escolher uma determinada alternativa de transporte é dependente da atratividade dessa alternativa em relação à atratividade das outras alternativas disponíveis.

Para fazer a representação da atratividade de uma certa alternativa utiliza-se o conceito de utilidade (Função Utilidade), geralmente definido como uma combinação de variáveis que representam as características da alternativo e do utilizador (Cardoso, 2010).

2.2.1.3.2.1. Função Utilidade

A Função Utilidade é uma expressão matemática que determina o grau de satisfação que o utilizador do transporte tem em relação à escolha desse modo de transporte. Geralmente, é definida pela soma de variáveis e dos seus pesos relativos (Cardoso, 2010):

$$U = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (\text{II.17})$$

Onde:

- U – Utilidade derivada da escolha medida pelos atributos;
- x_n – Atributos; e
- a_n – Coeficientes independentes.

Os atributos dos transportes podem ser: custos e tempo de viagem, tempo de espera e derivações deste.

A escolha feita a partir da Utilidade prevê que o utilizador realize compensações entre os atributos de cada alternativa para escolha de uma, na qual o seu benefício seja o maior possível. Este critério de decisão implica que matematicamente a atratividade de uma alternativa expressa por um vetor de atributos seja redutível a um índice. O Índice de Atratividade de uma alternativa em relação as outras, dentro do mesmo conjunto de escolha pode ser definido como Utilidade (Cardoso, 2010).

Segundo Cardoso (2010), a teoria para a formulação dos modelos de escolha discreta é dada pela teoria da utilidade aleatória. O utilizador n escolhe dentro do conjunto das j alternativas disponíveis, aquela que maximize a sua utilidade.

A utilidade, vista por um utilizador n , seria composta por duas parcelas: 1ª – a parcela mensurável V_{nj} , baseada no vetor X_{nj} dos atributos das j alternativas observadas pelo utilizador n ; 2ª – a parcela não observável ε_{nj} , representando a parcela de fatores observados por n na alternativa j , mas não mensurável (Cardoso, 2010).

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (\text{II.18})$$

A partir da distribuição admitida para a componente aleatória ε , são obtidos diferentes modelos de escolha discreta. Os mais utilizados são os do tipo Logit (distribuição do tipo Gumbel) e Probit (distribuição normal). Os modelos Logit são muito utilizados devido à sua fácil operacionalidade, baseando-se no pressuposto que os fatores não observados não são correlacionados entre as várias alternativas e possuem a mesma variância.

2.2.1.3.2.2. Modelo Logit Multinomial

A metodologia mais usada na repartição modal é o Modelo Logit Multinomial (Ortúzar & Willumsen, 2011). De forma resumida, este modelo tenta prever qual o modo escolhido com base no “custo” de cada um na deslocação entre uma dada Origem e um dado Destino. Este “custo” representa uma combinação dos tempos de viagem, do custo de operação e da conveniência da utilização para o modo em causa, podendo conter outros fatores, como a privacidade e como a comodidade. A combinação destes fatores é utilizada como uma constante na análise, que é determinada a partir de um processo de calibração que aproxima o modelo aos padrões observados.

Segundo Tavares (2003), após a determinação dos “custos” para os vários modos de transporte entre cada par Origem-Destino, define-se que a “utilidade” (Utility) de cada um varia inversamente ao “custo”, sendo as viagens com base nas probabilidades de um dado modo ser selecionado, calculadas por (Duarte, 2013):

$$p(k) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_x}} \quad (\text{II.19})$$

Com:

- $p(k)$ – Probabilidade do modo de transporte k ser escolhido;
- U_k – Utilidade associada ao modo de transporte k ;

- x – Todos os Modos de transporte;
- k – Um modo de transporte;

Este modelo relaciona a probabilidade de escolha de uma alternativa, dentro de um conjunto de alternativas de transporte, por uma unidade de decisão (indivíduo, residência, empresa, etc.), ou por um grupo, de acordo com a utilidade destas alternativas (Cardoso, 2010).

2.2.1.3.2.3. Modelo Logit Binário ou Binomial

Segundo Cardoso (2010), este modelo, trata-se de uma simplificação do modelo anterior, em que são avaliadas apenas duas alternativas de transporte. Supondo-se que a distribuição de viagens entre dois modos A e B e, as utilidades dos mesmos sendo U_A e U_B , respetivamente, o modelo tem a seguinte forma:

$$p(A) = \frac{1}{1 + e^{U_B - U_A}} \quad (\text{II.20})$$

Onde:

- $p(A)$ – Probabilidade de escolha do modo A; e
- $p(B) = 1 - p(A)$.

Os modelos Logit baseiam-se no pressuposto de os fatores não observados não serem correlacionados entre alternativas e possuírem a mesma variância. Quando os fatores são correlacionados utilizam-se os modelos Logit Hierárquicos ou Aninhados que consideram a correlação dentro de um grupo de alternativas semelhantes. Este modelo representa uma forma de relaxamento das restrições do Logit Multinomial (Cardoso, 2010).

2.2.1.4. **Afetação de tráfego**

Após a definição da Matriz O/D por modos de transporte e da codificação das infraestruturas de transporte, pode se realizar o passo final da modelação de transportes, isto é, a afetação de tráfego aos arcos que, de uma forma sucinta, se pode descrever como sendo o processo através do qual as decisões dos utilizadores na escolha de um percurso num sistema de transporte são modeladas (Tavares, 2003). Os modelos de Afetação de Tráfego, são utilizados para fornecer estimativas de volumes de tráfego em vias estratégicas, em que o objetivo principal é

disponibilizar uma base de comparação de sistemas de transportes a médio e longo prazo (Cardoso, 2010).

O principal objetivo de um modelo de afetação de tráfego é o de prever o efeito das decisões dos utilizadores, face a uma dada procura, tentando reproduzir o nível de desempenho da rede com base em modelos de simulação, designadamente (Tavares, 2003):

- Obter estimativas de volumes de tráfego, de velocidades e de atrasos;
- Obter estimativas de variáveis agregadas da rede (velocidade média de operação, atraso total, emissões de gases, consumos de combustíveis...);
- Estimar tempos de viagem entre zonas;
- Identificar arcos/percursos congestionados;
- Identificar percursos entre pares de zonas;

Para Ortúzar & Willumsen (2011), os principais objetivos deste modelo dividem-se em dois níveis:

- Principal: obter estimativas de variáveis agregadas da rede (fluxo nas autoestradas, receita dos serviços de transportes públicos); dos custos de viagens entre zonas num determinado nível de procura; de volumes de tráfego e identificar zonas de congestionamento;
- Secundário: analisar quais os pares OD que utilizam um dado arco ou percurso; estimar os percursos utilizados entre cada par OD; obter os movimentos de viragem futuros.

Segundo Cardoso (2010), um conceito que se encontra subjacente a todos os modelos de atribuição de tráfego é o do custo de deslocamento. Caso o utilizador, disponha de várias alternativas, para realizar uma viagem, este irá naturalmente ter em conta uma série de fatores para decidir qual percurso escolher. Assim, haverá a necessidade de definir primeiramente uma medida, de comparação entre as várias alternativas de ligações (percursos) entre cada par de zonas de forma a determinar o(s) “caminho(s) mais curto(s)”. De uma forma geral existem três medidas para a estimação desta medida, nomeadamente, a distância percorrida, o tempo despendido e o custo generalizado (Tavares, 2003).

Segundo Tavares (2003), as duas primeiras medidas foram inicialmente utilizadas face à sua simplicidade de medição e previsão, tendo a primeira a vantagem de não ser necessário ter qualquer conhecimento sobre as condições de circulação. A hipótese considerada (Custo Generalizado) é de que a seleção dos caminhos é realizada de forma a minimizar uma

combinação do tempo e da distância, podendo-se ainda incorporar os efeitos de custos adicionais, como é o caso das portagens.

Assim, de modo simplificado, o custo generalizado resultado de uma combinação linear pesada do tempo e da distância, sendo então o custo de deslocamento num percurso k dado por (Tavares, 2003):

$$C_k = a \times T_k + b \times D_k + P \quad (\text{II.21})$$

Onde:

- C_k – Custo generalizado;
- a – Coeficiente do custo associado ao valor do tempo;
- T_k – Tempo de deslocamento correspondente ao percurso k ;
- b – Coeficiente de custo associado à distância percorrida;
- D_k – Comprimento do percurso k ; e
- P – Custo adicional.

Segundo Tavares (2003), os coeficientes definidos não devem ser interpretados como um custo “real”, ou seja, representando os valores médios reais do tempo que o utilizador gasta na viagem e das despesas com o veículo em percorrer uma certa distância, mas como o custo percebido ou “comportamental”, isto é, como os utilizadores ponderam o tempo e a distância para a seleção para um caminho. Por exemplo, se o coeficiente associado ao tempo for superior ao da distância, está-se a admitir que os utilizadores estarão dispostos a efetuar maiores distâncias se isso implicar um menor tempo de percurso.

Com base nestes custos associados aos percursos é então possível passar-se para o processo de determinação dos “caminhos mais curtos”, que é essencial para a afetação de tráfego.

2.2.1.4.1. Principais Modelos de Afetação de Tráfego

2.2.1.4.1.1. “Tudo ou Nada”

O modelo mais simples de aplicar na escolha de percursos é o da afetação “Tudo ou Nada” que, como o próprio nome indica, consiste na afetação de todas as viagens entre pares Origem – Destino aos respetivos “caminhos mais curtos”. E qualquer utilizador que pretende deslocar-se da Origem i para o Destino j escolhe o mesmo percurso pelo que todas as viagens são atribuídas ao “caminho mais curto” (Tavares, 2003).

Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), o modelo “Tudo ou Nada” assume que não existe efeitos do congestionamento e que todas as escolhas de caminhos têm em consideração os mesmos atributos. A ausência do efeito do congestionamento significa que os custos dos arcos da rede são fixos.

Segundo Tavares (2003), apesar da aplicabilidade e atratividade deste modelo ser praticamente nula, este pode-se considerar útil, devido á sua simplicidade e eficiência, para a modelação de uma rede dispersa e não congestionada em que existam poucas alternativas de trajeto e com custo muito diferente entre pares de zonas. A aplicação deste modelo é também interessante em processos de identificação das “linhas de desejo” correspondentes aos trajetos escolhidos pelos utilizadores de uma rede quando não existe nenhum condicionamento resultante do carregamento das redes.

Esta técnica é ainda bastante eficaz no teste das condições de modelação de qualquer rede, pois, ao aplicar-se uma afetação com o modelo “Tudo ou Nada” facilmente se pode verificar a conectividade da rede uma vez que é possível confrontar o “caminho mais curto” entre pares de zonas determinando pelo modelo com o percurso “lógico” tendo por base o conhecimento da rede (Tavares, 2003).

2.2.1.4.1.2. Modelos Estocásticos

Nos modelos de afetação de tráfego, os modelos estocásticos introduzem o conceito de custo caracterizado por uma distribuição contínua, tentando representar as variações que existem entre utilizadores na escolha do percurso numa rede rodoviária. Estas variações ocorrem devido às diferentes perceções e objetivos e ao desigual conhecimento de funcionamento da rede (Tavares, 2003). Os utilizadores não são todos iguais. Uns valorizam mais o tempo, outros

valorizam mais a distância percorrida. Além desta variabilidade, é ainda de salientar o facto de não ser possível garantir que um utilizador apesar de num dia escolher um percurso, não garante que ele volte a repetir o mesmo percurso noutra dia, mesmo que esteja nas mesmas circunstâncias (Cardoso, 2010).

Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), este modelo de afetação de tráfego, dá ênfase à instabilidade na percepção dos utilizadores nos custos e na medida composta por estes que procuram minimizar, por exemplo, a distância, o tempo de viagem e os custos generalizados.

Para que se faça a aplicação pura destes modelos, é necessário que não existam restrições à capacidade, pois estes têm como pressuposto que o custo percebido em cada percurso é independente do volume de tráfego nesse mesmo percurso. Existem várias formas de incorporar os efeitos estocásticos. Que podem ser divididos nos modelos baseados em simulação, e nos modelos matemáticos (Tavares, 2003).

Os modelos baseados na simulação utilizam o Método de Monte Carlo para gerar para cada veículo, ou grupo de veículos, um conjunto de custos aleatórios. Os modelos deste tipo derivam de uma técnica desenvolvida por Burrell (1968), em que os custos de deslocamento nos diferentes arcos da rede são retirados de uma distribuição, normal, cuja média é o custo real (Cardoso, 2010).

Os modelos matemáticos ou numéricos, também denominados por proporcionais, utilizam funções que relacionam repartição do tráfego entre os percursos alternativos com os respetivos custos (Tavares, 2003). O modelo mais conhecido é o de Dial (1971) que se baseia numa formulação tipo Logit (Cardoso, 2010).

Segundo Cardoso (2010), em situações de redes congestionadas, o equilíbrio estocástico não é garantido, uma vez que permite aos utilizadores a seleção de vários percursos, inclusive os que não correspondem a uma situação ótimas.

2.2.1.4.1.3. Modelos de Equilíbrio

Os modelos de afetação descritos anteriormente, “Tudo ou Nada” e Estocástico, pressupõem custos de deslocamentos fixos, independentes da solicitação do tráfego das vias. Os custos de

deslocação nos arcos dependem da procura, em que a escolha de percurso de um utilizador é condicionada pelas escolhas dos restantes. Partindo do princípio que todos os utilizadores têm a mesma perceção dos custos de deslocação, Wardrop (1952) in Vasconcelos (2004) apresentou princípios de escolha de trajetos com base em dois tipos de comportamentos:

- Os utilizadores escolhem os seus percursos independentemente e no seu melhor interesse, com base nas condições de tráfego resultantes das escolhas de outros;
- Os utilizadores cooperam na escolha de percursos de forma a produzir um padrão de tráfego que dê o máximo benefício à comunidade.

Segundo Vasconcelos (2004), o primeiro comportamento é traduzido pelo seguinte princípio: “Em rede congestionadas, o tráfego distribui-se de modo a que os custos de deslocação em todos os trajetos utilizados entre cada par origem – destino sejam iguais. O custo de deslocação em qualquer um dos trajetos não utilizados é superior”, - Equilíbrio do Utilizador.

E o segundo tipo de comportamento é traduzido por: “O custo global de deslocação de cada um dos trajetos utilizados é o mínimo possível”, -Equilíbrio de Sistema.

A escolha individual de percursos representa a aproximação mais realista, constatando-se que as técnicas de afetação de tráfego procuram respeitar a primeira hipótese de Wardrop, conhecida por Equilíbrio do Utilizador (Vasconcelos, 2004). Segundo Duarte (2013) este facto traduz-se por: “Em condições de equilíbrio o tráfego em redes congestionadas distribui-se de modo a que todos os percursos entre um par OD têm um custo igual e mínimo enquanto que todos os percursos não utilizados têm custos maiores ou iguais.”

Segundo Vasconcelos (2004), através de um método iterativo considera-se que o método convergiu, quando nenhum utilizador reduzir o custo de deslocação, escolhendo um percurso diferente. Para Ramos (2008), o Equilíbrio Determinístico baseia-se num modelo incremental de afetação dos dados das viagens, fazendo com que um utilizador escolha um de dois caminhos com a mesma impedância. Considera-se que se está numa situação de equilíbrio quando não é possível ao utilizador diminuir o seu tempo de percurso sem intervenções exteriores sobre as quais não tem capacidade de decisão. Os métodos determinísticos consideram que todos os utilizadores têm a mesma perceção dos custos de viagem.

2.2.1.4.1.4. Modelo Incremental

O modelo (Algoritmo) incremental reconhece e integra o problema de congestionamento e tira partido do “diagrama fundamental das correntes de tráfego”, que relaciona a velocidade a que se pode circular num troço de estrada com a quantidade de fluxo que o solícita (Viegas, 2014).

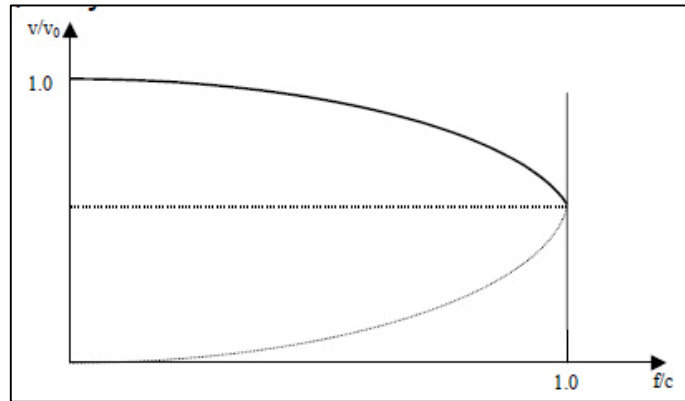


Figura 6- Diagrama Fundamental das correntes de tráfego (Viegas, 2014)

Onde:

- V_0 – Velocidade do veículo em regime livre;
- V – Velocidade do veículo;
- f – Fluxo de tráfego;
- C – Concentração.

Segundo Ortúzar & Willumsen (2011), a afetação incremental é uma abordagem mais interessante e realista. A matriz total das viagens T é dividido num determinado número de matrizes fracionadas através de um conjunto de fatores proporcionais p_n , de forma que $\sum_n p_n = 1$. As matrizes fracionadas são carregadas, incrementalmente, cada uma é calculada utilizando os custos dos arcos, dos últimos fluxos acumulados.

Para Viegas (2014), é um algoritmo muito simples de programar a que dá resultados aceitáveis, mas em redes muito saturadas, esses resultados podem ter diferenças significativas em função do esquema de fracionamento da matriz OD considerado.

2.2.2. Processo de Calibração e Validação

O principal objetivo de um modelo de transportes é o de simular as condições reais de uma rede de transportes, dentro de limites que fixam o erro admissível, de modo a que este se passível de aplicação para a realização de previsões/avaliações de uma rede (Tavares, 2003).

Silva e Tyler (2001), Law e Kelton (2000) afirmam que não existe uma abordagem definitiva para validar qualquer tipo de modelo de simulação, uma vez que o método apropriado é altamente dependente da natureza do fenómeno simulado. A finalidade deste processo é avaliar primeiramente o desempenho do sistema em relação a diferentes cenários futuros de procura possível e a uma ou mais opções de intervenção no sistema em avaliação (Vasconcelos, 2004).

Segundo o HMSO (1991) in Tavares (2003), a convergência do modelo para a “realidade” é o objetivo da fase de calibração sendo verificada a sua aderência na fase de validação, podendo-se então definir estas duas fases como:

- **Calibração:** é o processo de correção dos valores das variáveis do modelo responsáveis pela representação das condições de operação de uma rede com o objetivo que as estimativas das medidas de desempenho calculadas pelo modelo reflitam os valores reais;
- **Validação:** é o processo de verificação das estimativas do modelo calibrado com o objetivo de aferir as suas capacidades de previsão, em situações distintas das utilizadas na fase de calibração, de modo a garantir que as conclusões obtidas pelo modelo sejam aplicáveis ao sistema de estudo.

Assim segundo Tavares (2003), o desenvolvimento de um modelo, depois da formulação do problema e clarificação dos objetivos, deve englobar basicamente quatro passos (figura 7):

- **Construção:** conceptualização do modelo, recolha de dados e codificação da rede, englobando nesta fase ainda a verificação da codificação;
- **Calibração:** “ajustamento” dos valores das variáveis para que certos critérios de aderência à realidade sejam atingidos;
- **Validação:** testes da capacidade de previsão do modelo através da atribuição de critérios, baseados em informação diferente da utilizada na fase de calibração, sendo a fase mais delicada no processo de desenvolvimento de um modelo e que obriga a frequentes reanálises das fases anteriores;

- Aplicação: após a validação do modelo, parte-se para o projeto de experiências e análises de resultados.

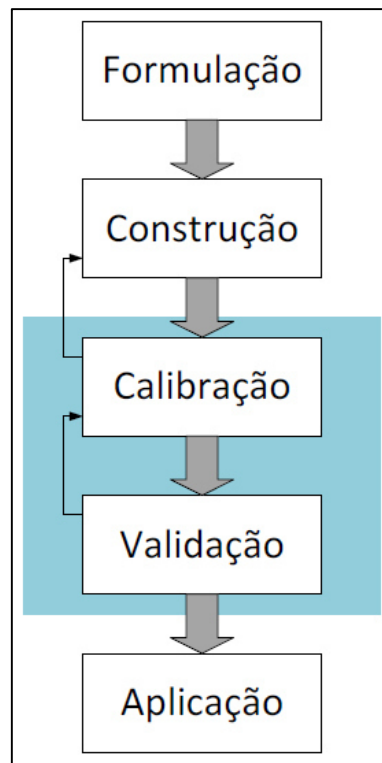


Figura 7 - Desenvolvimento de um modelo

Fonte: Adaptado de Tavares (2003)

A fase de calibração envolve uma análise comparativa entre as medidas de desempenho do modelo e as do sistema real e o eventual ajustamento das variáveis responsáveis pelas condições operacionais, de forma que os resultados reproduzam a realidade, inserido num dado intervalo de erro fixo. É de salientar que se a única forma de reproduzir a “realidade” for realizada através da utilização de “truques” na definição dos valores das variáveis ou da utilização de procedimentos localizados durante a fase de calibração, será muito pouco provável que o modelo possa realizar previsões válidas (Tavares, 2003).

Por outro lado, o processo de validação é o processo que permite determinar quando é que o modelo de simulação representa com suficiente exatidão a realidade, é um processo iterativo que engloba a calibração de parâmetros e a comparação do modelo com o comportamento do sistema real. A diferença entre estes dois sistemas funciona como um indicador para melhoria do modelo até ao momento em que se considera que o erro é aceitável (Vilarinho, 2008).

Esta metodologia comum muito utilizada na calibração/verificação de um modelo pode ser justificada pela disponibilidade de dados existentes, pois, na maioria dos casos, os dados disponíveis apenas permitem a comparação de resultados finais, porque geralmente existem restrições (recursos financeiros ou humanos e prazos) que impossibilitam uma verificação detalhada de cada um dos passos do modelo. Nestes casos, é de salientar que o submodelo de afetação, sendo a última etapa da modelação de uma rede de transportes, os seus resultados dever ser usados para a avaliação do modelo de transportes como um todo (Tavares, 2003).

No entanto, a metodologia correta deverá prever a calibração e a respetiva validação de cada um dos submodelos (geração, distribuição, repartição e afetação), de maneira a que cada componente do modelo de transporte consiga reproduzir de forma razoável as características de transporte observadas, sendo então realizada a validação dos resultados finais (Tavares, 2003).

Esta validação final testa o efeito dos erros de modelação que são resultado do conjunto dos erros inerentes a cada uma das fases do modelo de transportes, e da respetiva propagação do erro pelas fases subsequentes. Na figura 8 pode-se visualizar um exemplo do possível efeito dessa propagação, podendo verificar-se que, a cada fase avançada no modelo de transporte, ocorre um aumento do intervalo de confiança dos resultados que são esperados dos submodelos, ou seja, uma maior tolerância do erro (Tavares, 2003).

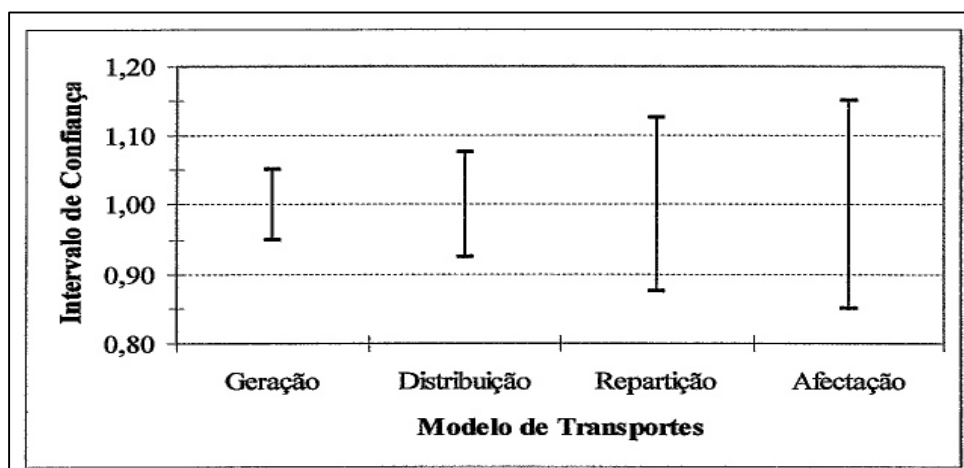


Figura 8 - Propagação dos erros de modelação (Tavares, 2003)

Segundo Robbins (1978) in Tavares (2003), esta propagação de erros também pode ser observada na Tabela 2, que apresenta a fiabilidade que é esperada de alguns dos resultados de um modelo de transportes, através dos limites do intervalo de confiança a 95%.

Tabela 2 - Fiabilidade estimada de alguns parâmetros da modelação (Tavares, 2003)

Parâmetros	Valores típicos diários	Limite do intervalo de confiança a 95%
Geração por zona	2000 viagens	± 50
Movimentos interzona	Pequenos	Muito impreciso
Movimentos interzonas principais		
Total	40 000 viagens	± 10%
Modo principal	24 000 Viagens	± 11%
Modo secundário	16 000 viagens	± 12 %
Movimentos interzonas secundários		
Total	15 000 viagens	± 15%
Modo principal	12 000 viagens	± 16%
Modo secundário	3 000 viagens	± 26%
Volumes nos arcos		
Arcos secundários	5 000 veículos	>± 55%
Arcos típicos	10 000 veículos	>± 39%
Arco importante	20 000 veículos	± 27%
Arco principal	50 000 veículos	± 17%
Arco de autoestrada principal	80 000 veículos	± 14%
Volume de passageiros em TP		
Arco rural típico	< 500 passageiros	Muito impreciso
Arco urbano típico	5 000 passageiros	>± 46%
Arco urbano importante	10 000 passageiros	>± 33%
Arco urbano principal	20 000 passageiros	>± 23%

Pode-se constatar que, pela análise dos limites do intervalo de confiança a 95%, que os resultados da afetação (volumes) tendem a ter um maior erro que os passos anteriores de um modelo de transportes (movimentos interzonas por modos de transportes, ou seja, as células da Matriz O-D), excetuando a geração. De facto, considerando o transporte individual como modo principal, enquanto que o número de viagens entre pares de zonas pode refletir uma fiabilidade de ± 11% a ± 16%, os fluxos dos arcos refletem maiores oscilações de (± 14% a ± 15%, conforme o tipo de via) (Tavares, 2003).

No entanto é importante recordar, que os erros são inerentes a todos os modelos, visto que estes são uma representação do comportamento real do transporte onde as simplificações são inevitáveis afim de serem práticos (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Uma das principais dificuldades que um modelador enfrenta, é decidir quais variáveis de previsão do modelo e quais as irão ser inseridas nele. Isto causa imediatamente um certo grau de erro e incerteza que, é agravado por outros erros relacionados com a modelação; por

exemplo, a amostra dos erros e, mais importante, os erros devido às inevitáveis simplificações da realidade do modelo, a fim de ser prático (Figura 9). Assim, a principal função de um modelo é para a previsão condicional: o modelo produzirá estimativas das variáveis dependentes dado um conjunto de variáveis independentes. As previsões são condicionas de duas maneiras (Ortúzar & Willumsen, 2011):

- Em relação aos valores atribuídos às variáveis de política no plano, cujo impacto está sendo testado com o modelo;
- Em relação com os valores assumidos de outras variáveis.

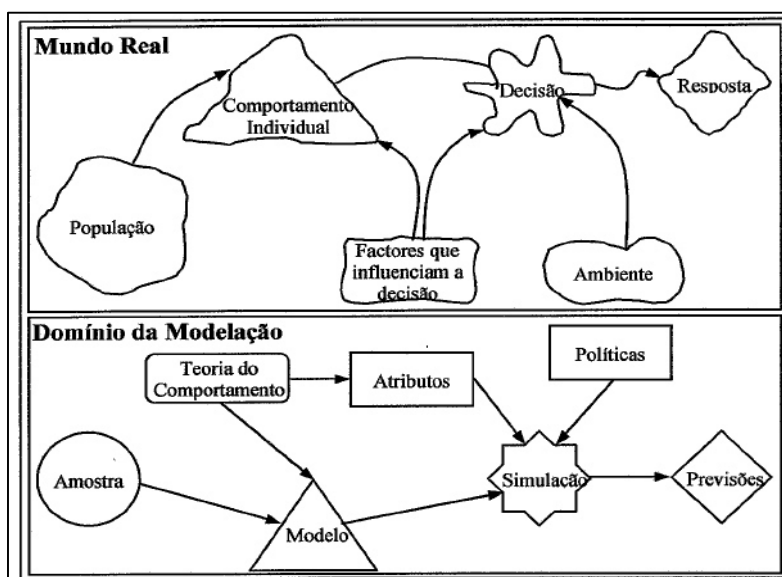


Figura 9 - Fiabilidade estimada de alguns parâmetros da modelação (Tavares, 2003 e Ortúzar & Willumsen, 2011)

Desta forma, pode-se afirmar que existem fatores intervenientes num sistema real, que a teoria subjacente ao modelo ignora e, conseqüentemente, não permite ter qualquer controlo na sua aplicação em modelos. Isto à partida implica, um certo erro e incerteza associado à aplicação de um dado modelo, o qual será acrescido com outros erros inerentes ao processo de modelação de uma rede de transportes (Tavares, 2003).

As fontes dos erros resultantes do desenvolvimento dos modelos de transporte incluem (Ortúzar & Willumsen, 1990; HMSO, 1991; Barton-Aschman Associates & Cambridge Systematics Inc., 1997; in Tavares, 2003):

- Erros de especificações devidos a uma estrutura imprópria do modelo, como a omissão de variáveis relevantes (Horowitz, 1981), a inclusão de variáveis irrelevantes (Tardiff, 1979), de relações incorretas entre variáveis (Williams et al, 1982) e de pressupostos determinísticos vs a variabilidade dos processos de decisão;
- Erros de transferência - em que um modelo ou parâmetro desenvolvidos para um dado contexto ou ambiente são aplicados noutra, tanto no que se refere ao espaço como ao tempo;
- Erros computacionais - devidos ao facto de estarem associados aos modelos processos iterativos e para os quais a solução exata não é encontrada face ao esforço atualmente computacional requerido; observe-se que atualmente este tipo de erro é mínimo, excetuando para os casos de redes muito congestionadas com graves problemas de equilíbrio entre a procura e a oferta;
- Erros de agregação ou simplificação que - consequência da necessidade que os modelos têm em reduzir a complexidade do sistema, derivam da utilização da noção de “grupos” tanto ao nível espacial como temporal, os quais podem conter (ou mesmo contêm) elementos com características heterogéneas;
- Erros de medição - inerentes aos processos de recolha de dados resultantes de alguma falta de controlo de qualidade, sendo de observar que este tipo de erros deve ser distinguido da dificuldade associada de definição das variáveis que têm de ser observadas;
- Erros da amostragem - associados aos desvios que são introduzidos no processo de seleção do conjunto de observações da população e devidos a principalmente ao facto de se ter de usar um conjunto finito de observações, ao qual se encontra ligada a dualidade recursos-fiabilidade da definição do número ótimo de observações;
- Erros de previsão - associados à estimação dos valores para as variáveis necessárias ao modelo;
- Erros de codificação, ou seja, os erros “puros” - devidos aos lapsos inerentes a qualquer tarefa de introdução de dados.

Para Vasconcelos (2004), os erros podem dividir-se em duas grandes categorias, consoante estes sejam ou não controláveis:

- A primeira categoria inclui todos os erros que se encontram a montante da modelação de um sistema concreto. São erros de especificações e computação (por exemplo, a eventual decisão de assumir comportamentos consistentes dos condutores ou velocidades constantes

ao longo dos arcos), em que as implicações no rigor das estimativas são avaliadas através dos processos de validação do *modelo conceptual* e do *modelo computadorizado*.

- A segunda categoria inclui erros associados à modelação de um sistema em particular. Estes erros são de certa forma controláveis pelo utilizador, o que implica um compromisso entre o rigor e o custo de desenvolvimento do modelo. Neste processo distinguem-se duas subfases, associadas a erros de tipologias muito diferentes:
 - *Definição da estrutura modelo selecionado*. As decisões referentes à área de estudo e ao detalhe são tomadas em função dos objetivos do modelo. É aqui que se originam os erros de simplificação, decorrentes, por exemplo, da definição do número de níveis hierárquicos das vias a representar, do número de vias e ligações dos centróides.
 - *Desenvolvimento do modelo/estrutura assumido ao longo das fases anteriores*. Aqui, a qualidade do modelo fica condicionada pelos erros de *quantificação* dos vários *inputs*: variáveis independentes e parâmetros.

Como objetivo final de um modelo é a realização de previsões, uma importante decisão associada ao seu desenvolvimento é a de, tendo em atenção os tipos de erros inerentes à modelação de uma rede de transportes, encontrar/definir qual a combinação “ótima” para os objetivos pretendidos entre a complexidade do modelo e a fiabilidade dos dados (Tavares, 2003).

Face a esta tomada de decisão é então importante distinguir dois conjuntos de erros (Tavares, 2003):

- Erros que podem implicar, mesmo em modelos considerados mais “corretos”, a realização de previsões erradas, uma vez que não tem qualquer controlo sobre as fontes de erro, designadamente as associadas ao modelo teórico;
- Erros que fazem com que os modelos realizem previsões erradas, como resultado de imprecisões cometidas durante o desenvolvimento do modelo da rede de transportes a analisar.

Segundo Tavares (2003), com base nesta análise do impacto dos erros no desempenho dos modelos, será então possível estabelecer prioridades e recomendações com o objetivo de estabelecer prioridades na definição dos dados de entrada necessários a um modelo, com vista a uma otimização de recursos. Mas por outro lado, devido aos erros cujo controlo é “nulo”, e

em que apenas se tem alguma influência na decisão de qual o modelo “teórico” a adotar, será também possível perceber qual a imprecisão de um modelo face a estes erros inerentes e, conseqüentemente, estabelecer critérios para os parâmetros de calibração/validação, normalmente associados à aplicação de modelos.

CAPÍTULO 3
CONSTRUÇÃO DE MODELOS

3. CONSTRUÇÃO DE MODELOS

3.1. Enquadramento geral

Segundo Tavares (2003), a construção e desenvolvimento de um modelo de transportes inicia-se pelo processo de tomada de decisão em relação à definição do nível de detalhe e consequente recolha da informação necessária para um bom desempenho do modelo. Depois do problema formulado e da obtenção de todos os dados necessários ao processo de modelação é então possível proceder-se à codificação da rede, isto é, ao tratamento dos dados de forma que estes sejam passíveis de interpretação de uma forma automática.

Tendo em vista a rede a modelar, a tomada de decisão poderá ser auxiliada por uma análise crítica das respostas ao conjunto das três questões a seguir enunciadas ((HMSO, 1996 e 1991; FHWA, 1983) in Tavares, 2003).

- Qual o objetivo do modelo?

Neste ponto e com base na(s) estratégia(s) a avaliar ou estudo(s) a realizar deverá ser definida a escala da rede bem como as infraestruturas e modos de transporte a analisar.

- Qual o tipo de informação que deverá estar disponível?

A disponibilidade de dados no que diz respeito ao funcionamento da rede, que os dados geográficos e socioeconómicos para a caracterização da procura influenciam a construção do modelo.

- Qual o tempo e recursos disponíveis?

A construção de um modelo a partir do zero pode influenciar a rede a modelar, pois esta é muito dependente dos dados existentes e dos recursos disponíveis. Nesta análise está presente a seleção do tipo de software de cálculo mais adequado para os objetivos traçados, bem como as suas especificações.

Depois destas três questões estarem perfeitamente clarificadas e decididas passar-se-á para o desenvolvimento e construção do modelo que se inicia pela definição do zonamento e a seleção dos arcos e nós que constituirão a rede a modelar.

A seleção da rede a modelar e o zonamento estão intimamente ligados, uma vez que existe uma relação direta entre estes dois aspetos, sem esquecer os objetivos da afetação. Assim, os mesmos

devem ser estabelecidos de forma a permitirem um dimensionamento eficiente para o objetivo final previamente fixado.

Uma vez definido o nível de detalhe do modelo dever-se-á proceder à codificação da rede de maneira que seja possível o seu processamento e a respetiva análise com recurso a processos de cálculo automático, isto é, a software especializado. A codificação embora seja muito dependente do software de afetação utilizado, consiste, de uma maneira geral, na identificação dos nós e, conseqüentemente, dos arcos que constituem a rede selecionada, bem como na definição dos seus atributos, sendo esta uma tarefa indispensável para a simulação das condições operacionais de funcionamento da rede viária (Tavares, 2003).

Por último, de forma a se atingir uma boa representação das condições de funcionamento de uma rede, é necessário e fundamental proceder-se a um detalhado processo de calibração, de forma a tentar corrigir os erros de codificação e minimizar os erros de previsão. Depois da calibração do modelo será possível realizar a sua validação de forma a obter um modelo fiável e com capacidade para a realização de estudos associados a alterações ao nível da oferta e procura da rede modelada (Tavares, 2003).

No mercado a oferta de software que permite a realização/elaboração de modelos de transportes é muito diversa e vasta, dependendo de vários fatores, nomeadamente do nível de detalhe, escala, ferramentas disponíveis, apresentadas no ponto 2.1 do capítulo 2 desta dissertação. Assim, no âmbito deste trabalho optou-se pela utilização do software PTV Visum 15, uma vez que é um dos mais adequados para efetuar a modelação de redes urbanas, ou seja, um nível de detalhe associado a uma rede de escala meso ou macro, isto é, sem ser necessário considerar um nível de detalhe, geralmente associada à microsimulação, como o estudo do funcionamento de interseções.

O PTV Visum é considerado o líder mundial de software especializado em análises de tráfego, previsões e de gestão de dados de mobilidade e transportes baseado em Sistemas de Informação Geográfica. Este software permite modelar de forma consistente as redes de transporte associadas a todos os tipos de utilizadores, assim como as suas interações e tornou-se reconhecido como um software de referência no domínio do planeamento dos transportes. Especialistas em transportes utilizam a PTV Visum para modelar redes de transporte e respetiva

procura de viagens, analisar e prever fluxos de tráfego, planejar serviços de transporte público e desenvolver estratégias e soluções avançadas de transporte (PTV Group, 2016).

3.2. Software de modelação – PTV Visum 15

No mercado, a oferta de software que permite a realização/elaboração de modelos de transportes é vasta, optando-se pela utilização do software PTV Visum 15, pois possui várias vantagens, tais como facilidade de aprendizagem e garantia de qualidade dos resultados obtidos. Este também é composto por vários módulos, que permite não só a representação, simulação de vários modos de transporte (transporte individual, transporte coletivo, bicicletas, peões), em conjunto ou isoladamente, mas também o cálculo de emissões poluentes oriundas do tráfego e simulação e cálculo da mobilidade da população. É o software líder para a análise de afetação de tráfego, previsões e gestão de dados baseados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Ramos, 2008; PTV Group, 2015 e PTV Group, 2016).

Este software permite majorar a previsão do comportamento da procura de transportes na utilização de uma ou várias redes (existentes ou em fase de projeto) através da criação de “pontos de injeção” de tráfego (centróides) que se distribuirá de acordo com a oferta de vias existentes e com os destinos pretendidos, em resultado da execução dos algoritmos de afetação escolhidos. O PTV Visum é também reconhecido pela boa interface gráfica que possibilita ao utilizador e possui um número vasto de ferramentas que permitem efetuar variadíssimas análises que, não sendo necessárias num trabalho académico, seriam indispensáveis num projeto de outras dimensões (Ramos, 2008; Duarte, 2013 e PTV Group, 2015).

O objetivo principal da análise de afetação de tráfego é calcular fluxos de viagens, veículos e pessoas nas redes de transportes, incluindo a interação entre os vários modos de transportes, auxiliando assim na construção de cidades mais sustentáveis, tendo como base o desenvolvimento de modelos para a conceção e avaliação de sistemas de transportes de grande dimensão e abrangência multimodal (Duarte, 2013 e PTV Group, 2015).

Na Figura 10 apresenta-se um esquema com a estrutura de funcionamento da criação de um modelo de transportes através da utilização do PTV Visum.

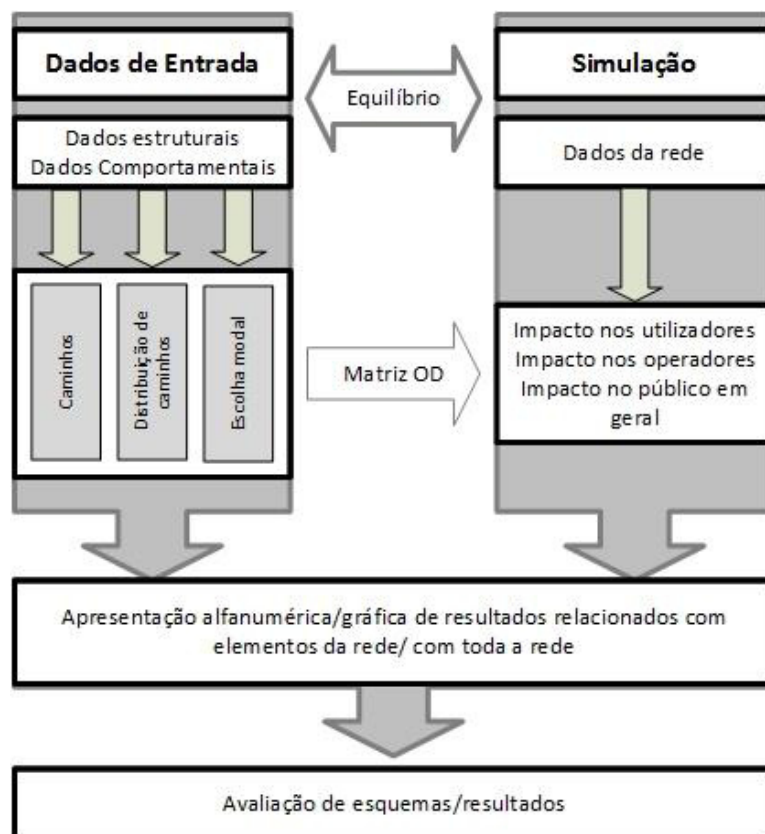


Figura 10 - Estrutura de Funcionamento PTV Visum (Duarte, 2013 e PTV Group, 2015)

Os dados de entrada no modelo são dados provenientes das três primeiras fases do modelo de quatro passos, geração e atração de viagens, distribuição de viagens e repartição modal que, são inseridos no modelo no PTV Visum sobre a forma de Matriz OD. Esta irá definir a tomada de decisão dos utilizadores do modelo, tendo impactos nos utilizadores (atribuição e cálculo dos indicadores de serviço), nos operadores (número de veículos, custos de linhas, receitas) e impacto no público em geral. Tem que existir um equilíbrio entre a realidade e a simulação, ou seja, o modelo tem de representar o melhor possível a realidade, de forma a ser validado. Posto isto, os resultados obtidos de caracterização da análise, comportamento, desempenho, etc. podem ser obtidos alfanumericamente ou graficamente. Por fim é feita uma análise dos resultados obtidos (PTV Group, 2015).

De seguida neste capítulo serão descritas as principais características associadas à criação e desenho de uma rede de transporte individual no software PTV Visum 15.

3.3. Desenho da rede de transporte individual

3.3.1. Definição de zonamento

A construção de um modelo tem várias fases, sendo o zonamento a primeira delas. O zonamento é a definição de um sistema de zonas que corresponde a uma tarefa de elevada importância, pois, é a base para representação das Origens e dos Destinos das viagens.

As zonas são áreas geográficas que dividem a área de estudo em áreas mais pequenas e relativamente homogêneas em relação ao uso do solo e às tipologias das atividades económicas existentes, de forma a representar uma procura semelhante de transporte.

Segundo Tavares (2003), a divisão em zonas deve-se ao facto de ser impossível representar cada habitação, emprego, comércio ou qualquer outra atividade geradora de viagens como um par isolado origem-destino. Desta forma, estas entidades são agregadas em zonas que posteriormente serão representadas por um só nó denominado de centróide que concentra todas as origens e destinos dessa zona.

Simplificadamente, a área modelada é usualmente dividida em duas áreas, uma “interna” e outra “externa” diferenciadas pelo maior detalhe na caracterização da área interna. Estas áreas são normalmente divididas por uma fronteira (cordão) que será definido de modo a isolá-las de uma forma clara (HMSO, 1996 in Tavares, 2003). Esta fronteira deve ser localizada de forma a limitar completamente a área dos problemas a analisar, assim como as zonas passíveis de serem afetadas por eventuais medidas a implementar, isto é, na área “interna” devem estar contidos todos os arcos da rede em que se preveja que os impactos poderão ser significativos face aos objetivos descritos no ponto 1.2 do capítulo 1.

Esta subdivisão da área a analisar é bastante usada em redes urbanas em que os “centros urbanos” são isolados, constituindo a área “interna”, sendo a rede nesta zona modelada e caracterizada com grande detalhe, tanto na definição de um sistema de zonas mais fino (de menor dimensão) como na consideração de todas as vias. Assim, ao serem caracterizados todos os movimentos dota-se o modelo da capacidade de fornecer as melhores estimativas das viagens nesta área e, por consequência, as condições de funcionamento tornam-se mais próximas da realidade.

Para a área “externa” a modelação é geralmente realizada tendo apenas em consideração as viagens associadas à área “interna”, isto é, não só as viagens com origem ou destino em zonas da área “interna”, mas também as viagens entre as zonas da área “externa” que utilizem a rede da área “interna”. Na modelação da área “externa” podem ser seguidos dois tipos de abordagem (Tavares, 2003):

- As viagens externas são importadas para a rede nos locais de atravessamento do cordão;
- Definição de uma rede externa com menos detalhe, devendo esta rede ser seleccionada tendo fundamentalmente em atenção as principais vias que atravessam o cordão e a conectividade entre as mesmas (é de realçar que com esta definição terá que se definir um segundo cordão exterior para as viagens “mais” exteriores serem importadas).

Optar pela definição de uma rede externa, embora seja mais exigente no que diz respeito à modelação, é preferível à primeira, pois permite eventuais reafectações das viagens nestas áreas. É de salientar que com a utilização da primeira técnica a informação relativa aos extremos das viagens é “perdida”, devendo-se ter especial atenção e cuidado em relação aos percursos entre os pares origem-destino que poderiam evitar a zona central.

A definição das zonas, tal como a sua dimensão, deve ser muito bem ponderada tendo em conta não só os objetivos do modelo, mas também a rede em análise, uma vez que o zonamento é um fator crítico para uma maior aproximação à realidade do modelo, designadamente no que diz respeito às viagens inter e intrazonas.

- Genericamente as suas fronteiras devem ser fixadas tendo em atenção ((HMSO, 1996; FHWA, 1983) in Tavares, 2003):
- Fronteiras já definidas (atualização de modelos);
- Fronteiras administrativas;
- Fronteiras relativas a dados estatísticos já existentes (censos);
- Barreiras naturais/artificiais (rios, ferrovias, autoestradas, ...);
- Áreas com usos de solo similares;
- Áreas homogêneas quanto à sua caracterização socioeconómica;
- Áreas com pontos claramente identificáveis de acesso à rede;
- Áreas de influência das vias principais;
- Localização das principais áreas de estacionamento;
- Necessidade de cordões e de screenlines.

Quanto à dimensão das zonas, é recomendado que o mesmo seja fixado de modo a gerar no mínimo 200 viagens interzonas por hora (conjunto de viagens de entrada e saída de cada zona) detetadas nos cordões ou nas screenlines (HMSO, 1996). Como referência o número total de zonas para um modelo de tráfego urbano encontra-se geralmente compreendido entre 50 e 200 zonas ((HMSO, 1996) in Tavares, 2003).

No que diz respeito aos centróides, estes normalmente devem estar localizados no centro geográfico de cada zona, não sendo esta definição o elemento crítico na afetação, devendo os mesmos coincidir de preferência com locais de geração de tráfego, nomeadamente parques de estacionamento. A sua ligação com a rede é que assume extrema importância uma vez que as mesmas têm influência na seleção dos percursos e nos volumes nos arcos, pois é nestes pontos de ligação que as viagens com origem em cada zona “aparecem” e com destino em cada zona “desaparecem” ((Easa, 1992) in Tavares, 2003).

Sempre haja possibilidade as ligações dos centróides à rede devem ser feitas nos arcos do nível da hierarquia mais baixo e, ou, para os quais os resultados da afetação não têm importância, evitando-se efetuar ligações, a arcos em que existem observações, a interseções importantes e que possam construir um caminho alternativo (Tavares, 2003).

A definição das zonas e das suas ligações à rede, ou seja, dos centróides aos arcos ou nós, é de extrema importância uma vez que pode ter uma grande influência nos resultados do modelo, pelo que deve ser realizada e testada com cuidado tendo em conta o que foi referido, assim como através da utilização do conhecimento local do funcionamento da rede, de forma a minimizar os erros de agregação/simplificação associados a estes conceitos.

3.3.2. Caracterização e definição de rede

Segundo Tavares (2003), uma rede não é mais que uma representação do sistema viário convertido em arcos e nós, de maneira a que este seja analisado recorrendo a processos de cálculo automático, para previsão dos padrões da deslocação e, com base nestas, para o estudo e análise de certas variáveis de tráfego.

A codificação das redes deve ter um nível de detalhe adequado de forma que seja realizada a melhor análise possível em relação aos objetivos fixados, isto é, por exemplo, uma análise de uma rede regional não necessita de ser tão pormenorizada como a de uma rede de uma área urbana que pode requerer a modelação da quase totalidade das suas infraestruturas viárias (Tavares, 2003).

No caso específico dos modelos de atribuição de tráfego rodoviário, a infraestrutura de transportes é constituída pela rede viária e respetivos dispositivos de controlo. O processo mais simples de representação da rede é traduzido por um grafo orientado, em que os arcos representam as vias e os nós representam as interseções (figura 12 – a). Esta solução possui limitações importantes, pois esta não possibilita a caracterização diferenciada dos custos associados a cada movimento de viragem. A representação alternativa é característica dos modelos mais recentes e passa pela definição de arcos auxiliares, em que cada um representa um movimento de viragem (figura 11 – b). Esta solução permite a caracterização detalhada dos movimentos de viragem, no que diz respeito à probabilidade de executar o movimento e ao custo associado a essa manobra (Vasconcelos, 2004).

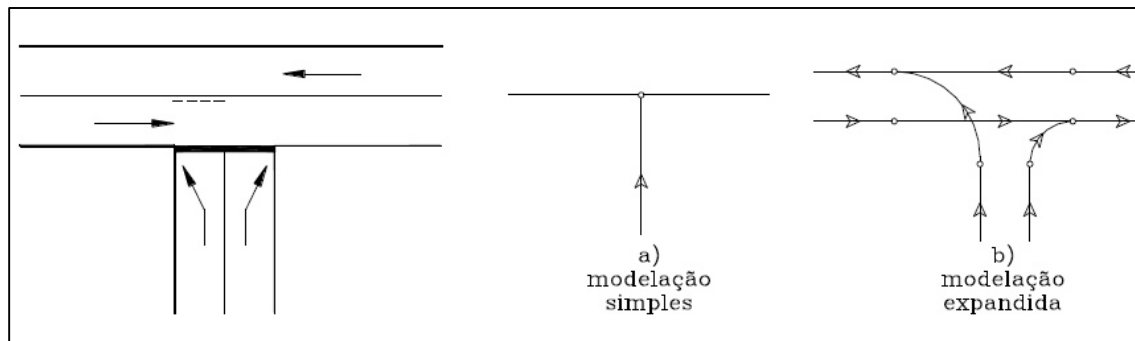


Figura 11 - Modelação de interseções: a) simples; b) expandida (Vasconcelos, 2004)

A seleção das vias rodoviárias a incluir na rede também representa uma tarefa de extrema importância para o desenvolvimento de um modelo, uma vez que permite definir a infraestrutura de transporte base do sistema viário a analisar. Para uma boa escolha da rede a modelar devem ser considerados os seguintes critérios ((HMSO, 1996 e 1991; FHWA, 1983) in Tavares (2003)):

- Delimitação da área de estudo e eventual subdivisão em zona interior e exterior de acordo com os objetivos;

- Classificação e hierarquização da rede viária de acordo com as suas funções de acessibilidade/mobilidade (por exemplo, IC's, IP's, vias coletora, distribuidoras principais, distribuidoras locais e vias de acesso local);
- Seleção dos arcos assegurando que se incluem as vias com o nível de hierarquia imediatamente inferior aquele para o qual se pretendem obter bons resultados de afetação (por exemplo, se o objetivo do estudo for o de obter volumes nas vias coletoras, a rede deverá ser formada por estas e pelas distribuidoras principais);
- Seleção de arcos adicionais mesmo não pertencendo aos níveis hierárquicos a estudar, quando em presença das seguintes situações:
 - Os vários tipos de vias selecionadas não originam uma rede contínua;
 - Existência de vias com volumes elevados de tráfego;
 - Existência de vias “paralelas” que, em conjunto, sejam responsáveis pela afetação de grandes volumes de tráfego, definindo um eixo (normalmente nestes casos e por simplificação substituem-se várias vias por apenas um eixo);
 - Estabelecer ligações a centróides.

3.3.3. Elementos da rede

Para a criação de uma rede no software PTV Visum 15, é necessário ter conhecimento sobre os vários elementos que constituem a rede a modelar. Apesar do PTV Visum ter um vasto número de funcionalidades, muitas não foram contempladas no âmbito desta dissertação, por não serem necessárias. De seguida serão descritos os elementos utilizados, assim como a apresentação da respetiva janela de introdução de dados.

3.3.3.1. Nós (*Nodes*) e Viragens (*Turn*)

Os nós são objetos da rede que definem a localização das interseções na rede modelada e são os pontos onde se iniciam e terminam os arcos. Estes elementos constituem os pontos onde se dão as viragens (*turns*) de um arco para o outro, representando cruzamentos e definindo os movimentos descritos pelos utilizadores da rede.

Os nós são caracterizados pelo seu número, nome e coordenadas. A estes podem-se associar capacidades de forma a influenciar os fluxos de tráfego. Os nós podem ser classificados, como cruzamentos prioritários e de prioridade é direita, semáforos e rotundas. Podem ainda ser-lhes associados valores de específicos de impedância, com é o caso do atraso médio, sendo que estes

detalhes de modelação podem alterar a procura de caminhos devido às alterações das restrições aplicadas. Na Figura 12, está apresentada a janela de identificação dos nós em que são introduzidos os dados associados a estes.

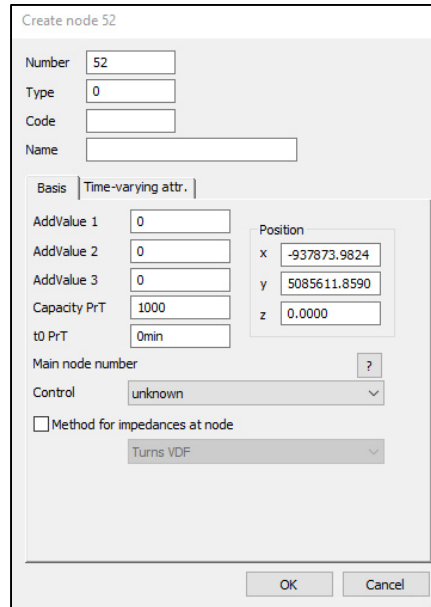


Figura 12 - Janela de identificação de nó no PTV Visum 15

As viragens estão associadas aos nós e especificam quais os movimentos aí permitidos, isto é, se há continuação de um percurso de um arco para outro, em função da sinalização ou do perfil em questão. Num cruzamento de 4 ramos, com dois sentidos, representado por um nó, existirão teoricamente 16 viragens possíveis (quatro de “idas em frente”, quatro “viragens à direita”, quatro “viragens à esquerda” e quatro “inversões de sentido de marcha”).

Cada viragem é definida pelo arco de origem e de destino do tráfego, pela capacidade permitida da viragem e pelos modos de transporte que podem realizar essa viragem (uma vez que, em alguns casos, certas viragens não são permitidas a determinados tipos de veículos, como por exemplo, autocarro).

3.3.3.2. Arcos (*Links*)

Os arcos ligam os nós, descrevendo a estrutura da rede e podem ser usados por um conjunto de sistemas de transporte (modos de transporte), representando assim vários tipos de infraestruturas de transporte, como por exemplo, uma infraestrutura rodoviária, ferroviária ou

outro tipo de infraestrutura. Um arco é representado como um elemento dirigido e é descrito pelo número do nó de início e do nó de fim.

Em cada arco é possível especificar os sistemas de transporte permitidos, definir apenas a circulação de autocarros e quantos sentidos de tráfego este tem (se é de sentido único ou tem dois sentidos). Como ambos os sentidos de um arco são elementos independentes na rede, podem assim ter características distintas. Assim, os arcos são caracterizados pelos seguintes atributos:

- Número;
- Nó de origem e nó de destino;
- Sistemas de transporte permitidos;
- Capacidade da via;
- Velocidade base;
- Velocidade máxima permitida;
- Número de vias.

Podem ser atribuídos ainda valores relativos a contagens de tráfego, caso constem. A Figura 13 apresenta a janela de identificação dos arcos onde são introduzidos os dados referentes a este.

The image shows a software dialog box titled "Edit link". It contains several input fields and buttons. The "Number" field is set to 30. "From node" is 1 and "To node" is 40. "Type" is 00. "Transport systems" is B,C,W. There are tabs for "Basis", "PrT TSys", "PuT TSys", "Environment", "EWS-97", and "Congestion". Under "Basis", "Direct distance" is 0.954km, "Length" is 0.973km, "v0 PrT" is 50km/h, "Lanes" is 1, "Capacity PrT" is 99999, "HGV share [%]" is 0, "Plan no" is 0, "Bar label" is checked, and "Volume PuT-walk" is 0. There are "Opposite", "OK", and "Cancel" buttons at the bottom.

Figura 13 - janela de identificação dos arcos no PTV Visum 15

O PTV Visum, permite a criação de vários tipos de arcos, ou seja, a criação de arcos modelo em que se atribua características do tipo de via (Autoestrada, IC, IP, circulares, variantes, etc.). O tipo de arco é escolhido a quando da criação do arco, podendo as características deste serem alteradas, no entanto, é recomendado que as características padrão sejam mantidas, de forma conseguir-se uma modelação mais consistente. O PTV Visum permite a criação de 100 diferentes tipos de arcos. A tabela 3 apresenta alguns tipos de arcos, com as respetivas características e identificação.

Tabela 3 – Exemplo de tipologia de caracterização dos arcos da rede (Ramos & Neto, 2012)

Tipo de Arco (Link type)	Designação	Velocidade Base (Km/h)	Capacidade (Veh/h/por sentido)
0	IC – 2 vias por sentido	80	3500
10	Circular/Variante – 2 vias por sentido	70	3000
20	Rampa de acesso – 1 via	50	900
30	Via estruturante – 2 vias por sentido	50	1200
31	Via estruturante – 1 via por sentido	40	600
32	Via estruturante – 3 vias sentido único	50	1700
33	Via estruturante – 2 vias sentido único	40	1300
40	Outras vias urbanas – 2 vias por sentido	50	1000
41	Outras vias urbanas – 1 via por sentido	40	400
42	Outras vias urbanas – 1 via sentido único	30	500

3.3.3.3. Zonas (zones)

As zonas são os objetos que descrevem as áreas com características e usos do solo, homogéneos e semelhantes, descrevendo, assim, a posição os utilizadores na rede, correspondendo a pontos de origem e destino das viagens dentro da área de estudo. Ao seu “centro de mobilidade” designa-se centróide. A cada zona é atribuído um limite de zona, que representa a sua cobertura espacial, que pode variar de tamanho dependendo do nível de pormenor do modelo.

É através das zonas que se ligam os dados da matriz OD com a rede, mas para isso estas têm de estar ligadas à rede por, pelo menos, um conector. As zonas constituem, então, as unidades geradoras de viagens (a procura) para a rede viária (a oferta). Uma zona é identificada pelo seu

número, pelo nome e pelas coordenadas que correspondem ao centroíde, conforme é possível verificar na Figura 14 onde se apresenta a janela de identificação e caracterização das zonas.

The image shows a software dialog box titled "Create zone 1". It contains several input fields and a tabbed interface. The fields are: "Number" (value: 5), "Type" (value: 0), "Code" (empty), and "Name" (empty). Below these is a tabbed section with tabs for "Basis", "Connectors", "OD demand", and "DStrata". The "Connectors" tab is active, showing a "Relative state" dropdown menu set to "Ignore". Below this are three "AddValue" fields (1, 2, 3) all set to 0. At the bottom of the tabbed section is a "Position" section with "x" (-964571.799) and "y" (5062418.62) coordinates. At the very bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 14 - janela de identificação das Zonas no PTV Visum 15

3.3.3.4. Conectores (*Connectors*)

Os conectores são elementos fictícios que fazem a ligação entre o centroíde de uma zona e a rede de transportes. Cada zona tem que estar conectada a pelo menos um conector de forma que os “utilizadores” possam entrar e sair da zona. Eles representam também a distância a ser percorrida entre o centro geométrico de uma zona e os nós de ligação, ou seja, corresponde a uma rota de entrada e saída entre o centro geométrico da zona e o nó de ligação. Um conector tem, por conseguinte, dois sentidos.

Conforme é possível observar na Figura 15, a identificação dos conectores é feita pelo número da zona de origem e o número do nó da rede. Uma zona pode conectar-se à rede através de vários conectores, em que cada um deles deve estar ligado a um nó distinto na rede, simulando a admissão de fluxo na rede através de vários pontos da mesma.

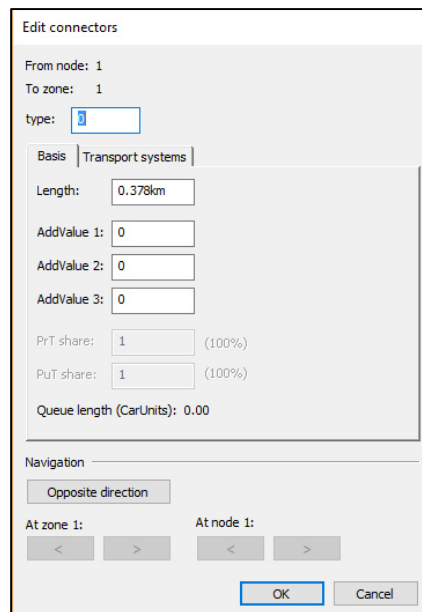


Figura 15 - Janela de identificação do conector no PTV Visum 15

3.4. Métodos de contagem

As contagens de tráfego têm muitas aplicações que vão desde o estudo da procura em fase de planeamento, projeto, exploração e manutenção das infraestruturas viárias, até à avaliação de medidas segundo critérios de eficiência, segurança rodoviária e impactos ambientais. Estas são feitas com o objetivo de se conhecer o número de veículos que passam num determinado ponto da estrada, durante um certo período, permitindo fazer a estimativa do Volume Médio Diário (VMD), a composição do tráfego, etc. (Macedo, 2004).

Por outro lado, permitem, também, aglomerar dados essenciais para obtenção de séries temporais para análise de diversos elementos, tais como, a tendência de crescimento do tráfego e as variações de volume (Duarte, 2013).

No processo de modelação de transportes, as contagens de tráfego são inseridas na fase de afetação, pois estas permitem fazer uma calibração da matriz OD, bem como a calibração e validação do modelo de tráfego.

3.4.1. Técnicas de contagem de veículos

Habitualmente é possível definir 3 tipologias de contagens: manuais, automáticas ou com recurso a câmaras de vídeo (com tratamento posterior). A sua escolha e utilização dependem

de vários fatores, tais como, os recursos humanos e materiais disponíveis, as características locais, a previsão exigida para os resultados finais, o volume de dados a recolher e a duração do período de observação (Costa, 2008).

3.4.1.1. Contagens manuais

As contagens dos veículos são realizadas no local por observadores, a quem anteriormente lhes foi comunicado com clareza as tarefas a desempenhar.

É a técnica mais simples não necessitando da colocação em funcionamento de qualquer equipamento de medida e tem a vantagem de poder contar com a capacidade humana de observação, que é muito importante, sobretudo nos casos de se pretender complementar informação recolhida, como por exemplo, com a taxa de ocupação dos veículos ligeiros, ou se a própria contagem exigir o conhecimento que a trajetória dos veículos seja seguida, como acontece na contagem de tráfego dos movimentos direcionais dos cruzamentos.

No caso dos volumes de tráfego, e/ou períodos de observação, serem extensos, esta técnica deixa de ser aconselhável, pelo facto do esforço exigido pode ultrapassar as limitações humanas, ou então se o número de observadores necessário se tornar inoportável.

A utilização de observação necessita de uma fase inicial de aprendizagem, com a realização de um ensaio piloto para testar a exequibilidade da técnica e efetuar, se necessário, realizar as correções necessárias, havendo, ainda, a necessidade de prever mecanismos de controlo que minimizem os enganos ou eventuais fraudes.

Aos observadores devem ser dadas condições de comodidade e segurança de forma a evitar a sua fadiga ou perda de concentração, é geralmente recomendado que as contagens sejam feitas apenas em 80% de cada período de agregação (4 em 5 minutos ou 12 em 15 minutos) multiplicando-se os valores registados por 1,25 para se obterem os valores finais.

As contagens são registadas pelos observadores em impressos especialmente concebidos para o efeito, podendo dispor de equipamentos mecânicos (pressão num botão) ou eletrónicos (teclado, ecrã sensível com a “silhueta” dos veículos, caneta de leitura de códigos de barras afetos a cada classe/movimento dos veículos) que facilitam a recolha dos dados de tráfego e

consequente tratamento, no caso do registo ser eletrónico e poder ser facilmente transferível para qualquer software de análise de dados (Costa, 2008).

3.4.1.2. Contagens automáticas

Este tipo de contagem requer a instalação de equipamento de medida no terreno, o que pode obrigar à interrupção da circulação e são especialmente recomendados para períodos longos de observação, que justifiquem o custo da sua aquisição, instalação e manutenção. No geral a precisão dos contadores automáticos é boa, sendo fácil o tratamento dos dados recolhidos através de software próprio. Contudo, já não é possível fazê-lo, recorrendo apenas a este tipo de equipamentos, principalmente quando se pretende medir certas variáveis de tráfego que exijam o seguimento da trajetória dos veículos.

Estes sistemas baseiam-se na deteção dos veículos que, conforme o tipo de sensores utilizado, pode efetuar a contagem dos eixos dos veículos ou a passagem do veículo com recurso a radiações eletromagnéticas. Há num e noutro caso vários tipos de tecnologias, as mais importantes são as seguintes (Costa, 2008):

- **Tubo pneumático:** as rodas dos veículos fazem pressão num tubo de borracha colocado sobre o pavimento e o ar no interior do tubo vai atuar numa membrana que aciona um sinal elétrico. Apesar do seu custo ser baixo a sua utilização é cada vez menor, devido, por um lado aos problemas de fixação do tubo e à menor precisão associada aos resultados, e por outro lado ao avanço tecnológico observado nos outros equipamentos.
- **Espira de indução:** é provavelmente o mais utilizado, consistindo na criação de um campo eletromagnético com a passagem de uma massa metálica (veículo) sobre uma espira (cabo elétrico) enterrada a pouca profundidade no pavimento. Pode classificar veículos e medir velocidade desde que existam um par de espiras.
- **Piezoelétrico:** o peso dos veículos que passa sobre o contador deste tipo constituído por material cerâmico cria um campo elétrico proporcional à pressão exercida.
- **Magnético:** a passagem de uma massa metálica (veículo) sobre uma placa magnética produz uma deformação no campo magnético que pode ser medida.
- **Infravermelhos:** a passagem de um veículo interrompe a radiação eletromagnética, sendo detetado por uma célula.
- **Micro-ondas:** a passagem de um veículo é assinalada por um emissor/recetor de ondas eletromagnéticas da gama de frequências micro-ondas.

3.4.1.3. Contagem a partir de imagens de vídeo

Neste método são recolhidas e gravadas imagens da(s) corrente(s) de tráfego em análise para depois serem analisadas em gabinete. Este caso, em princípio, não dispensa a presença de observadores no trabalho de contagem de veículos propriamente dito, só que estes serão necessários apenas no momento do visionamento das imagens recolhidas e não no terreno, como acontece nos métodos manuais (Costa,2008).

A gravação de imagens permite efetuar em qualquer altura a revisão dos acontecimentos para esclarecer qualquer situação aparentemente duvidosa, bem como obter dados suplementares que, eventualmente, poderiam não ter sido previstos inicialmente. A extração dos dados a partir das imagens vídeo pode ser feita manualmente preenchendo os impressos especialmente preparados para o efeito, tal como se faria no campo, ou registando diretamente em computador, com a associação das telas aos diferentes tipos de movimentos e classes de veículos.

3.5. Construção de uma matriz OD

A matriz origem-destino (OD) é um dos principais *inputs* e *outputs* dos modelos de transportes, uma vez que representa o padrão do fluxo de viagens entre zonas numa determinada área de estudo. A matriz OD relaciona potenciais deslocamentos de pessoas e mercadorias numa região. Na sua estrutura bidimensional, cada elemento representa as viagens entre uma origem e um destino (Loureiro, 2007 e Peixoto, 2013).

Na matriz OD, o valor armazenado numa célula (linha *i* e coluna *j*), representa a procura entre uma zona de origem *i* e uma zona de destino *j*, para um determinado período de tempo estudado. Todas as viagens referentes à procura numa certa área de estudo estão representadas desta forma, para todo as zonas.

No planeamento de transportes uma das fases mais importantes é a estimação do número de viagens, no futuro, entre as zonas da área de estudo, nomeadamente, para a sua utilização em os modelos de simulação de tráfego (Peixoto, 2013).

O conhecimento da distribuição espacial da oferta e da procura é uma condição essencial para o dimensionamento de um sistema de transportes, pois a determinação dos volumes de tráfego nos segmentos que compõem a rede viária deve-se à afetação das viagens com base na matriz

OD da rede em estudo. Segundo Peixoto (2013), os resultados da matriz OD, permitem definir políticas de transportes, tendo por base a realização de previsões e modelações através da construção de cenários prospetivos de forma a analisar várias situações de comportamento da procura de transportes para a rede.

Durante a construção de uma matriz OD, são utilizadas 3 fases processo do modelo de quatro passos apresentado no capítulo 2, sendo estas a geração/atração de viagens, distribuição de viagens e repartição modal.

A partir dos inquéritos realizados ou através da contagem de matrículas, de forma a saber a deslocação dos utentes, é possível saber o número de viagens geradas e atraídas por uma certa zona e como as viagens entre zonas se distribuem. Os inquéritos permitem ainda saber, dependendo do tipo, o modo de transporte utilizado, possibilitando assim fazer uma repartição modal das viagens, conforme se apresenta nos pontos seguintes desta secção. A Figura 16 permite enquadrar as três fases referidas do modelo de quatro passos com a matriz OD.

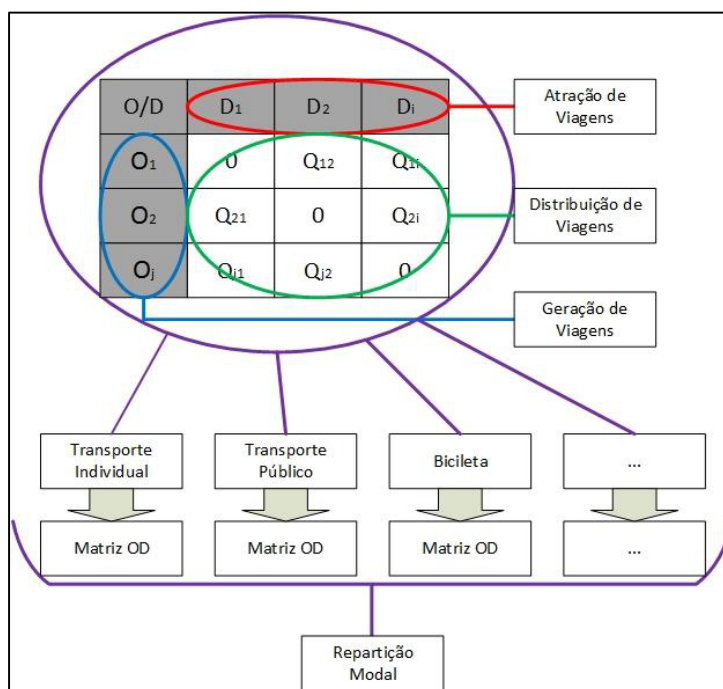


Figura 16 - Fases de construção de uma matriz OD de acordo com o modelo de 4 passos

O âmbito desta dissertação não incide diretamente sobre estes três passos, mas na afetação de viagens aos eixos de uma rede viária para transporte individual, cujo o tratamento e processo serão devidamente explicados no ponto 3.6.

O método mais utilizado para a construção de matrizes OD é o da estimação direta simples, que abrange vários tipos de pesquisa, como entrevistas no domicílio e na via, assim como observação e contagem de matrículas (Souza, 2007).

3.5.1. Método de entrevistas no domicílio

Esse método é utilizado nos estudos de tráfego e transportes em meio urbano, e é baseado na recolha de amostras de informação da população da área de estudo através da realização de entrevistas ao domicílio. São recolhidas informações sobre as viagens (movimentos do tráfego), os meios de transporte utilizados e outras informações com interesse, para a investigação em curso.

3.5.1.1. Dados básicos / ou informação inicial

Selecionados os domicílios, cada um de seus residentes com idade superior a cinco anos é submetido a um questionário relativo às viagens realizadas no dia anterior. Com a escolha do dia anterior evita-se esforços de memória e diminui-se os erros de percepção quantificados de outras variáveis como o tempo.

O questionário deve tentar obter o seguinte conjunto de informações (Martins et al., 2006):

- Endereço da residência;
- Identificação da pessoa que fez a viagem (nome, idade, etc);
- Origem e destino de cada viagem (endereço/indicação);
- Horário e duração da viagem;
- Motivo da viagem (passeio, trabalho, escola e outros);
- Modo de transporte (carro, autocarro, comboio, a pé, metro, etc);
- Números de carros, motos, do agregado familiar;
- Tipo de residência (casa própria, alugada, pensão, etc).

Dependendo dos objetivos da investigação podem ser incluídos outros dados.

3.5.1.2. Período de análise

Segundo Martins et al. (2006), os dias e as horas das entrevistas devem ser planejados de forma a abranger todos os objetivos da investigação. Em princípio as viagens devem referir-se aos dias em que o padrão das deslocações seja o mesmo, isto é, durante os dias úteis, nos quais as variações são mínimas. Cada posto de contagem deverá operar, normalmente, durante 16 horas por dia, das 6:00 às 22:00 horas.

O número de viagens desse período deverá ser extrapolado para obter-se o total de viagens realizadas na área de estudo.

3.5.1.3. Amostra

Para a determinação do tamanho da amostra devem ser adotados procedimentos estatísticos de forma que a informação obtida seja representativa das viagens realizadas por todos os residentes da região.

O tamanho da amostra depende principalmente da homogeneidade da população em relação ao atributo a ser estimado, e não em relação ao número de residentes. Depende também do número de zonas consideradas na divisão realizada para a área (Martins et al., 2006).

3.5.1.4. Tratamento dos dados

Durante a realização da investigação deve-se proceder a um controle de qualidade dos questionários entregues pelos investigadores. Desse modo, serão respeitadas algumas entrevistas por um segundo investigador e os resultados comparados, antes da sua completa e refeitos os lotes eventualmente rejeitados, procede-se ao tratamento dos dados iniciais, como (Martins et al., 2006):

- Número de viagens por motivo na origem e no destino;
- Número de viagens por motivo e por modo de transporte;
- Número de viagens por zona de residência e por tempo de percurso;
- Número de viagens por zona de residência e por hora da viagem;
- Número de viagens por hora da viagem, por modo e por tempo de percurso.

Estes dados fornecem informações quanto ao padrão dos deslocamentos realizados na área de estudo, sendo possível determinar as viagens que serão utilizadas na determinação e calibração dos modelos de simulação. Além desses resultados são determinados índices, como por exemplo (Martins et al., 2006):

- Média de viagens por pessoa por dia;
- Número de pessoas por domicílio;
- Número de viagens por domicílio;
- Percentagem de viagens por modo de transporte em relação ao total;
- Tempos médios de viagem de acordo com os motivos.

Esses valores são comparados com índices semelhantes, obtidos em estudos anteriores, cujos resultados são ponderados, de modo a testar a coerência dos resultados do estudo, visando também auxiliar na determinação dos modelos a serem utilizados.

3.5.2. Método de identificação de matrícula

De acordo com Peixoto (2013), o método de identificação de matrículas é mais indicado para área com elevados volumes de tráfego e de viagens, sobretudo quando existe a impossibilidade de realizar paragem dos veículos. Mas este método apresenta uma série de problemas, pois necessitam de uma grande quantidade de tempo, recursos humanos e financeiros, além de poderem estar rapidamente desatualizados. Dependendo dos objetivos do estudo e do grau de precisão requerido, o levantamento da informação pode ser executado de três formas (Martins et al., 2006):

A primeira consiste na recolha parcial das matrículas dos veículos que se encontram estacionados em determinados locais. Esses locais são considerados como pontos de destino, enquanto os locais onde os veículos são guardados de forma permanente (dado que se pode obter das listas de registo) são considerados como pontos de origem.

A segunda consiste em colocar observadores em pontos estratégicos de entrada e saída de locais predefinidos (pontes, viadutos, etc), os quais fazem a recolha parcial das matrículas dos veículos que entram e saem desses locais, bem como qualquer outra informação de interesse (hora de passagem pela seção de entrada ou saída, tipos de veículos, suas marcas etc.). Os dados recolhidos por todos os observadores são comparados entre si, sendo possível determinar a entrada e saída de cada veículo, que serão considerados como seus pontos de origem e destino.

O apuramento dos dados de campo requer o uso de software específicos ou uma grande equipa. Normalmente, só são aproveitadas cerca de 60% das informações, já que só são úteis as matrículas registadas nas entradas e nas saídas. Esta teoria tem como desvantagem a dificuldade na leitura correta da matrícula, além da suposição “a priori” de que a origem e destino coincidem com os pontos de entrada e saída.

A terceira, consiste na filmagem contínua do tráfego e leitura posterior por exibição lenta da passagem dos veículos. Apresenta o custo mais elevado. Esta teoria tem a vantagem de não necessitar da cooperação individual dos motoristas, bem como do policiamento rodoviário necessário para a paralisação dos veículos para as entrevistas.

3.5.3. Método de entrevistas na via

Entrevistas feitas na própria via, constituem um método direto para a obtenção de forma rápida e eficiente da origem e destino da viagem de cada utente entrevistado. Mas, por outro lado, as entrevistas na via dependem do nível de serviço do tráfego e da disponibilidade de mão de obra, de forma a combater este tipo de problemas, estudos vêm sendo desenvolvidos de forma a obter métodos menos onerosos e demorados na estimação de matrizes OD.

3.5.3.1. Dados básicos / informações mínimas

Deverão ser levantadas, integralmente, as seguintes informações, consideradas como mínimas indispensáveis para a realização do estudo (Martins et al., 2006):

- Localização do posto;
- Época da pesquisa;
- Intervalo horário da pesquisa;
- Sentido do tráfego;
- Tipo de veículo;
- Motivo da viagem;
- Peso da carga do camião;
- Tara do veículo (peso do camião vazio);
- Produto transportado;
- Valor da carga;
- Origem e Destino da viagem.

3.5.3.2. Localização e número de postos

O número de postos dependerá da complexidade da rede rodoviária a ser analisada e do grau de precisão desejado. O número deverá ser estabelecido para cada caso específico, de modo a detetar os principais fluxos da região, bem como permitir a avaliação do tráfego que poderá ser desviado para a rede rodoviária em estudo, como consequência dos possíveis investimentos a serem efetuados (Martins et al., 2006).

Os postos deverão ser distribuídos de modo a se localizarem nos pontos de passagem obrigatória dos principais fluxos da área de estudo. Os locais devem ser escolhidos cuidadosamente, para facilitar o trabalho dos entrevistadores e permitir uma abordagem tranquila aos entrevistados. Para garantir uma operação segura no local da entrevista deve ser precedido de adequada sinalização. Normalmente é necessário acompanhamento policial de forma parar o trânsito (Martins et al., 2006).

3.5.3.3. Período de análise

Segundo Martin et al. (2006), a época dos levantamentos estará condicionada por diversos fatores, principalmente no início dos estudos a serem realizados.

É de salientar que as investigações ou estudos feitos numa única época do ano, mesmo cobrindo uma semana, apresentam margem de erro elevada, pelo menos da ordem de 30%, já que além da informação sobre volumes e tipos de veículos, incluem o conhecimento dos pares de origem e destino e um número elevado de outras informações. Para aumentar a precisão da investigação, não adianta simplesmente aumentar a amostra, é necessário distribuí-la por mais do que um período do ano, com o objetivo de cobrir as variações sazonais, mensais, períodos de colheita, etc. O ideal seria efetuar uma investigação nos trimestres, igualmente espaçadas no tempo, por exemplo: três investigações de dois dias seguidos e uma de um dia, cobrindo todos os dias da semana (Martins et al., 2006).

As entrevistas deverão ser feitas entre 6:00 horas e 22:00 horas, durante todo o período das contagens. Só possível, nas principais estradas, sendo que alguns postos podem ser selecionados para operar durante 24 horas.

3.5.3.4. Amostra

Segundo Martins et al. (2006), deve-se adotar os seguintes critérios para o dimensionamento das amostras:

- Estradas com volume inferior ou igual a 2500 veículos por dia: entrevistar todos os veículos, 24 horas por dia, durante 7 dias consecutivos.
- Estradas com volume superior a 2500 veículos por dia: entrevistar diariamente 2500 veículos, durante 7 dias consecutivos, estratificando a amostra por tipo de veículo e efetuar contagens volumétricas durante 24 horas.

As contagens de 24 horas permitirão obter coeficientes de extrapolação para aplicação aos resultados das entrevistas. Esses critérios apresentam margens de erro relativamente elevadas. Para além disso, tem-se adotado períodos e amostras menores, por razões económicas. Quando se tornar imprescindível a obtenção de dados mais precisos, deve-se proceder a estudos estatísticos adequados.

3.5.3.5. Dimensionamento

Segundo Martins et al. (2006), o dimensionamento o levantamento de matrizes OD deve considerar que um bom entrevistador pode realizar entre 10 e 20 entrevistas por hora, levantando entre 3 e 6 informações em cada uma delas. Para cada posto de entrevistas de origem e destino deve-se dispor de pelo menos dois entrevistadores, um para veículos pesados e outro para veículos ligeiros. As informações relativas a autocarros são normalmente recolhidas junto às empresas e órgãos encarregados pela sua fiscalização.

Um contador experiente pode contar e classificar por tipo de veículo e por sentido de tráfego, todos os veículos de uma estrada com duas vias por sentido de tráfego, até um volume na ordem dos 350 veículos por hora. Para volumes superiores são utilizados pelo menos dois contadores, em que cada um, fica encarregue de contar e classificar os veículos de um sentido de tráfego.

É de realçar, que para além de entrevistadores e contadores, para volumes elevados de tráfego necessita-se de pessoas que realizem a seleção de veículos, isto é, que indiquem quais os veículos a serem entrevistados, esta seleção deve ser feita de forma aleatória, de modo a não criar qualquer tendência quanto às suas características das respostas. Normalmente são necessárias duas pessoas (uma para cada sentido de tráfego). Finalmente cada posto de pesquisa

deverá contar com um chefe de equipa, responsável geral pelos serviços. Esses valores são aproximados, pois há muitos fatores a serem considerados, tais como a experiência dos contadores e a distribuição horária dos veículos, mas servem para uma orientação preliminar quanto ao pessoal necessário.

3.5.4. Matrizes no PTV Visum 15

No PTV Visum existem dois tipos de matrizes:

- Matriz OD, que são utilizadas para caracterizar a procura de transporte entre uma zona de origem e uma zona de destino;
- Skim Matrizes, que permitem caracterizar a relação entre uma zona de origem e uma zona de destino para determinados de valores de impedância (tempo, distância, custo generalizado, etc.).

3.5.4.1. Matriz OD

Visto que a base teórica da construção de matrizes OD foi devidamente apresentada neste ponto, pelo que apenas se irá desenvolver a sua aplicação no PTV Visum 15.

As matrizes OD podem ser criadas diretamente no PTV Visum 15, ou carregadas, sendo que estas terão que ser sujeitas ao tratamento necessário de forma que não se verifique a ocorrência de erros no seu processamento (não correspondência das zonas, dados alterados, etc.).

A dimensão das matrizes OD dependem do número de zonas criadas no PTV Visum 15, isto é, esta sofre alterações com a criação e eliminação de zonas. Estas também podem ser alteradas durante o processo de afetação, ou seja, os dados podem ser reajustados a qualquer momento diretamente na matriz OD. As figuras 17 e 18, apresentam a forma de criação e carregamento de uma matriz OD e a Figura 19 apresenta um exemplo da matriz OD.

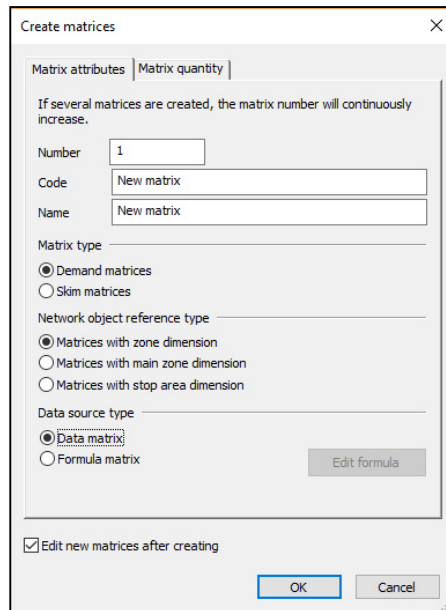


Figura 17 - Janela de identificação da Matriz OD no PTV Visum 15

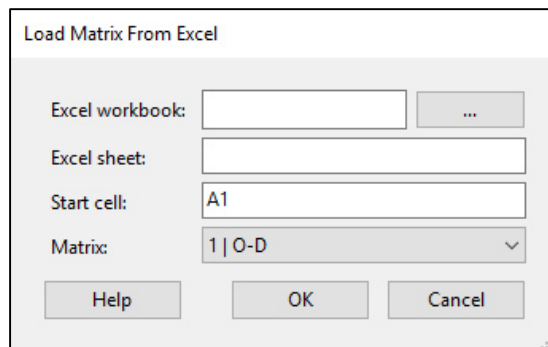


Figura 18 - Janela de carregamento dos dados da Matriz OD

4 x 4		10	20	30	40
	Name				
	Sum	28,00	32,00	36,00	40,00
10		10,00	1,00	2,00	3,00
20		26,00	5,00	6,00	7,00
30		42,00	9,00	10,00	11,00
40		58,00	13,00	14,00	15,00

Figura 19 - Exemplo de uma Matriz OD no PTV Visum 15 (PTV Group, 2015)

3.5.4.2. Skim Matrices

As Skim Matrices para análise de uma rede de transporte individual, permitem relacionar valores de impedância como o atraso e a distância – custo entre zonas. Estas têm a mesma

dimensão da matriz OD, pois também dependem do número de zonas da rede, e podem ser geradas após a afetação das viagens à rede. A criação deste tipo de matrizes antes da afetação da rede, resulta numa matriz nula, ou seja, como não existem veículos em circulação, este não vão implicar qualquer “custo” entre zonas. Já para o transporte coletivo, as Skim Matrices permitem introduzir tempos de percurso de uma certa rota e os custos associados, sendo assim estas devem ser aplicadas antes do processo de afetação. Mas esse estudo não foi explorado, pois não consta nos objetivos desta dissertação. Assim, o PTV Visum permite obter as seguintes Skim Matrices:

- t_0 – Tempo médio de viagem em regime livre;
- t_{Cur} – Tempo médio de viagem com a rede afetada, é carregada;
- V_0 – Velocidade média de viagem em regime livre;
- V_{Cur} – Velocidade média de viagem com a rede afetada;
- DIS – Distância média de viagem;
- DID – Distância direta entre zonas;
- *Impedance* – Impedâncias, (outras variáveis de impedância não padronizadas, mas que os utilizadores queiram estudar, como custo dos veículos);
- *Toll* – Custo de portagem;
- *AddValue* – Outras variáveis não padronizadas, mas que os utilizadores queiram estudar.

O cálculo destas matrizes é feito durante o processo de afetação, onde se escolhem as variáveis pretendidas. As Figuras 20 e 21 apresentam respetivamente, a janela onde se seleciona esta funcionalidade e as variáveis a serem retiradas.

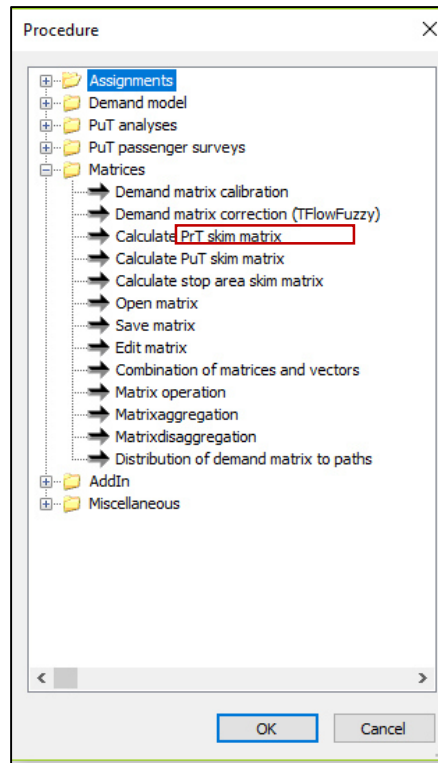


Figura 20 - Janela de Funcionalidade do PTV Visum 15

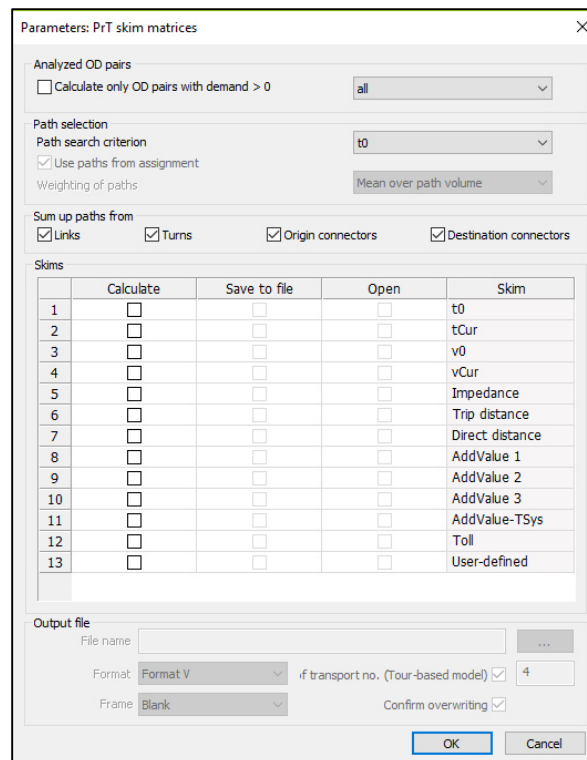


Figura 21 - Escolha dos valores a calcular nas Skim Matrices

A Figura 22, apresenta um exemplo de uma Skim Matriz para a variável tempo médio de viagem em regime livre (t_0), para o transporte individual.

5 x 5			1	2	3	4	5
	Name						
	Sum	273,19	280,35	266,85	263,66	216,76	
1		273,19	0,00	69,49	99,80	49,55	54,36
2		280,35	69,49	0,00	54,19	99,40	57,27
3		266,85	99,80	54,19	0,00	61,22	51,64
4		263,66	49,55	99,40	61,22	0,00	53,50
5		216,76	54,36	57,27	51,64	53,50	0,00

Figura 22 - Exemplo de Skim Matrices para a variável t_0 para o transporte individual no PTV Visum 15

3.5.5. Valores de impedância

Define-se por impedância a medida que traduz o custo generalizado de uma viagem, podendo esta ser representada por tempo, unidade monetária ou comprimento fictício (Ramos, 2008). Assim, a impedância de uma viagem é função das impedâncias parciais que pode ser associadas a cada um dos elementos da rede (arco, nós, conectores, viragens), sendo calculada através de uma expressão definida pelo modelador, função do tempo de percurso, da extensão da escolha de caminhos e do custo da viagem (pode ser direto, em portagens, ou indireto, como o custo operacional do veículo), e representa o inverso da utilidade que cada condutor atribuí a essa viagem, escolhendo sempre que é possível, a melhor utilidade (Ramos, 2008).

Depois de conhecidas as variáveis que motivam o condutor a decidir sobre qual o caminho a tomar, é necessário que estas estejam todas na mesma unidade, de forma a representarem um valor coerente e que possa ser utilizado como objeto de comparação pelo PTV Visum, na fase de distribuição das viagens pela rede. Geralmente usa-se o custo generalizado ou o tempo como unidade de referência (Duarte, 2013).

A impedância de afetação deve refletir sobre a base de escolha dos utilizadores, ou seja, se os utilizadores escolherem determinado percurso com base no tempo, então a impedância da afetação deve ser o tempo de viagem. Se as opções de percursos de viagem forem feitas com base na distância, ou no custo generalizado da deslocação, então a impedância deve refletir estes valores.

A impedância corresponde a uma medida de resistência ao deslocamento que os algoritmos de afetação usam para calcular os caminhos mínimos entre as origens e os destinos. Os percursos são mínimos na impedância, isto é, os algoritmos identificam o percurso de viagem que corresponde às impedâncias mínimas entre uma origem e um destino. Mas, por outro lado, este deve refletir sobre as opções de escolha do utilizador (Duarte, 2013 e PTV Group, 2015).

3.6. Afetação no software PTV Visum15

O PTV Visum 15 dispõe de um vasto número de modelos de afetação. Desde de modelos dinâmico em que o tempo é um dos objetos de modelação e modelos estáticos em que esta variável não é tida em conta. Os modelos mais frequentes nos estudos de afetação são os modelos estáticos, mais concretamente o modelo de equilíbrio e o modelo estocástico.

O modelo de equilíbrio efetua a distribuição da procura de tráfego baseando-se no primeiro princípio de John Wardrop (analista inglês de transportes que, publicou o seu trabalho em 1952), segundo o qual cada condutor escolhe o caminho de forma que a sua viagem dure /custe o menor possível. Este princípio foi bem-recebido por se tratar de uma descrição simples, mas suficientemente realista da distribuição de percurso sujeitos a determinadas condições de tráfego (Ramos, 2008).

Este método baseia-se, inicialmente, num modelo incremental de afetação dos dados de viagens, que leva o condutor a selecionar um de dois caminhos com a mesma impedância (duração/custo). Considera-se assim, que se está numa situação regida por um modelo de equilíbrio quando não é possível ao condutor diminuir o seu tempo de percurso sem intervenções exteriores sobre as quais não tem poder de decisão (Ramos, 2008 e Duarte, 2013).

Ao contrário do modelo de equilíbrio, o modelo estocástico tem como base uma distribuição probabilística, sendo sujeito a uma aleatoriedade que deriva, por exemplo, do hábito e das preferências de cada condutor. Desta forma, a solução deste modelo não é única.

No modelo estocástico, os parâmetros como o tempo e a distância são entendidos de uma forma subjetiva por cada condutor, em que a combinação deste entendimento com essas preferências próprias de cada condutor originará escolhas que, seguindo o princípio de Wardrop não seriam tidas em conta. Sendo assim, são calculados não só o caminho com menor impedância, mas

também outros com impedâncias superiores que dependendo do modelo de distribuição adotado vão ser utilizados como alternativas.

Estes dois modelos são principalmente utilizados quando se está na presença de redes congestionadas. Porém, quando se trata de uma rede com um elevado número de caminhos alternativos entres os pares OD e em que o grau de saturação não seja muito elevado, utiliza-se o modelo estocástico, de maneira a tentar refletir a diferente perceção de custos dos utilizadores e, conseqüentemente, a repartir adequadamente as viagens pelas várias hipóteses. À medida que o grau de saturação da rede vai aumentando consideravelmente, deve-se optar pelo modelo de equilíbrio uma vez que é mais eficiente e o efeito da restrição à capacidade tende a distribuir adequadamente as viagens pelos vários percursos possíveis entre pares de zonas sem recorrer à lógica estocástica de distribuição dos processos de decisão dos condutores (Tavares, 2003).

Segundo Tavares (2003), é de salientar ainda, que quando se está a trabalhar com modelos estocásticos ou de equilíbrio, ter-se-á obrigatoriamente de calibrar o denominado parâmetro de dispersão que fixa a variabilidade das viagens pelos caminhos que não sejam o de custo mínimo, realçando-se que a fixação do valor para o parâmetro de dispersão assume uma grande importância.

3.6.1. Parâmetros do modelo de equilíbrio

Nos seguintes parágrafos descrevem-se os principais parâmetros que caracterizam o modelo de afetação no PTV Visum.

Na principal janela do modelo de equilíbrio, figura 23, são colocados os diferentes valores, que correspondem á divisão incremental da matriz OD, isto é, a matriz inicial é segmentada em diferentes proporções, que correspondem aos valores escolhidos pelo modelador. Para cada célula da janela, que variam de 1 a 12 é feita uma iteração do processo de afetação. Em muitos casos não é possível obter a matriz OD da rede, mas para estudos de obtenção da mesma, a partir da ferramenta TFlowFuzzy, descrita no ponto 3.7.1, é preciso a adoção de uma matriz OD de valor constante, este valor é decidido pelo modelador da rede. Quando isto acontece, no início do processo de modelação de afetação, deve adotar-se os valores por defeito do PTV Visum 15 para fazer a afetação do tráfego à rede, a Figura 23 traduz esses valores.

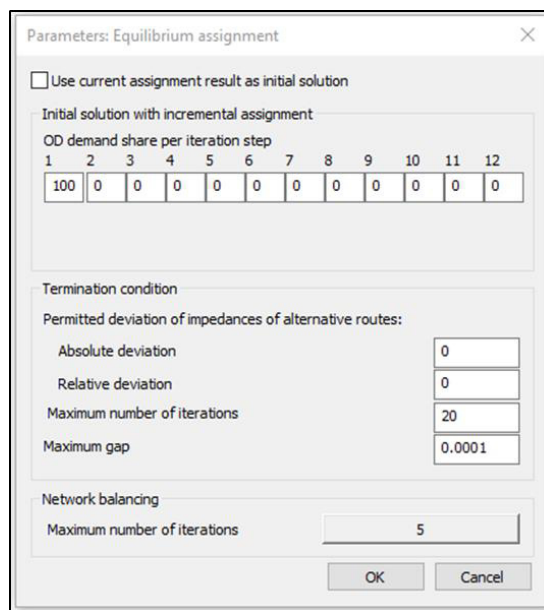


Figura 23 - Parâmetros do modelo de Equilíbrio

A afetação é feita em várias iterações, sendo que em cada uma delas apenas afeta à rede a percentagem de tráfego referente a cada célula (de 1 a 12) definida nesta caixa de diálogo. As várias iterações, são calculadas de forma sequencial, em que no fim de cada uma delas o modelo reavalia as condições de circulação, ou seja, ele afeta a percentagem de tráfego de cada célula e avalia as condições de circulação (nível de saturação, tempo de viagem, distância, etc.) de forma sequencial, permitindo assim, saber a variação de escolha de percurso em função do aumento do tráfego. Isto conduz às diferentes escolhas de percursos ao longo do processo iterativo.

Na última parte da janela dos parâmetros do modelo de equilíbrio é colocado o valor das iterações que irão ser feitas na afetação por equilíbrio, cuja a escolha do número de iterações fica a cargo do modelador.

3.7. Processos de calibração do modelo

Nos pontos seguintes serão descritos os processos de calibração e validação durante a modelação de uma rede de transportes, tendo na sua base a utilização do software PTV Visum 15.

3.7.1. TFlowFuzzy

Os modelos de equilíbrio, só por si conseguem encontrar soluções matematicamente viáveis para a identificação dos percursos mínimos (menor distância/custo) de uma viagem entre os vários pares OD. No entanto, muitas vezes quando se faz a comparação dos resultados de afetação de tráfego, isto é, os fluxos de tráfego instalados nos arcos da rede com os valores de contagens de tráfego medidas na realidade, verifica-se que existem grandes diferenças de valores.

Estas diferenças poderão ter duas origens, a má calibração dos parâmetros da rede (que origina a escolha de percurso alternativos, diferentes daqueles escolhidos na realidade), a utilização de matrizes OD incompletas (obtida através de dados parciais, e que é necessário completar). O PTV Visum, assim como em algumas versões anteriores, possui uma ferramenta, designada de *TFlowFuzzy*, que possibilita a utilização das contagens de tráfego reais para corrigir os fluxos iniciais da matriz OD, de forma que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viragens, selecionados o mais próximo possíveis dos valores das contagens de tráfego (PTV Group, 2015).

Mais concretamente, o *TFlowFuzzy* corrige a matriz inicial comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viragens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas, com o objetivo final de validar essas contagens através do ajustamento da matriz OD, de maneira a aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos volumes de tráfego reais.

Mas, como em todos os processos de correção de matrizes, o *TFlowFuzzy* ajusta a matriz OD de modo a que os seus resultados de afetação consigam satisfazer a oferta real observada. O *TFlowFuzzy* foi desenvolvido de forma a corrigir matrizes OD tanto em transporte individual, como em transporte coletivo, utilizando dados de contagens mais atuais e valores de referência. Os novos dados da matriz são calculados com o auxílio de um processo iterativo, baseando-se nos percursos calculados a partir de pares OD individuais. Este procedimento pode ser utilizado em várias situações (PTV Group, 2015):

- Quando a matriz OD, obtida com base em dados de inquéritos está desatualizada e se quer atualizar, sem recorrer a um novo levantamento. A atualização deve basear-se apenas em dados de contagens;
- Quando se quer calibrar uma matriz gerada a partir de um modelo de planeamento de transportes (como o modelo de quatro passos), usando apenas contagens de tráfego;

- Quando se quer melhorar uma matriz gerada a partir de dados incompletos ou não confiáveis, utilizando dados atuais de volume e contagens mais fiáveis.
- Criação de matrizes OD, a partir de dados de contagens. Sendo que para isso, se deve criar uma matriz OD inicial de valor constantes, em que este valor é decidido pelo modelador.

O algoritmo *TFlowFuzzy* auxilia a resolução destes problemas, tanto para o transporte coletivo como para o transporte individual. A atualização apenas afeta a matriz OD e não a série temporal, isto é, refere-se sempre ao volume total em vez do volume por intervalo de tempo (PTV Group, 2015). A Figura 24, mostra de forma simplificada como é feita a introdução dos dados *TFlowFuzzy*.

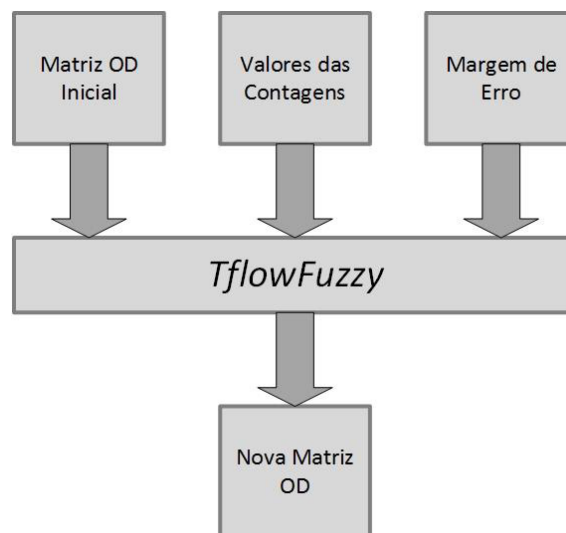


Figura 24 - Processo de calibração do TFlowFuzzy (PTV Group, 2015)

Para a atualização, os valores da contagem são comparados com os volumes de tráfego modelados, que resultam de uma afetação pré-calculada, da matriz OD anterior. As diferenças entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz OD para o segmento de procura afetado (transporte individual, transporte coletivo, peão, etc.) (PTV Group, 2015).

O *TFlowFuzzy* permite também atualizar matriz OD de diversos segmentos de procura, se os valores totais das contagens forem especificados para todos os segmentos. De seguida, os dados das contagens são distribuídos proporcionalmente à respetiva procura do segmento dos volumes de afetação. A matriz OD de cada segmento é então atualizada (PTV Group, 2015).

Este é um processo iterativo, uma vez que começa com a diminuição na margem de erro, ou seja, é criado um intervalo de valores onde os valores modelados podem variar em função dos valores reais e utiliza a nova matriz calibrada como base. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viragens, visto que, o *TFlowFuzzy* permite escolher vários tipos de contagens, como o volume nos arcos, o volume nas viragens e o volume nas screenlines (PTV Group, 2015). A figura 25, apresenta um esquema desse processo iterativo.

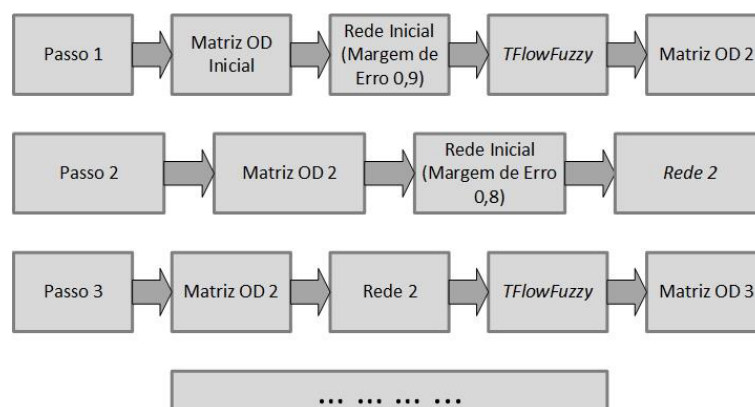


Figura 25 – Esquema do processo iterativo da metodologia TFlowFuzzy (Duarte, 2013)

Durante a implementação deste algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede (arcos e/ou viragens) que possuam fluxo e contagens de tráfego. É necessário definir uma margem de erro, que, inicialmente, não deve ser muito baixa devido à diferença entre os valores modelados e os valores das contagens. Se a margem de erro for muito baixa, o algoritmo não é executado. Também durante este processo, quando não se consegue fazer convergir o modelo, deve-se modificar a rede. Esta modificação pode ser realizada através da introdução de atrasos, alteração das capacidades, redefinição das velocidades máximas entre outro tipo de alterações, e deve ocorrer na rede secundária à que se está a analisar, por exemplo, se se pretende estudar as distribuidoras principais, pontualmente pode-se fazer pequenas alterações nos elementos da rede nas distribuidoras locais (criação e eliminação de arcos e nós), de forma que as alterações produzidas não interfiram diretamente na análise da rede em estudo. Uma vez processadas estas alterações, volta-se a executar o algoritmo. A Figura 26, mostra a janela com a identificação dos elementos necessários para a execução da ferramenta *TFlowFuzzy*, onde é permitido fazer a escolha dos tipos de dados de contagens a serem executados neste processo.

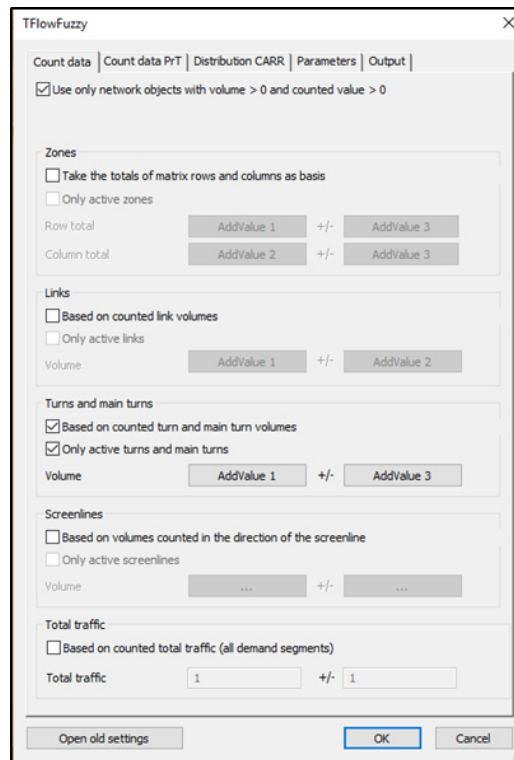


Figura 26 - Parâmetros TFlowFuzzy

O processo só termina depois dos valores das contagens estarem validados, esta validação é feita através dos processos de calibração descritos no ponto 3.7.3.

3.7.2. Análise interativa

O PTV Visum 15 oferece várias funcionalidades que permitem avaliar o modelo de tráfego de forma interativa. Estes podem ser utilizados para analisar tanto uma rede de transporte individual como de transporte coletivo e são uma importante ferramenta para a execução do processo de calibração.

Assim, o PTV Visum tem disponíveis as seguintes ferramentas de análise interativas (PTV Group, 2015):

- **FLoW Bundles:** pacote de análise de filtros através da atribuição de filtros de acordo com diferentes critérios, como por exemplo, todos os percursos que atravessam um arco específico;
- **Isócronas:** Definição de pontos de igual acessibilidade, em relação aos diferentes objetos da rede. Objetos esses que podem ser acedidos a partir de um ou vários objetos da rede dentro

do mesmo tempo, podendo ser realçadas através da utilização da mesma cor (por exemplo, o tempo de viagem de um determinado utilizador em relação ao resto da rede).

- **Identificação do caminho mais rápido:** identificar o caminho mais curto entre zonas, nós ou principais nós, de acordo com diferentes critérios (por exemplo, a distância).

Estas ferramentas permitem, ao modelador, identificar e conhecer a informação sobre os pontos a intervir de forma a poder calibrar o modelo de uma forma mais exigente. De seguida é explicada a forma das várias ferramentas que, podem ser utilizadas nesta análise.

3.7.2.1. Flow Bundles

Os Flow Bundles são utilizados para filtrar e exibir graficamente a rede afetada, resultado do cálculo da afetação, de acordo com vários critérios e caracterizam-se pelas seguintes propriedades (PTV Group, 2015):

- Consistem na definição de um percurso de uma zona de origem para uma zona de destino;
- Estão associados a um tipo de sistema de transporte (transporte individual, transporte coletivo);
- Permitem fazer a representação da carga de tráfego, isto é, dos volumes (passageiros, veículos).

O Flow Bundles pode ser exibido graficamente no editor da rede ou no OutPut como uma lista. O Flow Bundles é definido através do tipo de objeto da rede selecionada, resultando (PTV Group, 2015):

- Flow Bundles para os nós;
- Flow Bundles para os arcos;
- Flow Bundles para as zonas;
- Flow Bundles para o tipo de tráfego (definindo arcos específicos, ou seja o tipo de tráfego que passa num dado arco)

Flow Bundles para os nós

Flow Bundles para os nós é a lista de todos os caminhos que atravessam o nó selecionado. Para o transporte individual ou coletivo, selecionam-se os segmentos de procura para cada nó, em que o percurso durante o seu atravessamento se pretende utilizar no cálculo Flow Bundles. Os resultados da afetação e os percursos de cada segmento de procura são listados separadamente.

Flow Bundles para os arcos

O Flow Bundles para os arcos é a lista de percursos que atravessam um arco selecionado. No transporte coletivo, alguns arcos só podem ser atravessados em parte, devido à distância das paragens de autocarro no arco. O fator determinante no Flow Bundles é a meio do arco: um arco é considerado atravessado, se um percurso atravessa o meio do arco.

Flow Bundles para as zonas

O Flow Bundles para as zonas é a lista de todas as viagens com origem ou destino na zona selecionada. Assim, é possível especificar se é desejável filtrar o tráfego de origem ou o tráfego de destino.

- Tráfego de origem: todos os caminhos que começam numa zona selecionada;
- Tráfego de destino: Todos os caminhos que terminam numa zona selecionada;
- Tráfego de origem e destino: todos os caminhos que começam ou terminam numa zona selecionada.

Flow Bundles para o tipo de tráfego

Ao se definir os arcos com ativos ou passivos, pode-se filtrar os percursos do Flow Bundles por tipo de tráfego (tráfego interno, tráfego externo, tráfego da origem, tráfego do destino, e do tráfego de atravessamento). Apenas são exibidos no Flow Bundles o percurso entre as várias zonas e os percursos dentro da própria zona.

A distinção entre elementos ativos e passivos, é a partir da criação de um filtro, onde se pretende filtrar os elementos com determinadas características, como por exemplo, baixo fluxo de tráfego, elementos com contagens de tráfego. Isto permite criar listas menos extensas com estes elementos, de forma a ser mais fácil organiza-los e estuda-los. Os filtros podem ser ativados e desativados. A Figura 27, mostra a janela de criação dos filtros nos arcos, as janelas dos restantes elementos têm a mesma configuração.

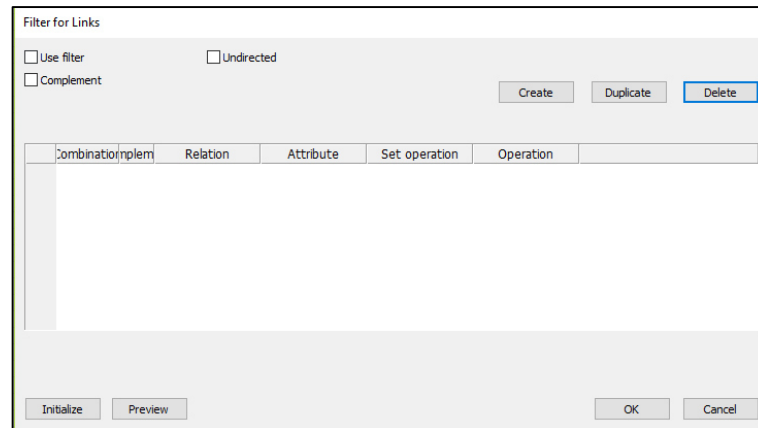


Figura 27 - Janela de criação de filtros no PTV Visum 15

A Figura 28 exemplifica o Flow Bundle em função do tipo de tráfego.



Figura 28 - Tráfego com todos os arcos ativos no flow Bundles (a) e Tráfego com arcos passivos (b) (PTV Group, 2015)

3.7.2.2. Isócronas

As isócronas descrevem os locais que podem ser alcançados dentro de uma mesma quantidade de tempo a partir de um certo ponto de partida. PTV Visum 15 permite selecionar um ou vários objetos da rede e determinar o tempo de viagem calculado a partir desses objetos da rede para todos os nós, zonas ou zonas de paragem. As isócronas podem ser exibidas graficamente com base numa classificação dos períodos de tempo calculados dos elementos da rede. A utilização mais habitual desta funcionalidade verifica-se nas análises de lacunas nos serviços de transporte

público e na avaliação dos tempos de viagem do transporte individual para destinos importantes da área de estudo (PTV Group, 2015).

O cálculo das isócronas pode também ser baseado noutros parâmetros além do tempo de viagem, como por exemplo, na impedância. Isso permite que se use as isócronas para a análise de acessibilidade atendendo a diferentes critérios. Se vários objetos da rede são selecionados para o cálculo das isócronas, o percurso mais curto entre os objetos selecionados da rede para a secção de arcos é calculado para cada secção de arcos. O menor desses caminhos determina o intervalo de acessibilidade atribuída ao elemento da rede (PTV Group, 2015).

O PTV Visum permite a exibição gráfica da acessibilidade. Os dados obtidos através do cálculo são guardados com os nós, zonas ou zonas de paragem e estão disponíveis como um atributo, podendo ser usado posteriormente em bases SIG. O cálculo das isócronas é realizado separadamente para o sistema de transporte individual e sistema de transporte coletivo, no entanto os resultados podem ser exibidos simultaneamente em gráficos e tabelas (PTV Group, 2015).

A acessibilidade da rede é determinada através da identificação do caminho mais curto (percurso de menor distância). As características usadas como critérios de identificação são os seguintes (PTV Group, 2015):

- *tCur* (tempo médio de viagem com a rede afetada)
- *t0* (tempo médio de viagem em regime livre)
- *Distance* (Distância média de percurso)
- *Impedance* (Impedância)
- *AddValues 1 to 3* (Outros atributos editáveis, que permitam o estudo de outras variáveis)

Segundo PTV (2015), pode-se utilizar os nós e as zonas como pontos de referência para o cálculo das isócronas associadas ao transporte individual. O processo de cálculo termina quando o valor máximo para um arco na respetiva direção de busca é alcançado. As áreas da rede que se encontram fora desta área específica não são tidos em conta. Os resultados do cálculo das isócronas para o transporte individual são listados sob a forma do atributo de nós e zonas e o tempo mínimo de funcionamento é listado para cada um desses elementos da rede.

As opções que possibilitam mostrar graficamente as isócronas no editor da rede são (PTV Group, 2015):

- Indicação da acessibilidade para os arcos;
- Desenho 2D;
- Exibição classificada de nós, nós principais e zonas do tempo das isócronas do transporte privado.

A Figura 29, mostra um exemplo da utilização de isócronas.



Figura 29 - Tempo de viagem do transporte individual até ao destino: exibição nos arcos (PTV Group, 2015)

3.7.2.3. Identificação do caminho mais rápido

A identificação do caminho mais rápido permite determinar os “melhores” caminhos (percursos) a partir de uma origem escolhida para um destino escolhido e mostrar os resultados na rede. Diferentes critérios de identificação, podem ser utilizados para encontrar o caminho mais rápido, os caminhos podem ser exibidos numa lista de identificação do caminho mais rápido (PTV Group, 2015).

Uma identificação interativa do caminho mais rápido pode ser utilizada especialmente para encontrar erros de modelação da rede. Com a exibição gráfica do caminho mais rápido, pode-se facilmente determinar caminhos mais rápidos no editor da rede. Assim pode acontecer que se verifique um bloqueio dos arcos de um sistema de transportes resultante de um erro de

modelação, podendo resultar num caminho inesperado entre dois nós, que é assumido como o caminho mais rápido. Com a identificação do caminho mais rápido pode-se encontrar esses caminhos e desfazer o bloqueio do arco, se for necessário (PTV Group, 2015).

No transporte individual, os caminhos mais rápidos podem ser identificados entre nós e zonas. Os critérios seguintes podem ser escolhidos como critérios de identificação (PTV Group, 2015):

- t_{Cur} (tempo médio de viagem com a rede afetada)
- t_0 (tempo médio de viagem em regime livre)
- *Distance* (Distância média de percurso)
- *Impedance* (Impedância)
- *AddValues 1 to 3* (permite a utilização de valores de outros atributos como um critério para a identificação do caminho mais rápido).

Esta funcionalidade é um importante apoio no processo de modelação, uma vez que permite analisar os caminhos mais rápidos, de forma a tornar mais fácil a calibração, ou seja, permite a identificação mais rápida do problema e da zona a intervir na rede por parte do modelador.

A Figura 30, apresenta um exemplo do caminho mais rápido entre dois nós numa rede.

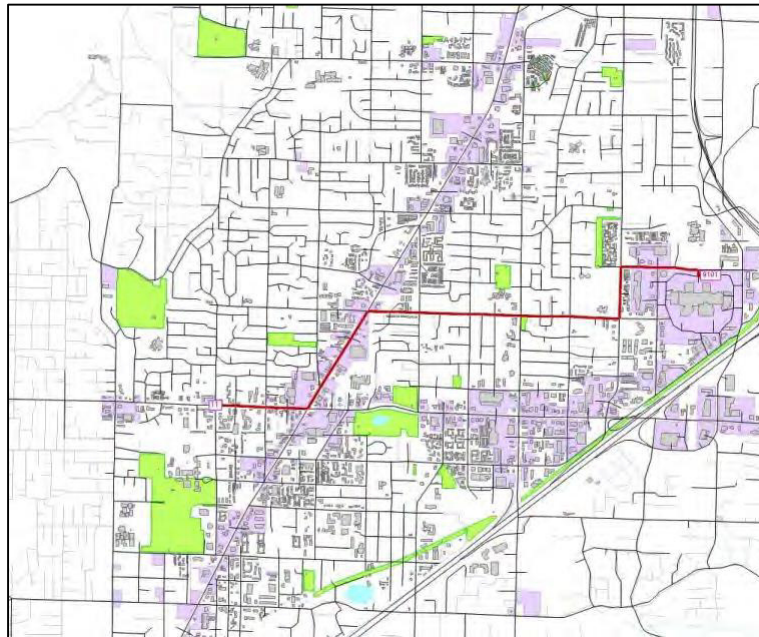


Figura 30 - Caminho mais rápido entre dois nós (PTV Group, 2015)

3.7.3. Parâmetros de calibração e validação

A validade de um modelo de afetação de tráfego e transporte deve ser avaliada através da comparação dos volumes de tráfego e viagens, tempos de viagem, comprimentos de fila de espera obtidos pelo modelo com os valores observados no campo (valores reais).

A calibração dos modelos pode envolver o ajuste das matrizes OD, de forma que os valores modelados coincidam com os valores das contagens de tráfego. A validade de um modelo de afetação de tráfego deve ser avaliada pela comparação dos volumes modelo, tempos de viagem e comprimentos de filas de espera contra observações de campo, esta validação deve ser feita em pontos de contagem distintos, ou seja, deve-se escolher de entre os pontos de contagem existentes, aqueles que vão validar o modelo. Pontos esses que não serão modelados, ou seja, os valores dessas contagens não serão carregados. Estes por sua vez serão apenas utilizados para efeitos de comparação com os volumes modelados nesses pontos de modo a validar o modelo. Todos os pontos são calibrados e validados da mesma forma, existem pontos para efeitos de calibração, pontos de contagem inseridos no modelo (validados em primeiro) e pontos para validação, pontos esses validados exteriormente ao modelo, ou seja, a partir dos valores modelados num determinado ponto e os valores contados, faz-se a validação do modelo sem a inserção destes. Os parâmetros mais utilizados para a calibração do modelo são o GEH e o RMSE (NSW Government, 2013).

O GEH é um parâmetro que se utiliza para comparar dois conjuntos de volumes de tráfego (contado e modelado) e recebeu o nome de Geoffrey E. Havers, que o inventou em 1970, enquanto trabalhava como planeador de transportes no grande concelho de Londres (NSW Government, 2013). Este parâmetro é inspirado no teste do chi-quadrado (X^2).

Esta “estatística” pode ser calculada individualmente para cada arco, para conjuntos de arcos que formam um cordão ou uma *screenline*, ou como uma medida global para toda a rede (Tavares, 2003).

A equação do parâmetro GEH é dada pela equação III.1:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (V_m - V_0)^2}{V_m + V_0}} \quad (III.1)$$

Em que:

- V_m – Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 – Volume de tráfego observado numa hora.

Este parâmetro deve ser interpretado como a raiz quadrada do produto da diferença absoluta ($V_m - V_0$) pela diferença relativa $\left(\frac{V_m - V_0}{0,5 \times (V_m + V_0)}\right)$, desta forma pode-se considerar que o parâmetro GEH tem intrínsecos tanto erros relativos como absolutos. É de salientar que a diferença relativa é calculada com a média dos valores observados e modelados no denominador de forma a evitar eventuais problemas se algum dos valores for nulo (Tavares, 2003).

Segundo um exemplo de Van Vliet (2002), um erro de 20 em 100 é equivalente a um erro de 90 em 2000 e ambos apresentam um parâmetro GEH semelhante, isto é, o mesmo valor de GEH para duas situações muito distintas de procura, mas para os quais o impacto da diferença entre o observado e o modelado é semelhante (Tavares, 2003).

O Erro Quadrático Médio, RMSE (*Root Mean Squares Error*) e o R-square, R^2 são medidas estatísticas da correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e o total dos volumes que o modelo previu. Ao contrário da estatística GEH (que se aplica aos fluxos individuais e screenlines), o RMSE aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e é expressa como um valor único (NSW Government, 2013). O RMSE é expresso pela equação III.2:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (V_0 - V_m)^2}{C - 1}}}{\frac{\sum V_0}{C}} \times 100 \quad (III.2)$$

Em que:

- V_m – Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 – Volume de tráfego observado numa hora;
- C – Número de locais de contagem.

O parâmetro RMSE, é considerado uma boa maneira de avaliar o desempenho e eficiência do modelo. Como este critério é calculado em termos médios, por isso é executado uma série de

reproduções do modelo de simulação, normalmente considera-se 10 como número aceitável de repetições (Vilarinho, 2008).

A obtenção das contagens para a comparação é importantíssima. Segundo NWS (2013), a comparação dos valores deve corresponder a $GEH < 2$. Muitas vezes a obtenção de múltiplas contagens para avaliar a precisão de outras contagens é por vezes impraticável, embora as informações possam ser provenientes de fontes de contagem automática diferentes, onde a inspeção das variações das contagens é recomendada.

De forma a possibilitar uma interpretação melhor dos resultados dos cálculos associa-se um gráfico onde se representa os valores das variáveis observadas e modelados, de modo a facilitar a realização da análise visual das divergências entre esses valores. Essa representação é associada uma reta de regressão e um intervalo de confiança de 95% (Figura 31), observando-se que quanto maior for o valor de R^2 associado e quanto menor forem os pontos fora do intervalo de confiança melhor é o resultado (Vilarinho, 2008).

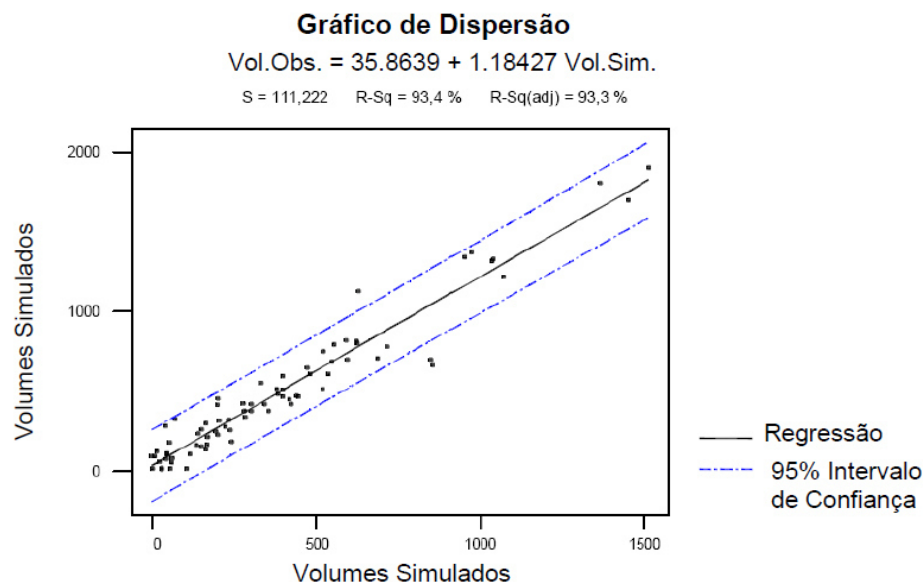


Figura 31 - Exemplo de uma análise por gráfico de dispersão de valores observados e modelados (Vilarinho, 2008).

Uma outra forma de analisar os valores modelados versus os observados é através de uma representação gráfica (Figura 32), que consiste em introduzir uma reta de regressão linear, com equação $y = x$, ou seja, com declive igual a 1. Quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de R^2 , melhor é a qualidade da simulação.

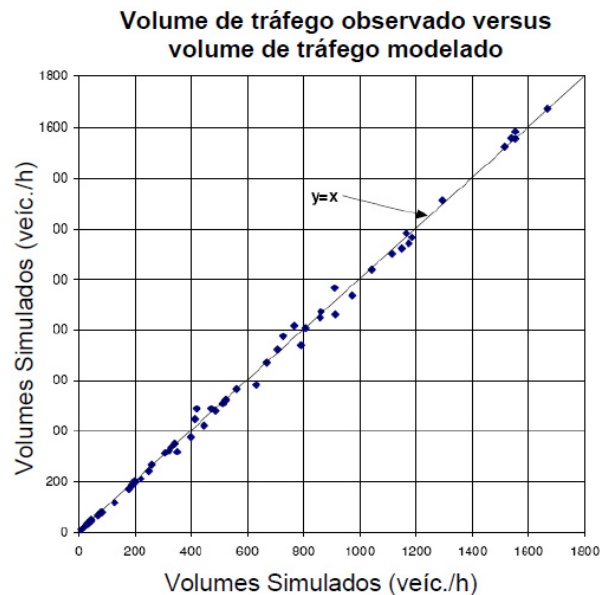


Figura 32 - Exemplo de um gráfico de dispersão de valores observados versus modelados, com uma reta de regressão $y = x$ (Vilarinho, 2008).

Por último, para a validação dos resultados, os parâmetros anteriores devem respeitar os seguintes critérios (NSW Government, 2013):

- 95 % dos arcos devem ter um GEH ≤ 5.0 ;
- 85 % das viragens devem ter GEH $\leq 5,0$;
- Todos os arcos e viragens devem ter um GEH ≤ 10 ;
- Comparação de todos os valores modelados vs. Valores das contagens observados;
- Valor de R^2 deve ser > 0.9 ;
- No gráfico de dispersão devem ser incluídos todos os valores modelados e observados;
- O valor de RMSE deve ser de 30,0 ou menor.

CAPÍTULO 4

CASO DE ESTUDO - GUIMARÃES

ESTUDO DE CASO - GUIMARÃES

4.1. Enquadramento geral

Neste capítulo é apresentada a modelação de uma rede distribuidora de transporte individual para a cidade de Guimarães. A cidade de Guimarães tem uma rede viária bem estruturada, que permite a ligação por Autoestrada a outras grandes cidades e regiões do país, tais como, Braga (20 km), Famalicão (25 Km), Porto (50 Km), entre outras. Para além de ser um dos principais pontos turístico de Portugal, como berço da nação e com um Centro Histórico que então classificado como Património da Humanidade pela UNESCO.

A rede em estudo incide sobre a rede de vias distribuidoras principais da cidade e cobre a área do centro histórico e respetiva envolvente delimitada pela Circular/Variante e o Monte da Penha. Para fazer a análise da rede distribuidora principal, desenhou-se a rede Arterial e a rede distribuidora local, de forma a não tornar o modelo muito complexo aquando da sua análise.

Esta área foi dividida em 27 zonas, como é possível observar na Figura 33, tendo em conta o tipo de uso do solo dominante, residencial, lazer, serviços, comércio, etc. e a maior aglomeração de origens e destinos (Tabela 4). As zonas “a cheio” são zonas internas referentes ao funcionamento da cidade num total de 14 zonas (da zona 1 à 14) e as zonas “a transparente” são as zonas externas, num total de 13 zonas (da zona 15 à 27), isto é, que definem as áreas associadas a pontos de entrada e saída da cidade.

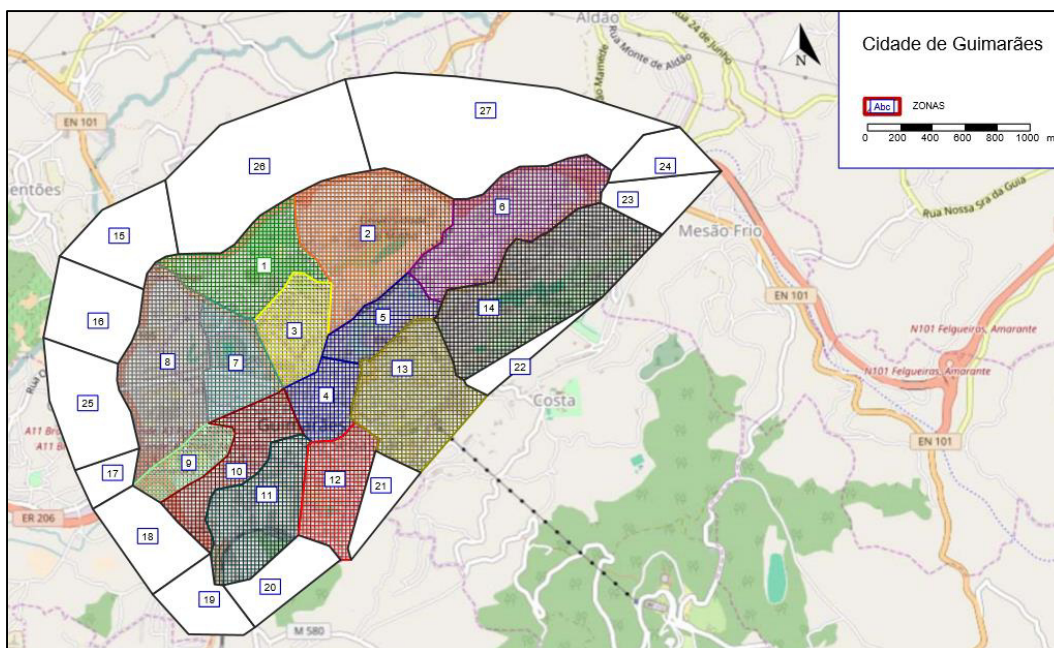


Figura 33 - Zonamento da Cidade de Guimarães

Tabela 4 - Zonas - Características

Zona	Principais Características
1	• Polícia de Segurança Pública (PSP) e zonas residenciais.
2	• Campus de Azurém – Universidade do Minho.
3	• Escola secundária Francisco de Holanda, bombeiros, supermercado Pingo doce e Piscinas do Vitória Sport Club.
4	• Centro Histórico, Praça do Toural e Jardim público da Alameda.
5	• Passos dos Duques de Bragança e Castelo de Guimarães.
6	• Zona residencial, estabelecimento Prisional de Guimarães, supermercados Intermache e Lidl.
7	• Estádio D. Afonso Henriques, Centro Comercial Triângulo, zonas residenciais e estabelecimentos comerciais.
8	• Hospital da Senhora da Oliveira, zonas Residenciais e estabelecimentos comerciais.
9	• Guimarães Shopping e Estação de Camionagem.
10	• Tribunal do Trabalho, zona residencial histórica, hotéis, estabelecimentos comerciais, Feira, Mercado Municipal, Plataforma das artes e Museus.
11	• Convento de São Francisco, Centro Cultural Vila Flor, Estação de Caminhos de Ferro, estabelecimentos comerciais e zonas residenciais.
12	• Igreja de São Gualter, teleférico, parque das Hortas e Bowling.
13	• Tribunal da Comarca de Guimarães, escola secundária Martins Sarmiento e zona residencial.
14	• Parque da Cidade, complexos desportivos do Vitória Sport Club, Agrupamento de escolas João de Meira e zona residencial.
15	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela EN 101 (Guimarães – Braga).
16	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua de Fervença.
17	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua dos Cutileiros (EN 206).
18	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Variante – EN 206.
19	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela EN 105 (Vizela – Guimarães).
20	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua António da Costa Guimarães.
21	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua D. Domingos Silva Gonçalves.
22	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua do Rei Pegu.
23	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela EN 101 (Guimarães – Fafe/Mesão Frio).
24	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Variante – EN 101 (Guimarães – Fafe).
25	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Avenida de São Gonçalo.
26	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela Rua Nossa Sra. Mãe de Deus.
27	• Ponto de Entrada e Saída da cidade pela EN 207 – 4 (Guimarães – São Torcato).

A rede viária foi desenhada sobre um mapa base disponível no *OpenStreetMaps*, visto não ser possível obter um mapa atualizado da rede noutros formatos, como por exemplo a uma *Shapfile* de um SIG. As figuras 34, 35 e 36 mostram a rede e zona de estudo.

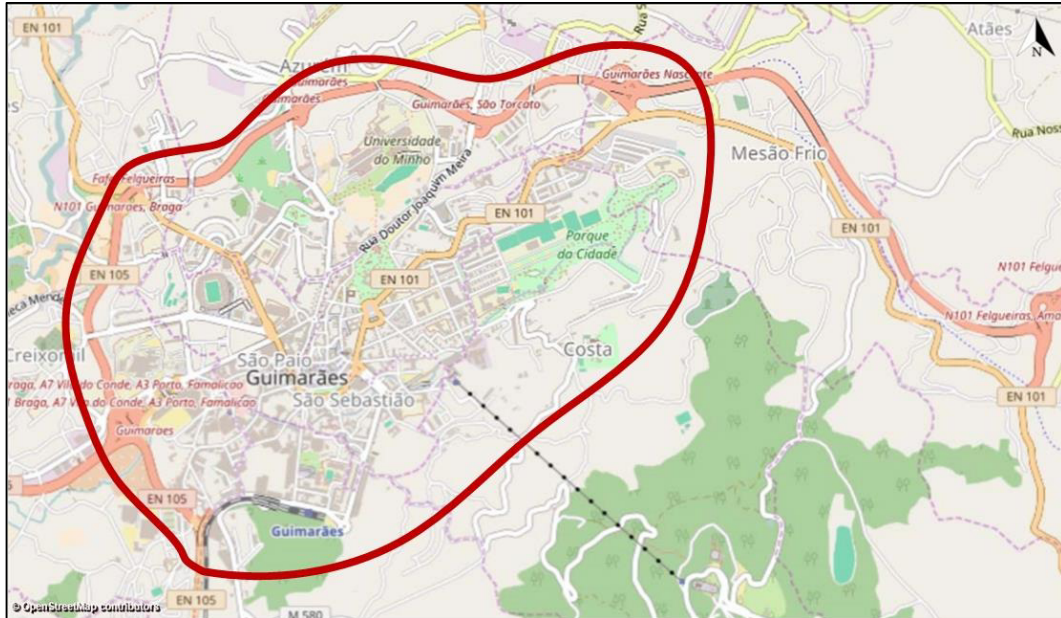


Figura 34 - Zona de Estudo (OpenStreetMap, 2016)



Figura 35 - Rede da cidade de Guimarães modelada

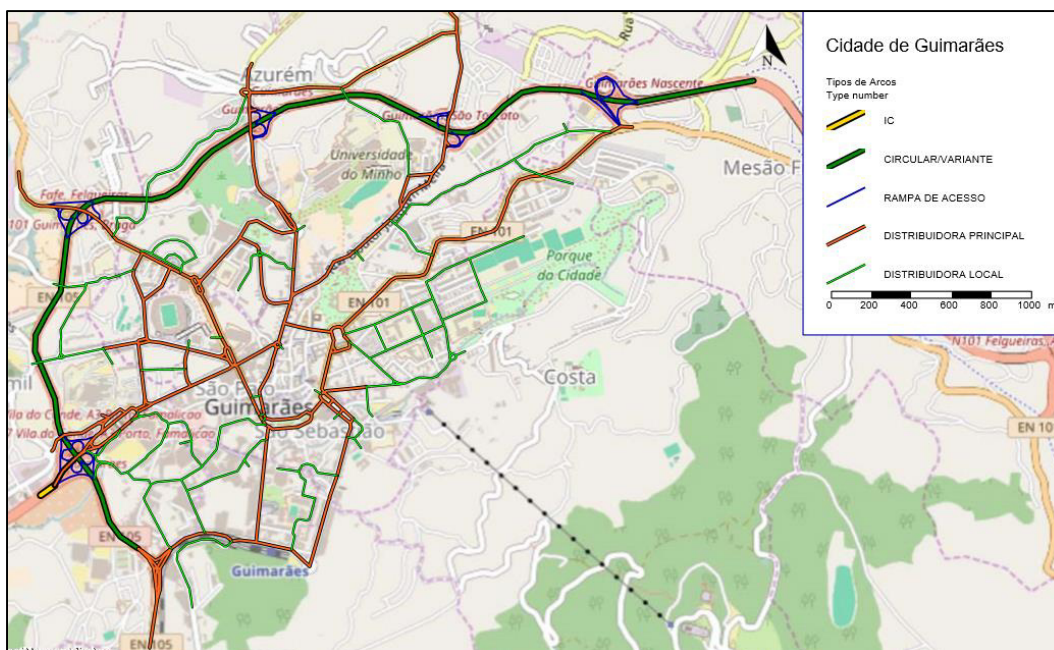


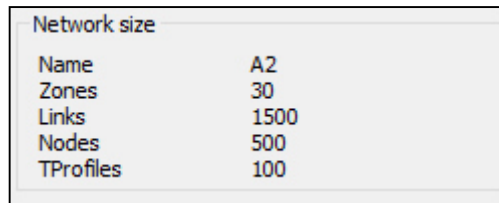
Figura 36 - Enquadramento da rede modelada no território

Os dados de tráfego para este estudo de caso foram obtidos junto da Câmara Municipal de Guimarães, no âmbito do estudo de mobilidade do Quadrilátero e são referentes ao ano de 2013. Por outro lado, importa referir que não foi possível obter a matriz OD para a cidade, visto que os estudos de tráfego e transportes realizados abrangem uma área de estudo muito maior constituída por quatro municípios. Os dados das contagens fornecidos são referentes aos municípios do Quadrilátero, Barcelos, Braga, Famalicão e Guimarães, tendo sido selecionados apenas os dados para a área de estudo da cidade de Guimarães.

Neste estudo de caso não foram realizadas as três primeiras fases do modelo de quadro passos, geração/atração de viagens, distribuição de viagens e repartição modal.

Em detrimento de não existir e não ter sido criada uma matriz inicial de origem e destinos, neste trabalho o processo de afetação será efetuado a partir da criação de uma matriz OD da cidade a partir das contagens de tráfego fornecidas no estudo do quadrilátero.

O software de modelação de tráfego utilizado para a afetação do modelo foi o PTV Visum 15, sendo a licença utilizada a *Training Version*. Esta versão possui algumas limitações ao nível do número de elementos da rede que condicionam o desenho e construção da rede a modelar, conforme se apresenta na Figura 37



Network size	
Name	A2
Zones	30
Links	1500
Nodes	500
TProfiles	100

Figura 37 - Dimensão da rede permitida pela licença de Training Version do PTV Visum 15

Porem esta limitação não prejudica o caracter técnico e científico desta dissertação, pois os métodos utilizados podem ser utilizados posteriormente para simulação de uma situação em que a rede seja de maior dimensão.

De seguida serão apresentados todos os dados de entrada, processamento da informação e resultados obtidos para a modelação de rede viária da área do estudo de caso.

4.2. Desenho da rede

Este ponto irá incidir apenas sobre o desenho da rede e não sobre a descrição dos vários elementos desta, pois esta já foi feita nos pontos 3.2 e 3.3 do capítulo 3.

Existem várias formas de desenhar a rede no PTV Visum 15, como a importação de redes diretamente de dados SIG (*shapefiles*) ou o desenho da rede sobreposta a um mapa. Neste caso de estudo, foi feito o desenho da rede sobreposto a um mapa, mais concretamente o *OpenStreetMap*, disponibilizado no software. O mapa é ativado a quando da abertura de um novo modelo no PTV Visum 15, através da janela presente na Figura 38, e este tem a seguinte apresentação (Figura 39).

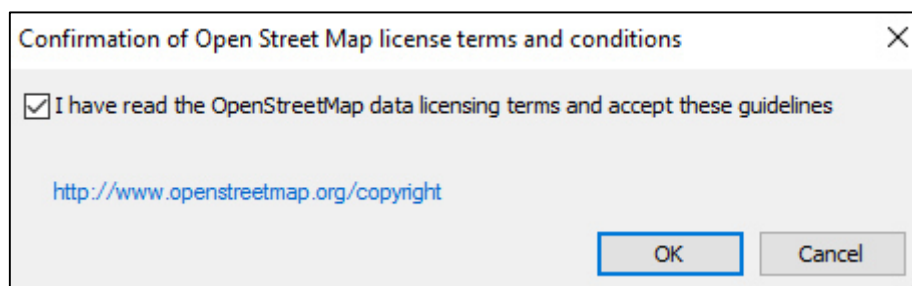


Figura 38 - Ativação do OpenStreetMap

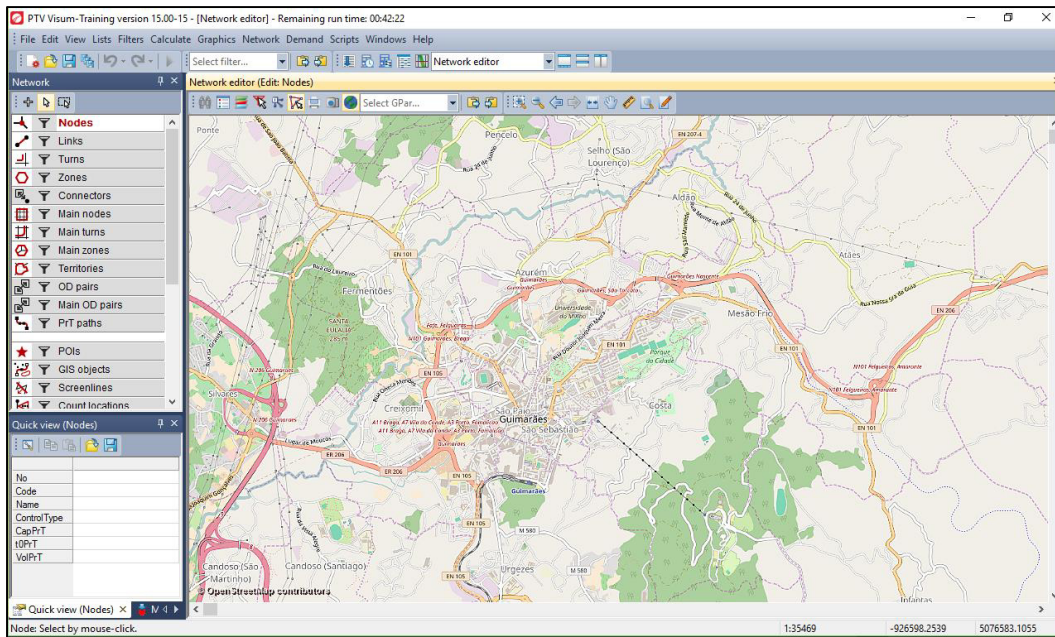


Figura 39 - Janela de apresentação do PTV Visum 15 com o OpenStreetMap ativo

Nos seguintes pontos irão ser descritos os vários passos da construção do modelo, a Figura 40, descreve de forma esquemática o processo de construção, conforme o ponto 3.3.3 do capítulo 3.

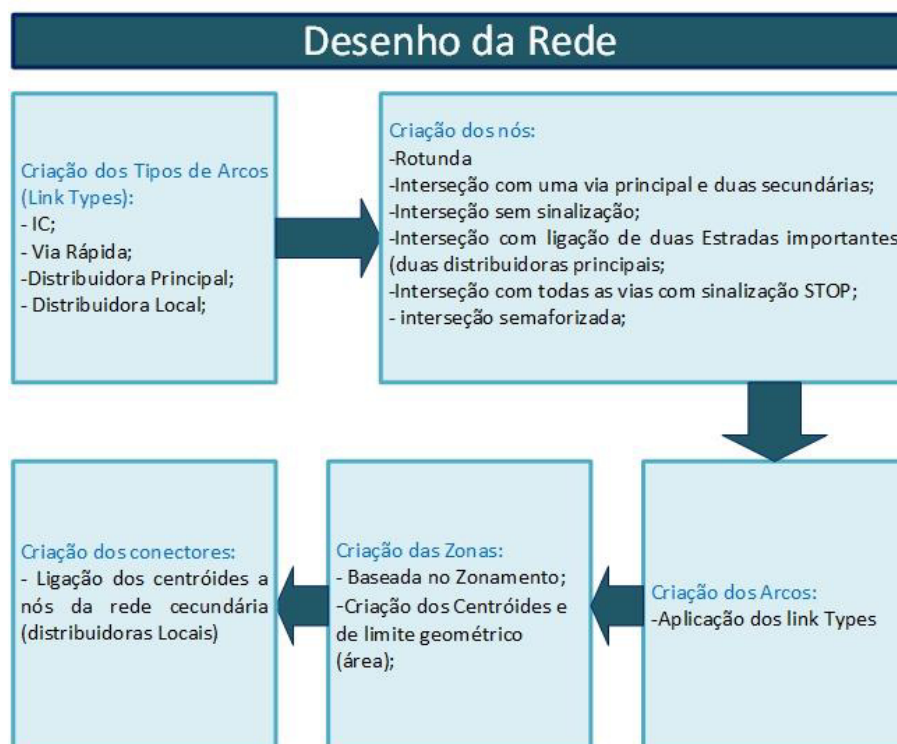


Figura 40 - Etapas de desenho da rede

4.2.1. Criação dos tipos de Arcos

O primeiro passo do desenho da rede é a criação de *Link Types*, ou seja, arcos padrão com características pré-definidas, como capacidade, velocidade mínima e máxima, número de vias. A criação dos *Link Types* teve como base a Tabela 3, apresentada no ponto 3.3.3.2 do capítulo 3.

De seguida serão descritos os passos de criação dos *Link Types*. Para a abertura da janela para a criação dos *Link Types*, primeiro deve-se recorrer ao menu Network (Figura 41) e depois seleccionar a opção *Link types*. Logo de seguida abrir-se-á uma janela, onde será feita a criação dos *Link Types* (Figura 42).

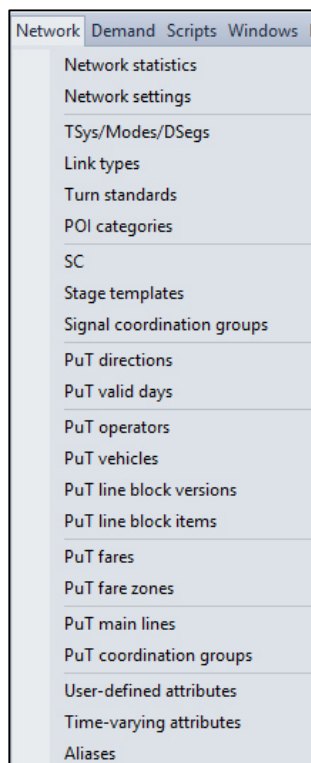


Figura 41 - Menu Network

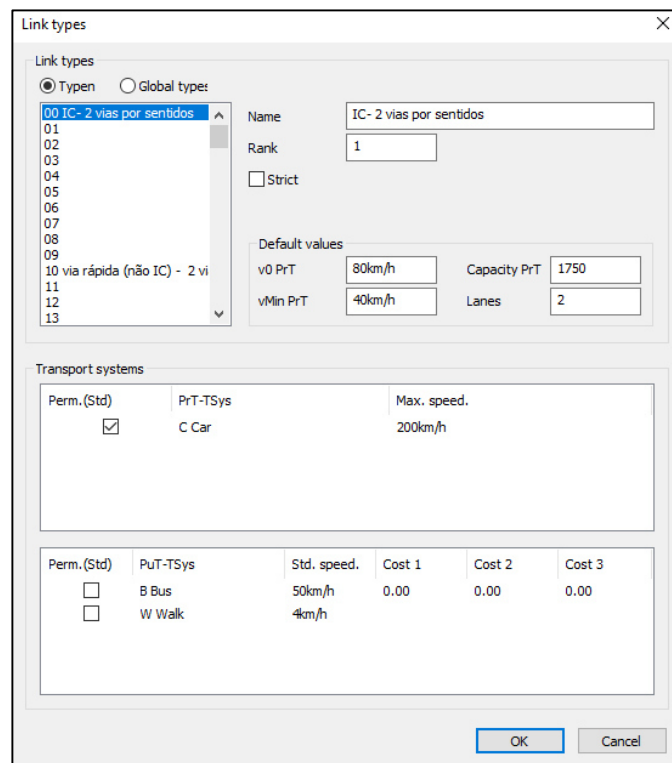


Figura 42 - Janela de Identificação dos Link Types

Depois da criação dos *Link Types*, foram atribuídas cores, de forma a distinguir os diferentes tipos de via. Para fazer essa atribuição, selecciona-se o menu *Graphics* e de seguida selecciona-se a opção *Edit graphic parameters* (Figura 43).

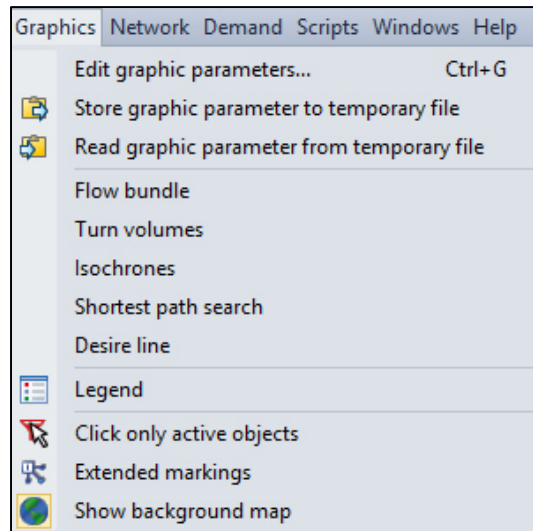


Figura 43 - Menu Graphics

No menu *Edit graphic parameters*, seleciona-se a opção *Links-Display* e de seguida abre-se a janela presente na Figura 44, aí cria-se a classificação do *Link Types*, com base na tabela 1.

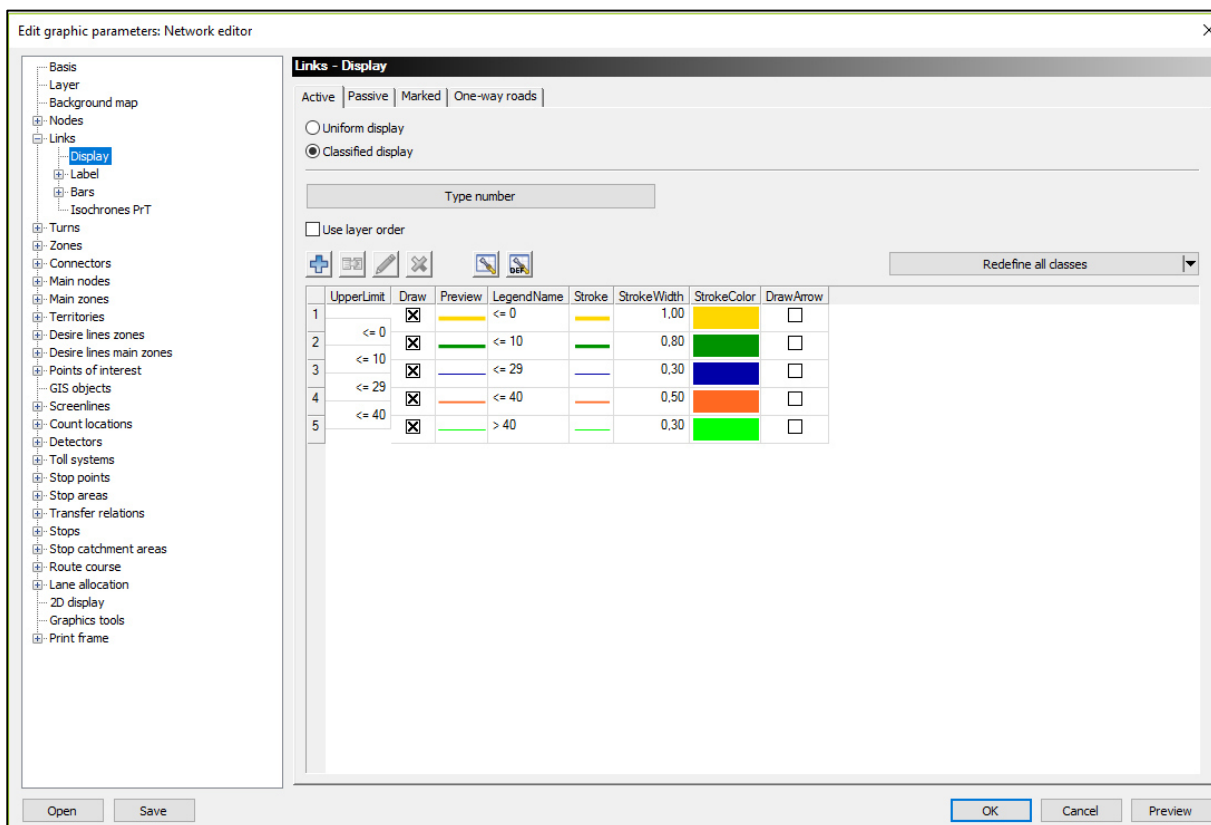


Figura 44 - Menu Edit graphic parameters, visualização dos Link Types

4.2.2. Criação dos nós

Os nós são criados sobre o mapa OpenStreetMaps, de forma a identificar a localização e tipo de interseção. Para a criação dos nós, recorre-se ao menu *Network editor*, presente na Figura 45, seleciona-se a opção **criar objeto** e a opção **nós (Nodes)**.

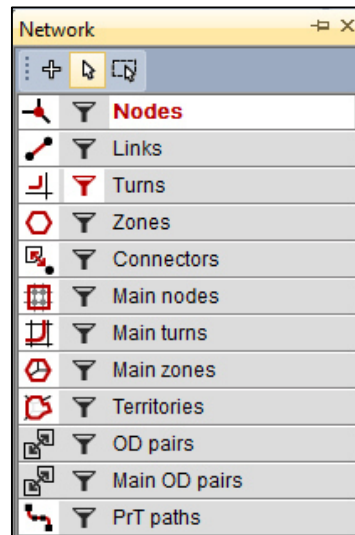


Figura 45 - Menu Network Editor

Após a seleção da opção nós, seleciona-se a localização deste (Figura 46). De seguida na janela de identificação dos nós (Figura 47) é onde se faz a seleção do tipo de interseção e dos atributos referidos no ponto 3.3.3.1 do capítulo 3.

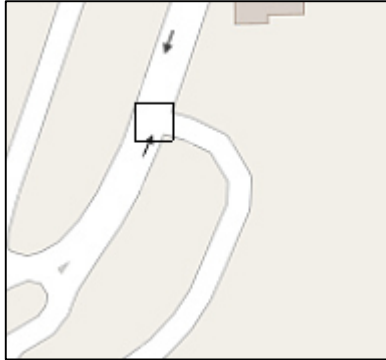


Figura 46 - Exemplo da seleção da localização do nó

Create node 1

Number

Type

Code

Name

Basis Time-varying attr.

AddValue 1

AddValue 2

AddValue 3

Capacity PrT

t0 PrT

Main node number

Control

Method for i

- unknown
- unknown
- Uncontrolled
- Two-way stop
- Two-way yield
- Signalized
- All-way stop
- Roundabout

Position

x

y

z

Figura 47 - Janela de Identificação dos nós

Após a atribuição das características os nós serão criados, tendo a forma apresentada na Figura 48. Esta forma pode ser alterada, mas não foi utilizada no âmbito desta dissertação. Para fazer-se essa alteração, basta recorrer ao menu *Edit Graphic Parameters* e seleccionar a opção *Nodes-Display*. É de salientar que durante neste estudo de caso, não foram atribuídas capacidades aos nós, apenas foram atribuídas capacidades aos arcos e viragens, pois estes vão condicionar de forma mais significativa a circulação do tráfego em toda a rede e conseqüentemente o tráfego nos nós.

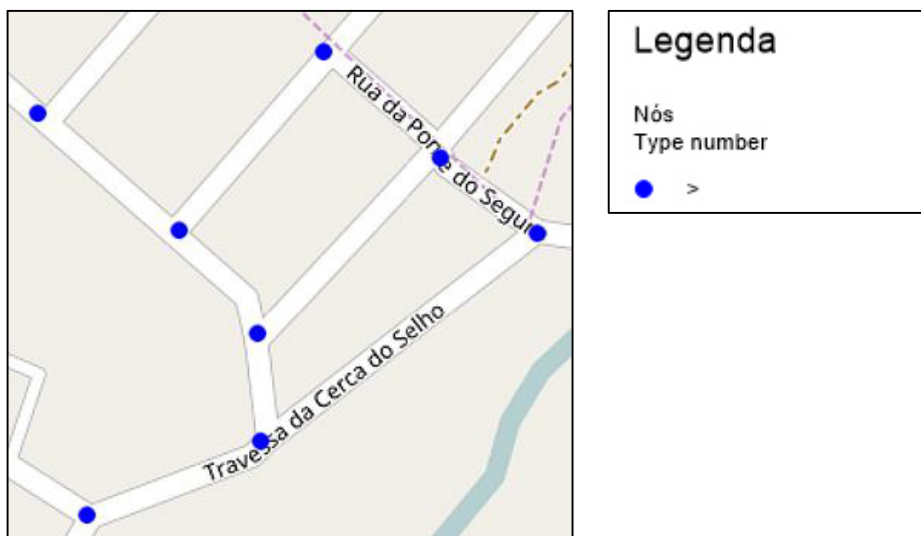


Figura 48 - Forma dos nós

A Figura 49, mostra os vários nós utilizados neste estudo de caso, em que no total são 268 nós, é de salientar que não é possível observar a totalidade dos nós, devido à escala da janela do modelo.

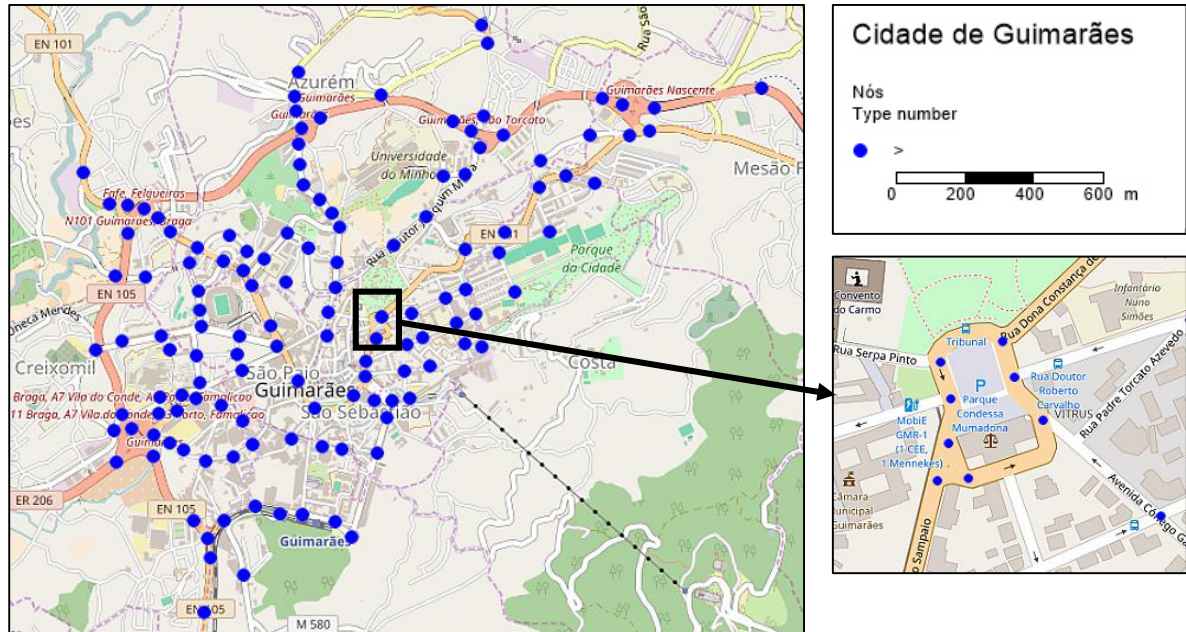


Figura 49 - Nós criados no estudo de caso

4.2.3. Criação dos arcos

Os arcos fazem a ligação entre os vários nós, representando as estradas e ruas que ligam as várias interseções. Para a criação dos arcos recorre-se de novo ao menu *Network editor* e selecciona-se a opção **Arcos (Links)**. De seguida seleccionam-se os nós que se pretende fazer a ligação (Figura 50).

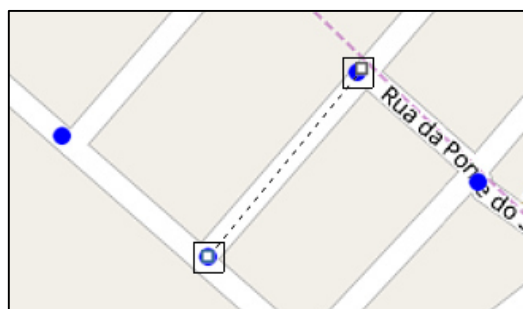
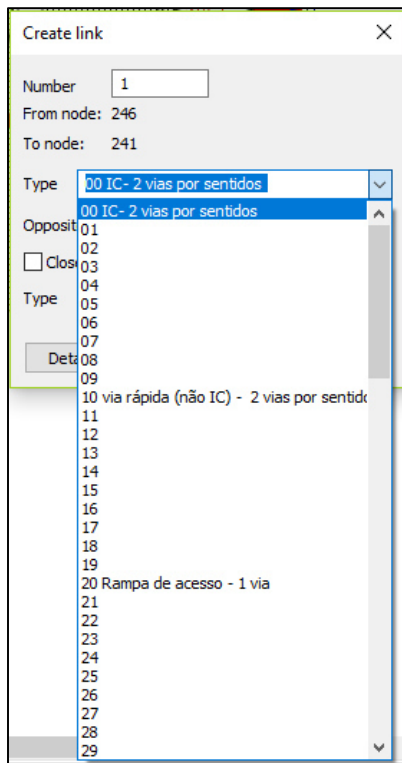
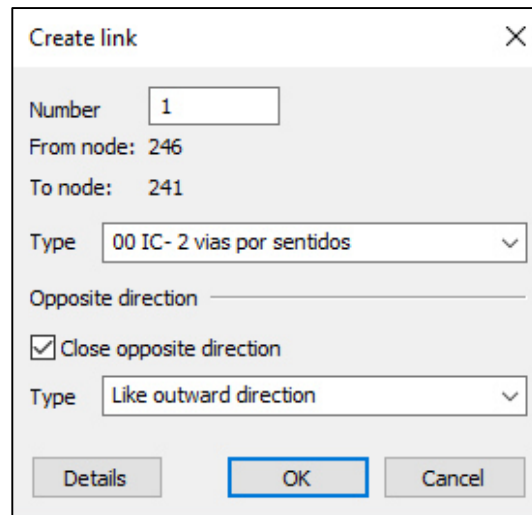


Figura 50 - Desenho do arco

Após a seleção dos nós e consequente desenho do arco, na janela de criação dos arcos (Figura 51), escolhe-se o *Link Type* pretendido e o número de sentidos de trânsito (um ou dois sentidos de trânsito).



A) Seleção do Link Type



B) Seleção do número de sentidos de trânsito

Figura 51 - Janela de criação dos arcos

Também é possível fazer alterações individuais nos arcos, para isso basta selecionar a opção *Details* presente na janela de criação dos arcos, que abrirá a janela de identificação dos arcos (Figura 52), onde se pode fazer alteração dos seus atributos, como capacidade, velocidade mínima e máxima, seleção do sistema de transportes, etc.

Figura 52 - Janela de identificação dos arcos

Terminados estes passos o arco é criado e tem a forma da Figura 53, dependendo do *Link Type* selecionado.

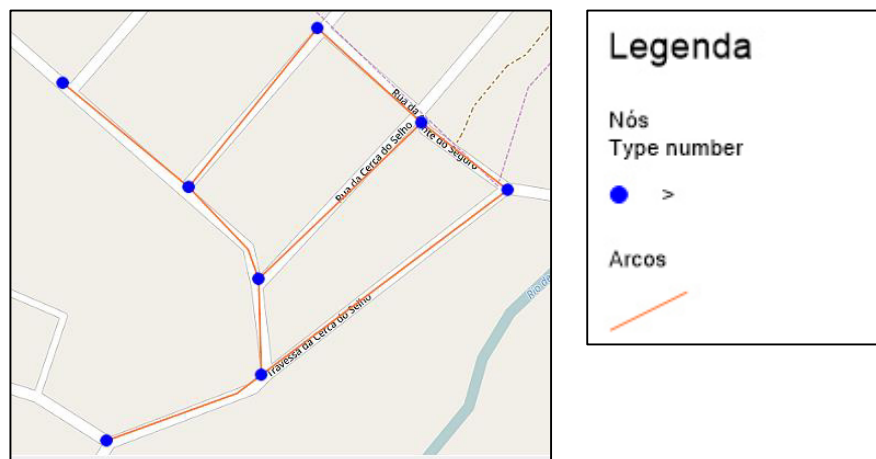


Figura 53 - Forma dos arcos

A Figura 54, mostra a estrutura da rede após ter sido criada a totalidade dos arcos da rede, contabilizando um total de 378 arcos. Importa referir que cada sentido de trânsito numa dada rua representa um arco, ou seja, na representação do modelo existe sobreposição de arcos nas ruas com duplo sentido, sendo esta sobreposição criada por defeito quando criados os arcos.

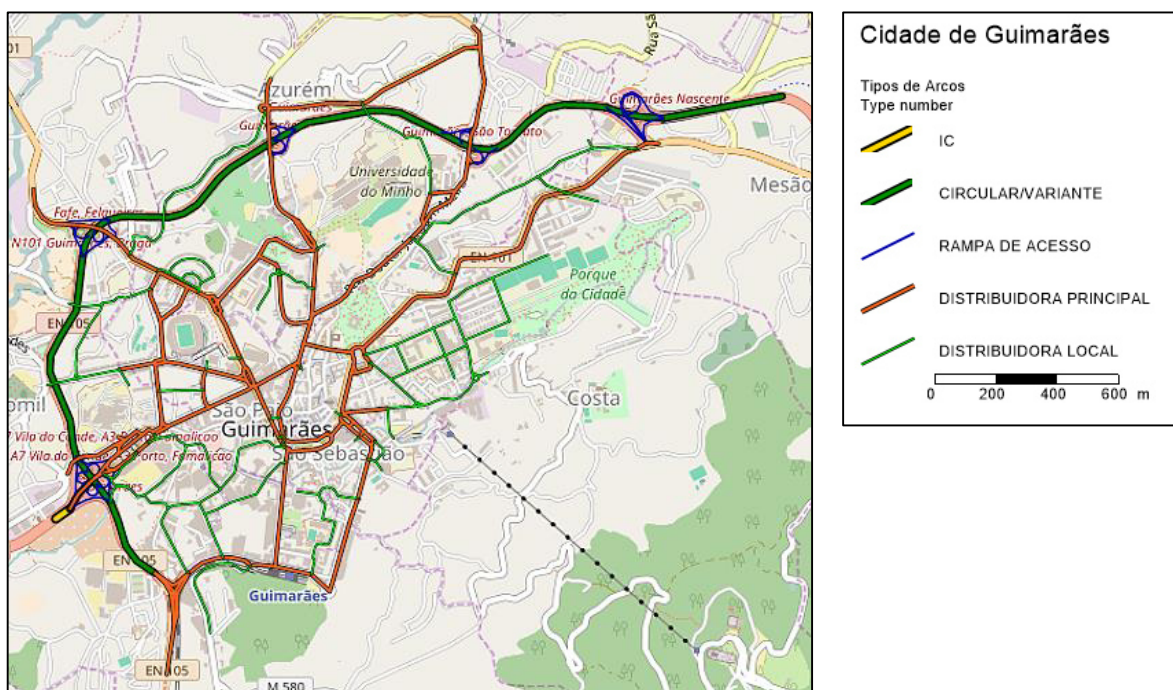


Figura 54 - Estrutura da rede em relação aos arcos

4.2.4. Seleção das viragens

Após a criação dos nós e dos arcos, faz-se a seleção e caracterização das viragens, pois o PTV Visum 15, cria por defeito todas as viragens possíveis e caracteriza-as da mesma forma em relação aos seus atributos, como a capacidade (Capacity), tempo de entrada (t0Prt), tipo de viragem (1- Viragem à direita, 2- idem em frente, 3 – viragem à esquerda e 4 – inversão do sentido de marcha). Em relação às capacidades foram adotados os valores da tabela 5 para as viragens, sendo estas referentes ao tráfego em regime livre.

Tabela 5 - Capacidade do tipo de viragem

ID da viragem	Tipo de Viragem	Capacidade (Veic/h)
1	Viragem à direita	1700
2	Idem em frente	1800
3	Viragem à esquerda	1600
4	Invenção do sentido de marcha	1500

Para fazer a seleção das viragens, recorre-se de novo ao menu *Network editor*, seleciona-se a opção **selecionar objeto**, e de seguida, seleciona-se a opção **viragens (Turns)**. Faz-se a seleção do nó a intervir (Figura 55), após essa seleção, as viragens relacionadas com esse nó irão

aparecer graficamente e sobre a forma de lista (Figura 56). Posto isto, faz a alteração e eliminação (normalmente a inversão do sentido de marcha) das viragens pretendidas.



Figura 55 - Seleção do nó que se pretende caracterizar as viragens

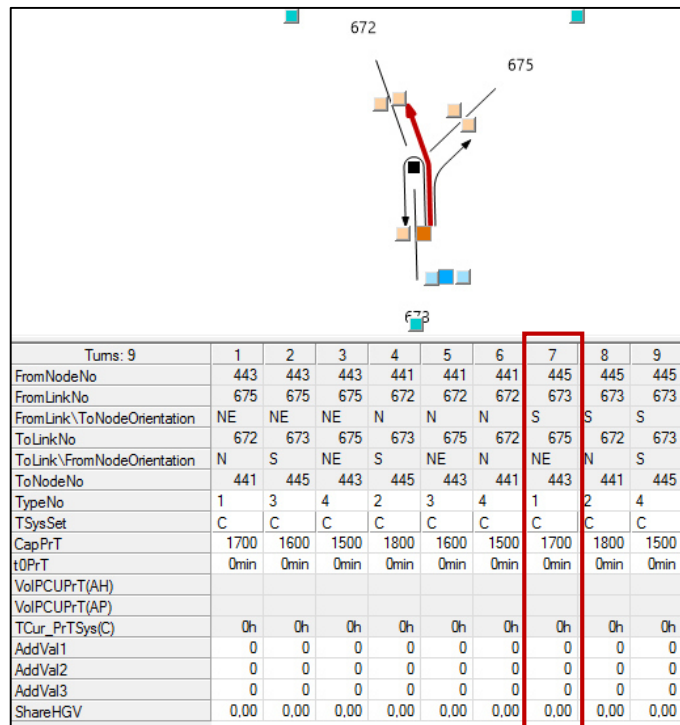


Figura 56 - Lista de caracterização das viragens e respetiva representação

4.2.5. Criação das zonas

A criação das zonas é feita com base num zonamento feito à “*piori*”, onde foram seleccionados o número de zonas e a sua localização. Para a criação das zonas volta-se a recorrer ao menu *Network editor* e selecciona-se a opção criar objeto, de seguida selecciona-se a opção **zonas**

(zones). Após essa seleção faz-se a seleção da localização do centróide da zona (Figura 57), que é o baricentro desta.



Figura 57 - Seleção da localização do centróide

Feita a seleção irá aparecer a janela de identificação das zonas, representada na Figura 58, que permite caracterizar cada zona, incluindo a definição de zona interna ou externa. Em que as zonas internas se localizam no interior da rede, e as zonas externas são referentes às entradas e saídas da rede. Este conceito de zona interna e zona externa foi explicado com mais detalhe no ponto 3.3.1 do capítulo 3.

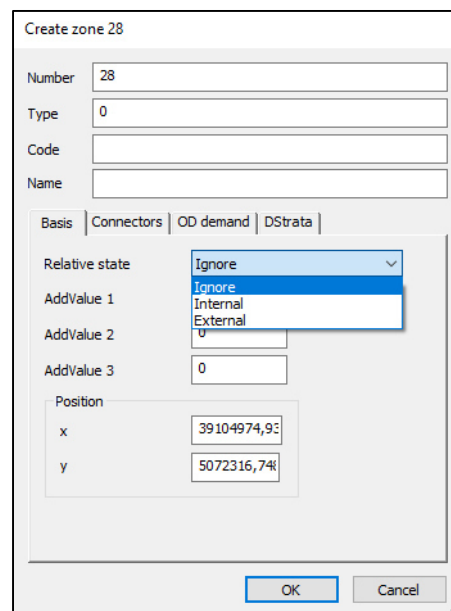


Figura 58 - Janela de identificação das zonas

Concluída a caracterização da zona faz-se o limite geométrico da mesma, este irá representar a área de cobertura da zona em relação à rede, Figura 59.

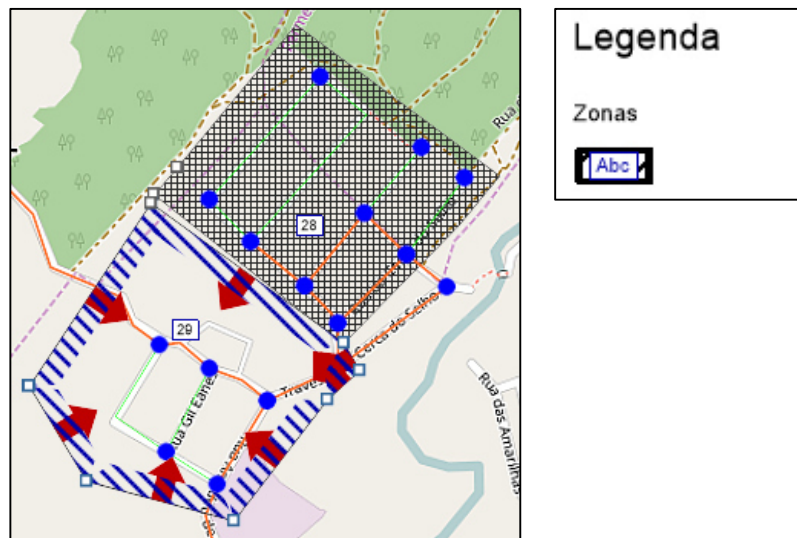


Figura 59 - Criação do limite geométrico da zona

Após a criação de todas as zonas cria-se uma classificação de forma a distinguir as várias zonas. Para isso recorre-se novamente ao menu *Edit graphic parameters* e selecciona-se a opção *Zones-Display*. Para este estudo de caso foi utilizada a classificação de cores presente na Figura 60.

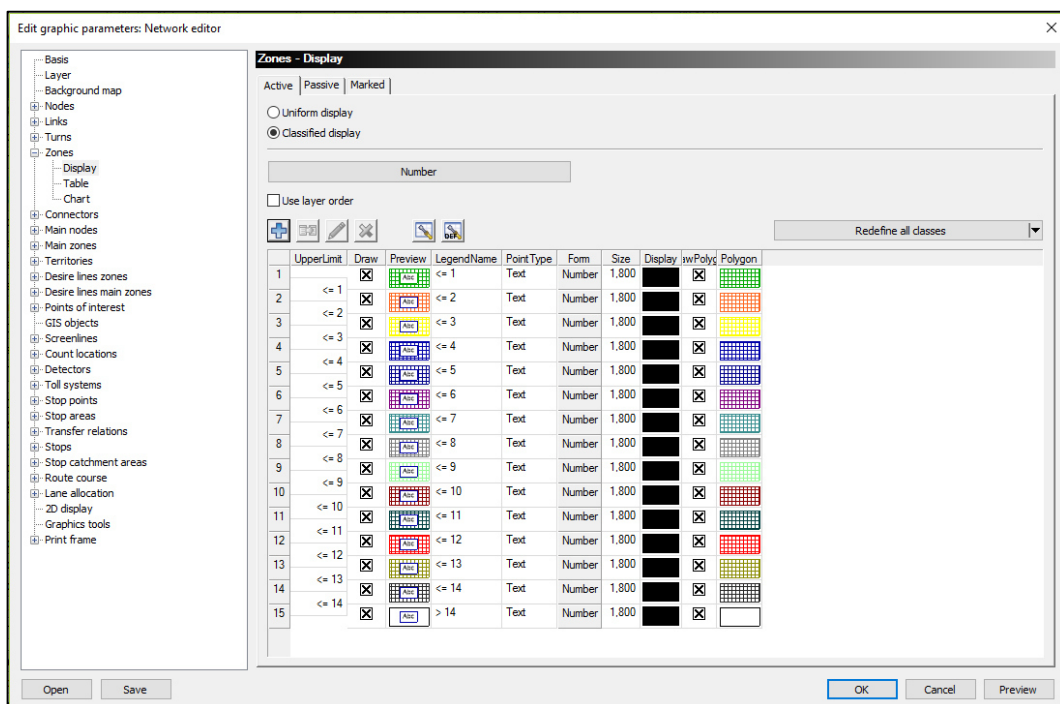


Figura 60 - Menu Zones-Display, classificação das zonas

A Figura 61, mostra a localização e representação das várias zonas do modelo, contabilizando um total de 27 zonas, em que 14 são zonas internas (zonas a cor) e 13 são zonas externas (zonas a branco).

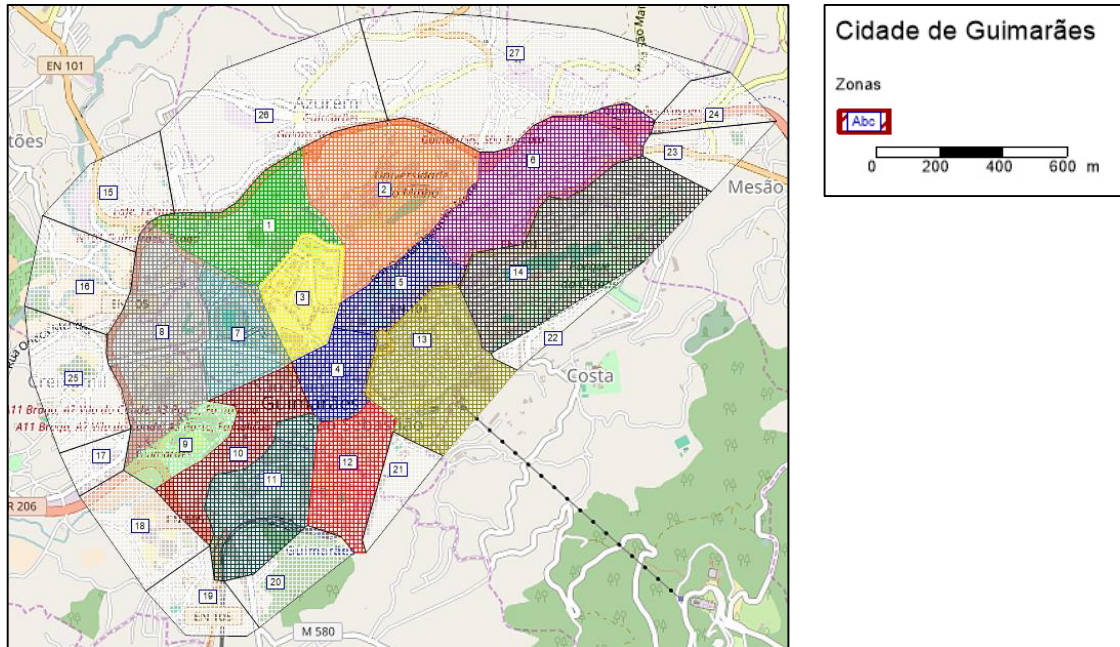


Figura 61 - representação das zonas do estudo de caso

4.2.6. Criação dos conectores

Os conectores fazem a ligação da rede às zonas, esta ligação é feita através do centróide da zona e pelo menos um nó da rede. Esta ligação foi feita utilizando os nós presentes na rede distribuidora local do estudo de caso, pois a rede em análise no âmbito desta dissertação é a rede distribuidora principal. Para a criação dos conectores, recorre-se novamente ao menu *Network editor* e à opção **seleccionar objeto**, de seguida selecciona-se a opção **conectores** (*connectors*). Selecciona-se então o centróide da zona e o nó pretendido na ligação (Figura 62), após essa seleção é aberta a janela de identificação dos conectores (Figura 63).

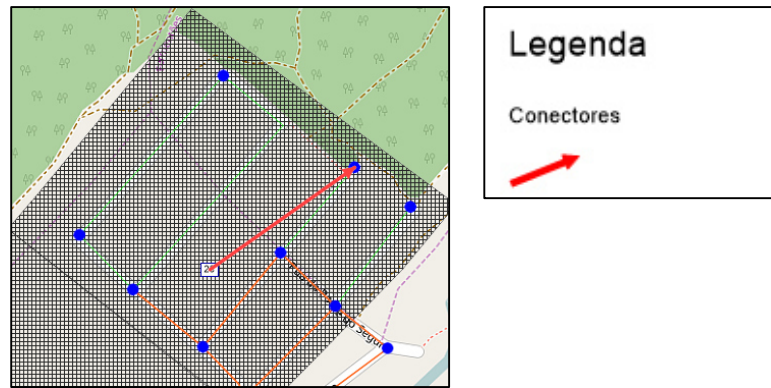


Figura 62 - Seleção dos elementos para a ligação do conector

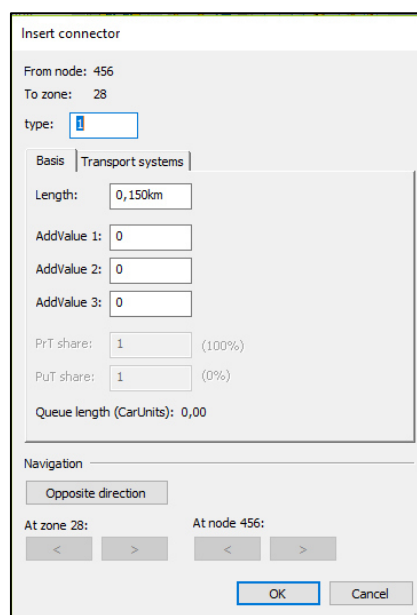


Figura 63 - Janela de identificação dos conectores

A Figura 64, mostra a ligação dos vários conectores entre as zonas e a rede, contabilizando um total de 70 conectores. É de referir, que assim como acontece nos arcos, cada conector corresponde a um sentido de tráfego, ou seja, na criação de cada conector na rede, são criados por defeito dois conectores sobrepostos, um para cada sentido de trânsito.

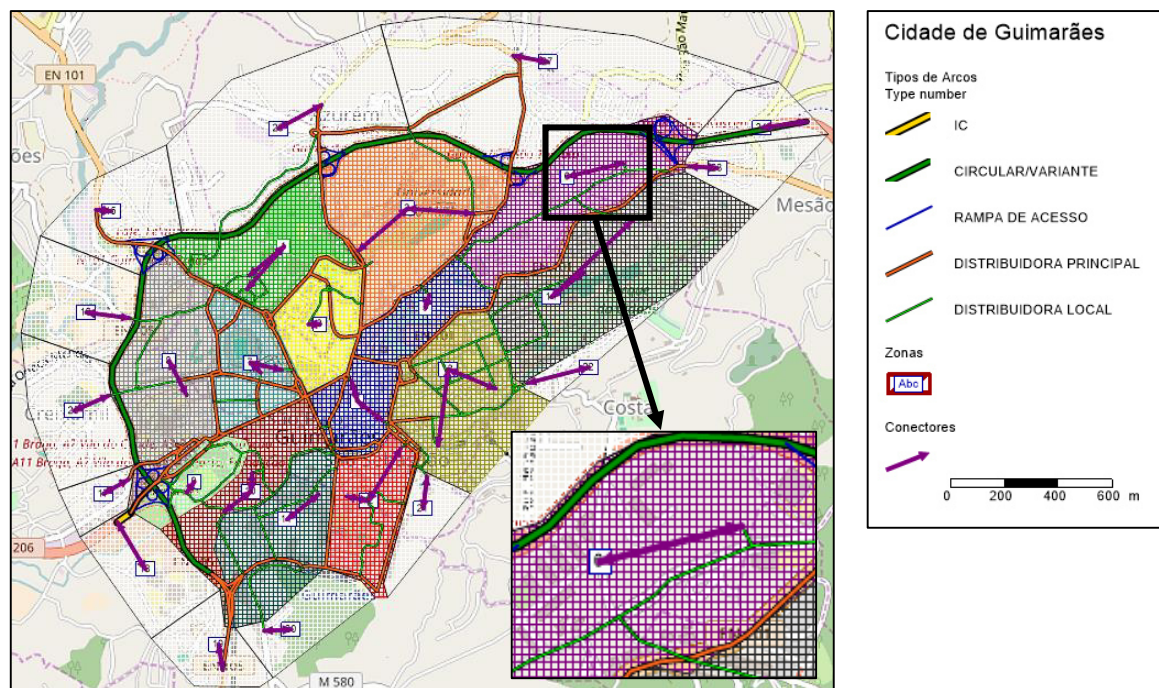


Figura 64 - representação dos conectores utilizados no estudo de caso

A escolha dos nós de ligação aos conectores foi feita tendo como base os pontos da rede distribuidora local com maiores fluxos de tráfego, como parques de estacionamento, hipermercados, centros comerciais, hospitais, estádios, etc.

Terminado o desenho da rede, procede-se à fase de afetação de tráfego/viagens do modelo. Os pontos seguintes referem-se aos dados de carregamento da rede, assim como aos processos de afetação e calibração do modelo.

4.3. Dados de carregamento

Para fazer a afetação do modelo é necessário que este tenha dados de tráfego carregados. De seguida, serão apresentados todos os dados de carregamento e como este deve ser feito.

4.3.1. Contagens de tráfego

As contagens de tráfego utilizadas neste estudo, foram fornecidas pela Quadrilátero e são referentes ao ano de 2013. As contagens de tráfego foram feitas para o período de ponta da manhã entre 7h30 e 9h30 e para o período de ponta da tarde entre as 16h30 e as 18h30. Os

dados de contagem encontram-se subdivididos em 4 subclasses, motociclos (MC), ligeiros (LIG), pesadas mercadorias (PES) e pesados de passageiros (BUS).

4.3.1.1. Postos de contagem

Na Figura 65, são apresentados os sete postos de contagem utilizados, que correspondem a interseções da rede modelada e representam um total de 67 contagens de movimentos direcionais, que serão a base da procura da rede para a modelação da mesma.

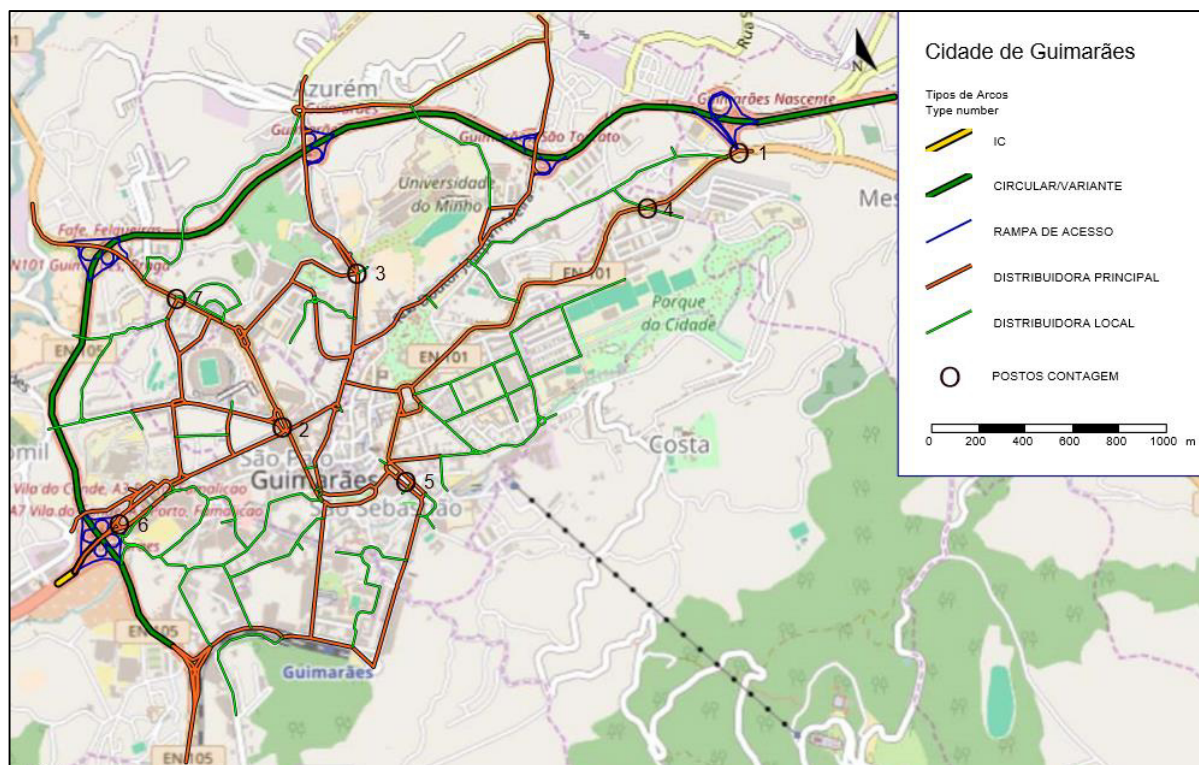


Figura 65 - Localização dos Postos de Contagem

De seguida apresentam-se as localizações de todos os postos, com a identificação das ruas para as quais é possível caracterizar o volume de tráfego das horas de ponta.

- **Posto 1**

O posto de contagem 1 (PC1) corresponde a uma rotunda que faz a ligação entre 3 estradas, EN 101 (ligação entre Fafe e Guimarães) (IC5), EN 101 (ligação entre Guimarães, Mesão Frio e Penha) e Rua Nossa Sra. da Penha. Este posto de contagem localiza-se na Zona 6 na rede. As

Figuras 66 e 67, também caracterizam o espaço/local, e os respetivos movimentos direcionais para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 66 - Posto 1 (GoogleMaps, 2016)

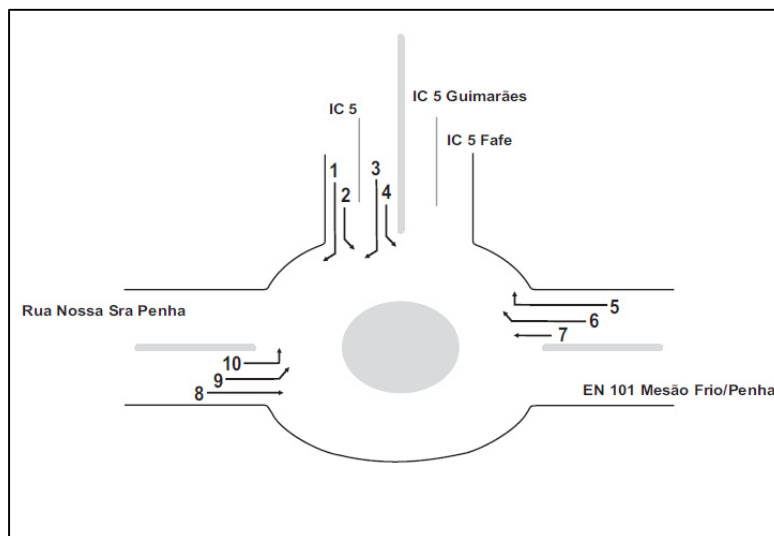


Figura 67 - Caracterização dos movimentos - posto 1 (Quadrilátero, 2013)

- **Posto 2**

O posto de contagem 2 (PC2) localiza-se no centro da cidade de Guimarães e é um dos pontos com maior fluxo de tráfego da cidade como se mostrará mais à frente.

Este ponto faz a ligação entre 5 ruas que tem como destino ou origem pontos de grande interesse da cidade. As ruas são as seguintes, a Alameda Dr. Alfredo Pimenta (ligação com PSP e

Bombeiros Voluntários de Guimarães), a Rua de São Gonçalo (Ligação com o Estádio D. Afonso Henriques), a Rua Gil Vicente (Ligação com CTT), a Avenida Conde Margaride (Ligação com Guimarães Shopping e Hospital) e a Avenida Paio Galvão (Ligação com praça do toural).

Neste ponto é feita a ligação entre 3 zonas da rede, a zona 4, 7 e 10. As Figuras 68 e 69, também caracterizam o espaço/local e os respetivos movimentos direcionais, para os quais foi possível obter informação de tráfego.



Figura 68 - Posto 2 (GoogleMaps, 2016)

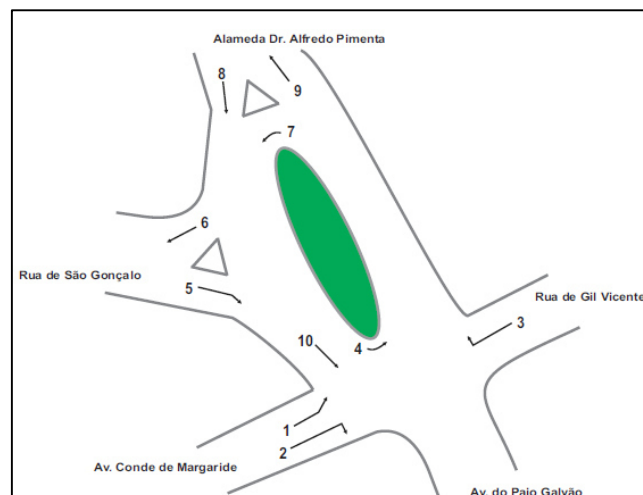


Figura 69 - Caracterização dos movimentos - posto 2 (Quadrilátero, 2013)

• **Posto 3**

O posto de contagem 3 (PC3) localiza-se nas imediações da Universidade do Minho – Campus de Azurém. Este posto caracteriza-se como sendo uma rotunda e faz a ligação entre 4 ruas, a Avenida da Universidade (Alameda da Universidade) (ligação com Universidade), a Rua Cónego Dr. Manuel Faria (ligação com PSP e Bombeiros Voluntários), a Ruas Cap. Alfredo Guimarães (Ligação com centro Histórico e Passos dos Duques de Bragança), uma Rua sem saída. Neste ponto faz-se a ligação entre 2 zonas da rede, as zonas 2 e 3. As Figuras 70 e 71, também caracterizam o espaço/local, e os respetivos movimentos direcionais para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 70 - Posto3 (GoogleMaps, 2016)

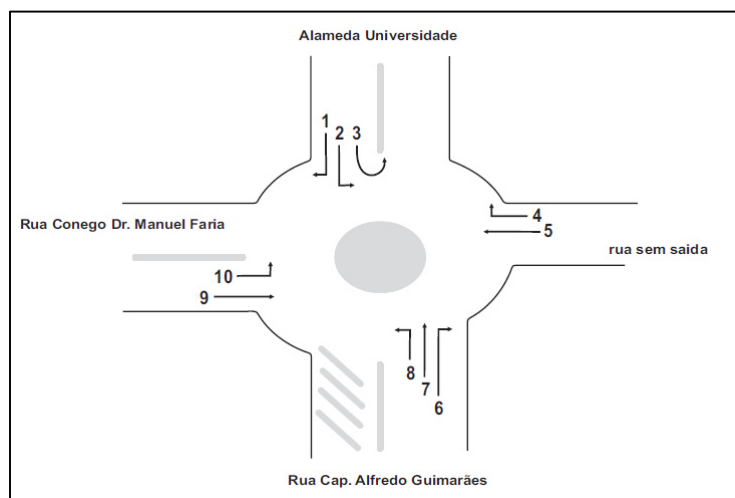


Figura 71 - Caracterização dos movimentos - posto 3 (Quadrilátero, 2013)

- **Posto 4**

O posto de contagem 4 (PC4) localiza-se na ligação entre Guimarães e Mesão frio e faz a ligação entre 4 estradas, a Rua Nossa Senhora da Penha (direção Mesão Frio), a Rua Padre António Caldas (direção Oliveira dos Castelos (Centro Histórico)), a Rua da Fé e a Avenida Rio de Janeiro. Neste posto faz-se a ligação entre 2 zonas da rede, as zonas 6 e 14. As Figuras 72 e 73, também caracterizam o espaço/local e os respetivos movimentos direcionais para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 72 - Posto 4 (GoogleMaps (2016))

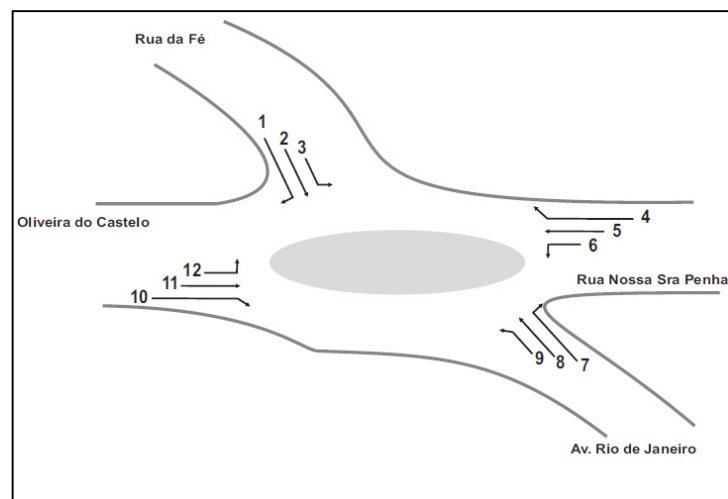


Figura 73 - Caracterização dos movimentos - posto 4 (Quadrilátero, 2013)

- **Posto 5**

O Posto de contagem 5 (PC5) localiza-se no Largo da República do Brasil em Guimarães, nas imediações do Centro Histórico. Faz a ligação entre várias estradas e é o ponto da cidade de Guimarães com maior fluxo de tráfego, que se deve ao facto de este ponto ser um ponto de passagem para diferentes pontos da cidade e respetiva periferia.

As ruas envolvidas neste ponto de contagem são a Avenida Alberto Sampaio (ligação com Castelo, Passos dos Suques de Bragança e Tribunal da comarca de Guimarães), a Rua Dr. José Sampaio (ligação com teleférico, Parque da Cidade e Penha), a Rua Alfredo Guimarães (ligação Centro Histórico), a Alameda São Dâmaso (ligação com Praça do Toural), a Rua Padre Gaspar Roriz, a Avenida D. João IV (ligação com estação de caminhos de Ferro) e o Largo São Gualter. Neste ponto faz-se a ligação entre as zonas 4, 12 e 13 da rede. As Figuras 74 e 75, permitem realizar a caracterização o espaço/local e os respetivos direcionais, para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 74 - Posto 5 (GoogleMaps, 2016)

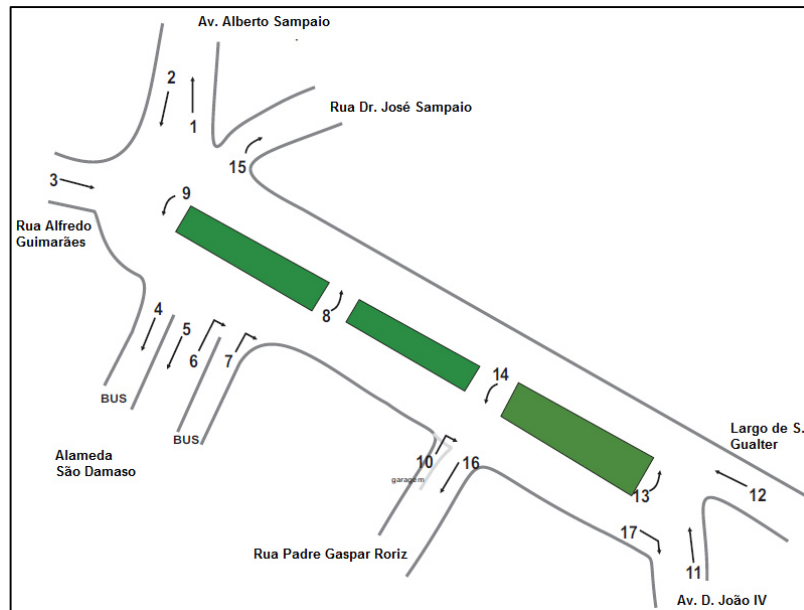


Figura 75 - Caracterização dos movimentos - posto 5 (Quadrilátero, 2013)

É de salientar que os movimentos 4 e 5 assim como os movimentos 6 e 7 foram somados de forma a simplificar a rede e não causar obstáculos de maior dimensão na calibração da rede, esta soma foi feita, pois os movimentos de 4 e 7 correspondem a locais de paragem de Autocarro. Como deste caso de estudo apenas se está a analisar o transporte privado e não o público, esta pequena alteração não terá implicações de maior significado na rede e na sua modelação.

- **Posto 6**

O posto de contagem 6 (PC6) localiza-se no principal ponto de entrada e saída da cidade. Este ponto localiza-se nas imediações do Guimarães shopping e do Hospital. Neste ponto cruzam-se estradas provenientes de vários municípios vizinhos que movimentam grandes fluxos de tráfego para o município de Guimarães. As estradas são as seguintes, a EN 105 (direção Fafe), a EN 105 (direção Vizela) e a Variante A – EN 206 (ligação A11). Este ponto de Contagem faz-se a ligação entre a zona 8 e 9 da rede. As Figuras 76 e 77, permitem realizar a caracterização o espaço/local e os respetivos movimentos direcionais, para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 76 - Posto 6 (GoogleMaps, 2016)

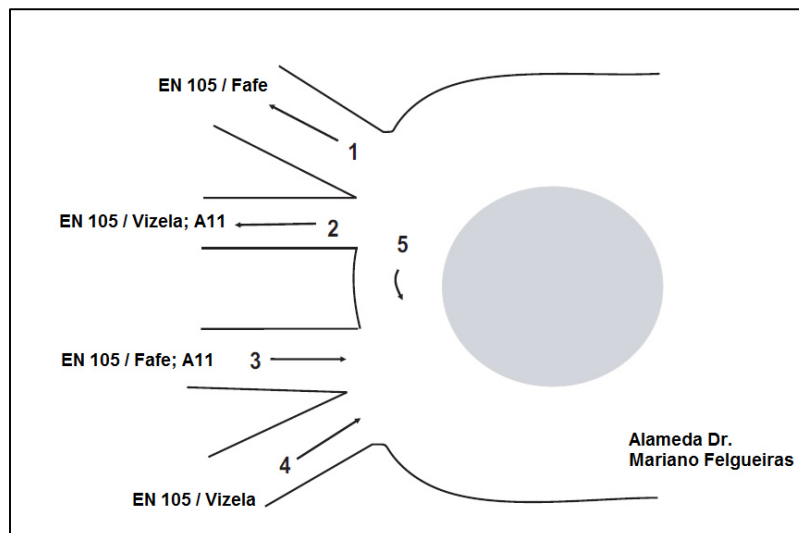


Figura 77 - Caracterização dos movimentos - posto 6 (Quadrilátero, 2013)

- **Posto 7**

O posto de contagem 7 localiza-se perto de outra entrada importante da cidade, ou seja, a EN 101 que liga os municípios de Braga e Guimarães. Assim como a ligação à EN 105 com ligação a Fafe, Vizela e EN 206, que posteriormente tem ligação com A11. Neste ponto ligam-se 3 ruas, a Rua de Santa Eulália (ligação com o centro da cidade, EN105 e EN101), a Rua Dr. José Pinto Rodrigues (Ligação com estádio D. Afonso Henriques) e a Praceta Padre Luís Gonzaga Fonseca (Acesso local (A 12)). Neste ponto faz-se a ligação entre as zonas 1, 7 e 8 da rede. As Figuras

78 e 79, permitem realizar a caracterização o espaço/local e os respetivos movimentos direcionais para os quais é possível obter informação de tráfego.



Figura 78 - Posto 7 (GoogleMaps (2016))

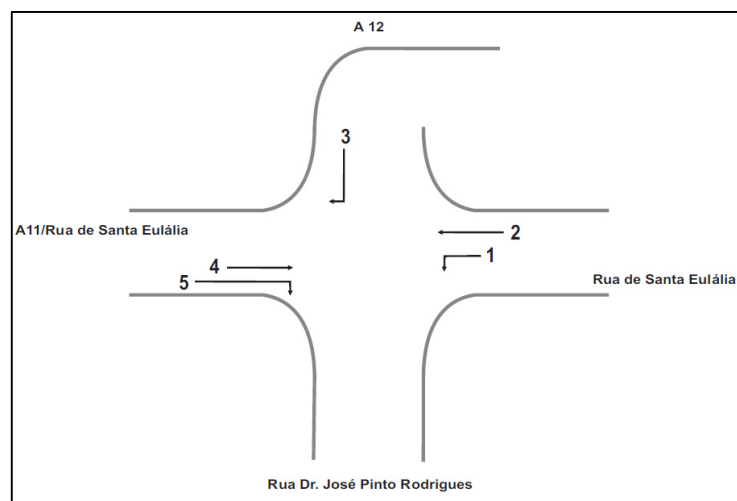


Figura 79 - Caracterização dos movimentos - posto 7 (Quadrilátero, 2013)

4.3.1.2. Valores das contagens de tráfego

Os valores que caracterizam este estudo de caso são referentes aos períodos de ponta da manhã e da tarde. Mas, para o estudo em causa, optou-se por utilizar os dados de apenas uma hora, hora de ponta da manhã, 8h15 – 9h15, e hora de ponta da tarde, 17h30 – 18h30. De seguida apresenta-se um excerto dos valores das contagens fornecidos (Tabela 6).

Tabela 6 - Exemplo de estruturação dos dados do posto de contagem 7 (Quadrilátero, 2013)

Posto CTI 7									
Período		Mov. 1				Mov. 2			
Início	Fim	MC	LIG	PES	BUS	MC	LIG	PES	BUS
07:30	07:45	0	35	0	1	0	39	0	1
07:45	08:00	0	44	0	0	0	34	0	1
08:00	08:15	2	70	0	3	0	67	0	3
08:15	08:30	0	88	0	1	1	95	0	2
08:30	08:45	0	93	1	2	1	80	0	2
08:45	09:00	0	76	0	0	2	83	1	3
09:00	09:15	1	88	1	4	1	114	0	1
09:15	09:30	0	73	0	2	1	95	0	1
16:30	16:45	0	66	1	2	0	70	0	1
16:45	17:00	0	72	0	1	1	88	0	1
17:00	17:15	1	75	1	3	0	75	1	2
17:15	17:30	1	73	0	0	2	77	0	0
17:30	17:45	1	71	2	2	0	80	0	3
17:45	18:00	1	99	0	2	1	107	0	0
18:00	18:15	1	110	0	3	0	90	0	2
18:15	18:30	1	88	1	1	1	79	1	1
Período da manhã		3	567	2	13	6	607	1	14
Período da tarde		6	654	5	14	5	666	2	10

Os dados de contagem fornecidos foram tratados de forma a serem introduzidos no PTV Visum 15, de forma a prosseguir-se com a modelação. Para o processo de modelação usou-se como unidade de tráfego, a unidade de veículo ligeiro equivalente (u.v.e), tendo-se adotado os fatores de equivalência presentes na Tabela 7, que segundo Martins et al. (2006) estão designados e referem-se às normas alemãs de transportes.

Tabela 7 - Fatores de equivalência (Martins et al., 2006)

Fator de equivalência			
Motociclos	Ligeiros	Pesados	BUS
1	1	2	1,5

A equação IV.1 traduz como foi feita essa conversão:

$$q_h = q_r \times (1 - (m + p + b)) + (E_m \times m + E_p \times p + E_b \times b) \quad (IV.1)$$

Em que:

- q_h – Volume de tráfego homogeneizado (u.v.e./h);
- q_r – Volume de tráfego real (vel/h);
- m – Percentagem de motociclos;
- p – Percentagem de pesados;
- b – Percentagem de autocarros (BUS);
- E_m – Fator de equivalência motociclos;
- E_p – Fator de equivalência pesados;
- E_b – Fator de equivalência autocarros (BUS);

A Tabela 8 mostra um excerto de como foram organizados os resultados desta conversão para a hora de ponta da manhã. No Anexo A segue os valores de todos os movimentos, para ambos os períodos. As Tabela 9 e 10, permitem consultar o tráfego total referente a cada posto de contagem na respetiva hora de ponta.

Tabela 8 – Excerto da tabela de resultados da conversão do tráfego para unidade de veículo equivalente para a hora de ponta da manhã

Tráfego Hora de Ponta										
Manhã (8h15 - 9h15)										
Posto	Movimento	Motociclos	Ligeiros	Pesados	BUS	% Motociclos	% Pesados	% BUS	Total (vel/h)	Tráfego Equivalente (u.v.e./h))
1	1	0	201	1	0	0,00	0,00	0,00	202	203
	2	1	103	2	1	0,01	0,02	0,01	107	110
	3	0	31	0	0	0,00	0,00	0,00	31	31
	4	0	26	0	0	0,00	0,00	0,00	26	26
	5	0	24	0	0	0,00	0,00	0,00	24	24
	6	0	250	1	1	0,00	0,00	0,00	252	254
	7	8	381	3	10	0,02	0,01	0,02	402	410
	8	0	152	3	7	0,00	0,02	0,04	162	169
	9	0	84	1	0	0,00	0,01	0,00	85	86
	10	0	329	0	0	0,00	0,00	0,00	329	329

Tabela 9 - Tráfego total de cada interseção para a hora de ponta da manhã

Tráfego Hora de Ponta									
Manhã (8h15 - 9h15)									
Posto	Motociclos	Ligeiros	Pesados	BUS	%Motociclos	%Pesados	%BUS	Total (vel/h)	Tráfego Equivalente (u.v.e./h)
1	9	1581	11	19	0,01	0,01	0,01	1620	1641
2	12	1965	13	62	0,01	0,01	0,03	2052	2096
3	10	1312	1	24	0,01	0,00	0,02	1347	1360
4	13	1537	15	13	0,01	0,01	0,01	1578	1600
5	35	4851	19	150	0,01	0,00	0,03	5055	5149
6	2	2545	14	81	0,00	0,01	0,03	2642	2697
7	16	1754	7	26	0,01	0,00	0,01	1803	1823
								16097	16365

Tabela 10 - Tráfego total de cada interseção para a hora de ponta da tarde

Tráfego Hora de Ponta									
Tarde (17h30 - 18h30)									
Posto	Motociclos	Ligeiros	Pesados	BUS	%Motociclos	%Pesados	%BUS	Total (vel/h)	Tráfego Equivalente (u.v.e./h)
1	17	1361	15	24	0,01	0,01	0,02	1417	1444
2	22	2921	14	85	0,01	0,00	0,03	3042	3099
3	12	1237	2	18	0,01	0,00	0,01	1269	1280
4	23	1594	15	18	0,01	0,01	0,01	1650	1674
5	55	4431	7	97	0,01	0,00	0,02	4590	4646
6	19	2951	11	65	0,01	0,00	0,02	3046	3090
7	14	1328	6	22	0,01	0,00	0,02	1370	1387
								16384	16619

Estes de dados de contagens obtidos foram adicionados ao PTV Visum 15 no campo *AddValue1* das viragens. Para fazer a inserção dos valores das contagens nas viragens através do campo *AddValue1*, faz-se a seleção do nó referente ao ponto de contagem, como vimos no ponto 4.2.4. Na lista das viragens referentes a esse ponto, seleciona-se o campo *AddValue1* e atribui-se o valor da contagem referente a essa viragem, a Figura 80, mostra como é feita essa atribuição.

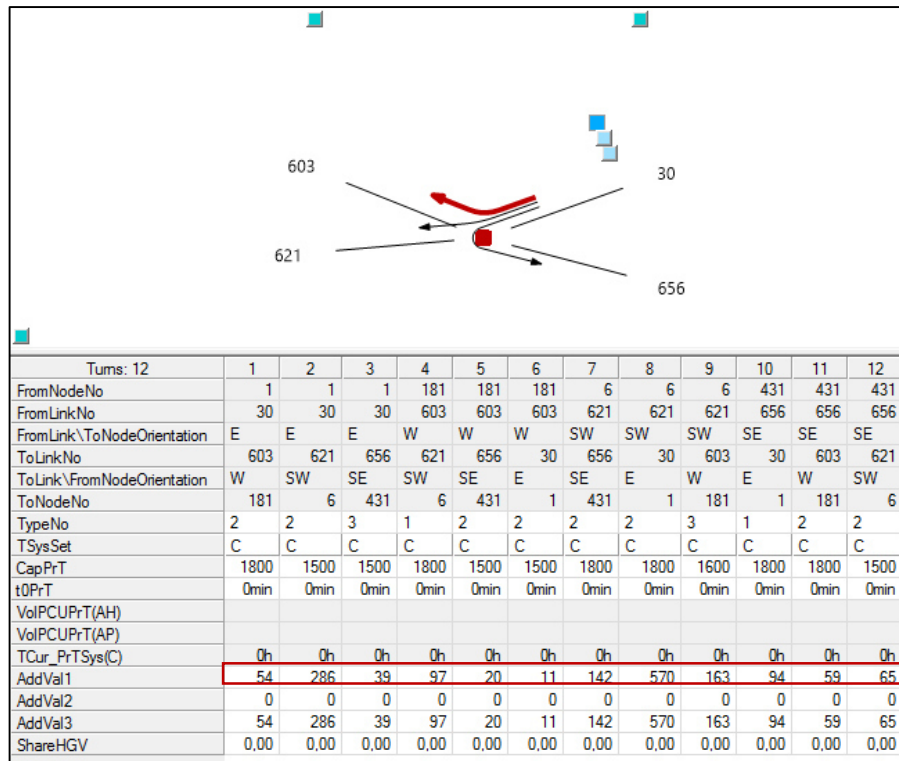


Figura 80 - Viragens referentes ao ponto de contagens 4

4.3.2. Matriz OD Inicial

Como é referido no capítulo 1, não existe matriz OD inicial para este estudo de caso, o que desde logo transforma este output num dos principais objetivos deste trabalho, para a realização da afetação de tráfego à rede.

No PTV Visum 15, assim como em qualquer software de modelação de transportes, é necessária uma matriz OD inicial não nula. Deste modo, começou-se então por definir como matriz OD inicial uma matriz unitária, isto é, uma matriz de valor 1.

Mas, devido à dificuldade a obter valores viáveis e realistas aquando do ajustamento da matriz OD, pelo método *TFlowFuzzy*, optou-se por aumentar o valor do número de viagens, tendo-se adotado a matriz OD inicial com valor de 10, de forma que modelo possa convergir. Com a aplicação desta nova matriz foi possível obter valores mais “realistas” como serão apresentados no ponto 4.4.

É de referir esta pequena limitação do software em relação ao valor da matriz OD inicial, isto é, para quando esta não existe não se pode adotar um procedimento tradicional de atribuição de

valor unitário (Valor 1). De seguida é apresentado um excerto da matriz OD inicial que foi aplicado em ambos os períodos de ponta da manhã e da tarde, para a afetação de viagens (Tabela 11). A matriz encontra-se totalmente representada no Anexo B.

Tabela 11 - Extrato da Matriz OD inicial (Valor 10)

Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	...	27
1	0	10	10	10	10	10	10	10	...	10
2	10	0	10	10	10	10	10	10	...	10
3	10	10	0	10	10	10	10	10	...	10
4	10	10	10	0	10	10	10	10	...	10
5	10	10	10	10	0	10	10	10	...	10
6	10	10	10	10	10	0	10	10	...	10
7	10	10	10	10	10	10	0	10	...	10
8	10	10	10	10	10	10	10	0	...	10
...
27	10	10	10	10	10	10	10	10	...	0

Este valor adotado para a matriz inicial teve como base a opinião de profissionais com experiência nesta área, mais concretamente a trabalhar com o software em causa, assim como através de trabalhos já realizados (Ramos, 2008 e Duarte, 2013).

A matriz OD foi criada diretamente no PTV Visum 15, selecionando o menu *View* (Figura 81) e de seguida a opção *Matrices*, onde se abrirá a janela de criação e seleção de matrizes, Figura 82, selecionando-se a opção *create*.

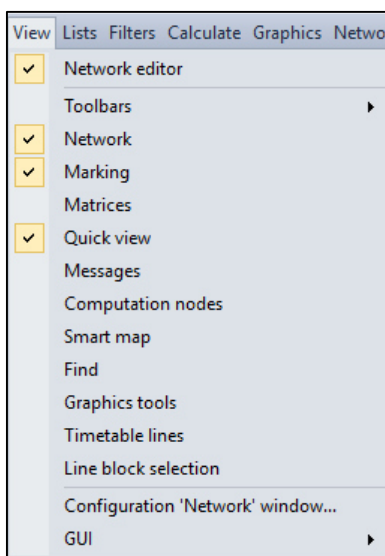


Figura 81 - Menu View

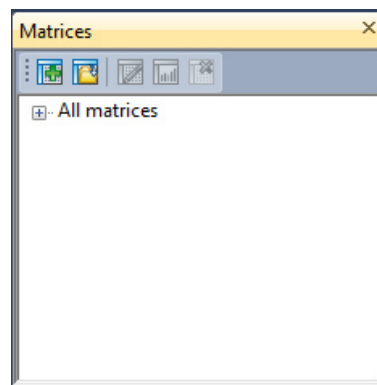


Figura 82 - Janela de criação e seleção de matrizes

Seguidamente, abrir-se-á uma janela de identificação de matrizes (Figura 83), sendo criada uma matriz com os valores todos nulos, Figura 84.

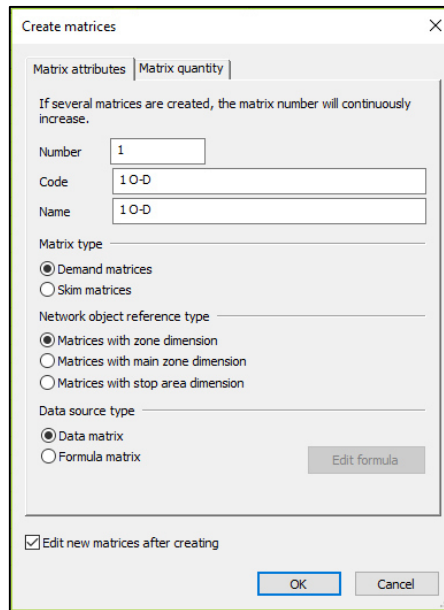


Figura 83 - Janela de identificação de matrizes

27x27		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Name	Sum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 84 - Matriz de valor 0 no PTV Visum 15

Após seleccionar a opção *Set value* (Figura 85), selecciona-se a opção *constant* (Figura 86) e atribui-se o valor 10. É então criada uma matriz com todos os valores iguais a 10. Para a matriz

ficar concluída tem-se que atribui o valor zero às viagens intrazonas, ou seja, atribuir o valor zero para a diagonal da matriz (Figura 87).

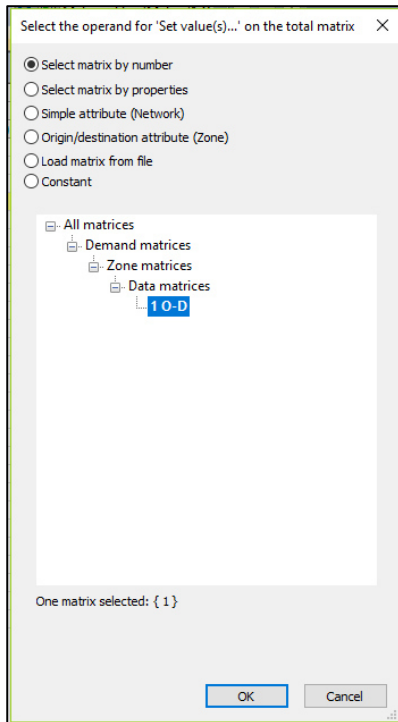


Figura 85 - Janela Set Value

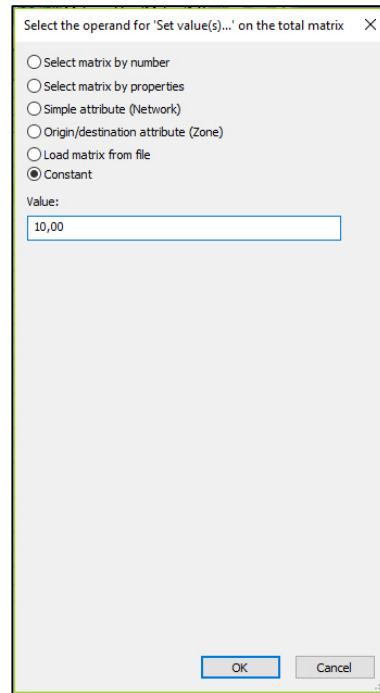


Figura 86 - Janela Set Value - opção Constant

27x27			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	Name	Sum	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00	260,00
1		260,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2		260,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
3		260,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
4		260,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
5		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
6		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
7		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
8		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
9		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
10		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
11		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
12		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
13		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
14		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
15		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
16		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
17		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
18		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00
19		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00
20		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00
21		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	10,00
22		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00
23		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
24		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
25		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
26		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
27		260,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Figura 87 - Excerto da matriz OD inicial no PTV Visum 15

Por sua vez, esta matriz, será aplicada a um segmento de procura, que são os modos de transporte pretendidos na afetação da matriz. Para fazer essa atribuição recorre-se ao menu *Demand* e selecciona-se a opção *TSys/Modes/Dsegs* (Figura 88). Na referida janela seleccionar-se-á a opção *Demand segments* (Figura 89).

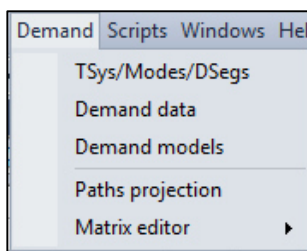


Figura 88 - Menu Demand

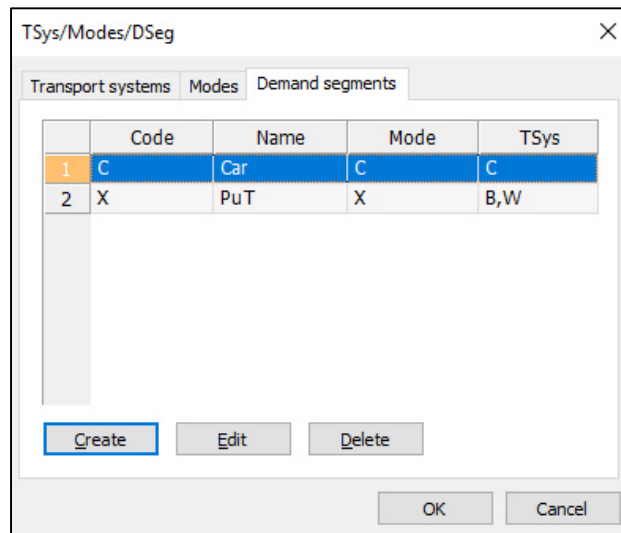


Figura 89 - Janela TSys/Modes/DSeg

Seguidamente selecciona-se a opção *Create* de forma a criar um novo segmento de procura. Na janela de identificação do Segmento de procura (Figura 90), faz-se a atribuição dos seguintes elementos, nome do segmento de procura, ID, modo de transporte e período de análise. Considerou-se o período de um ano, pois assume-se, face à informação disponível, que durante esse período não haverão alterações na rede da cidade de Guimarães.

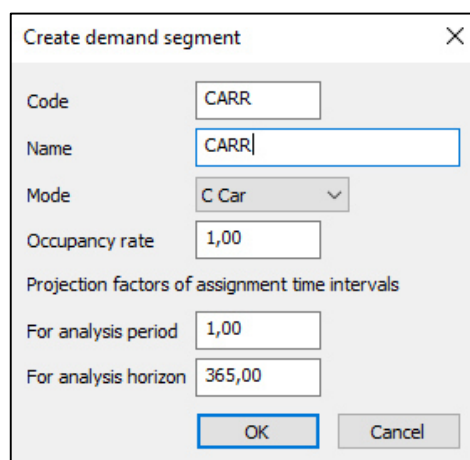


Figura 90 - Janela de criação do segmento de procura

De seguida no menu *Demand* selecciona-se a opção *Demand Data* (Figura 88). Mais especificamente a opção *Demand segment*. Para fazer a atribuição da matriz OD inicial ao segmento, selecciona-se a célula intitulada de *Matrix* (Figura 91). Abre-se então a janela *Select Matrix*, onde se selecciona a matriz OD para este segmento de procura (Figura 92).

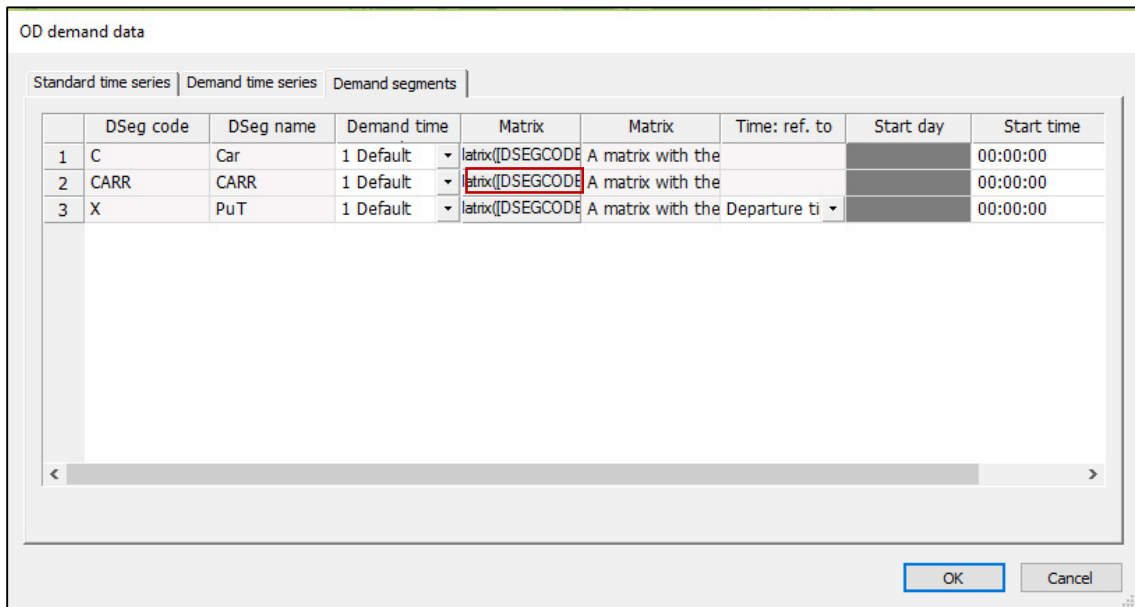


Figura 91 - Janela Demand Data

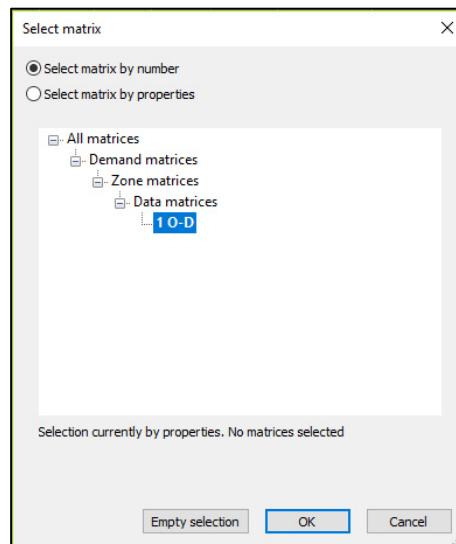


Figura 92 - Janela Select matrix

A matriz selecionada de valor 10 irá ser aplicada na hora de ponta da manhã e da tarde. Depois de inserida, a matriz OD inicial de valor 10 e os dados das contagens de tráfego nas viragens, parte-se para a afetação das contagens e o cálculo da nova matriz OD. No processo de calibração do modelo serão representados os vários problemas e passos da calibração.

4.4. Afetação e calibração do modelo

Desenhada a rede (oferta) e inseridos os dados referentes ao tráfego (procura), como valores das contagens e matriz OD inicial, parte-se para a afetação do tráfego à rede e consequente calibração, utilizando as ferramentas e parâmetro de calibração descritos no ponto 3.7 do capítulo 3.

Para fazer essa calibração recorreu-se a várias iterações, durante esse processo foram alterados atrasos, visto que o valor padrão do PTV Visum 15 é igual a 0, capacidades e velocidades, e em casos muito particulares, procede-se até mesmo à alteração do desenho da rede, sendo esta realizada ao nível da rede distribuidora local, que configura um nível de rede secundária à que se quer calibrar. A Figura 93, ilustra de forma resumida e esquemática todo o processo de calibração.

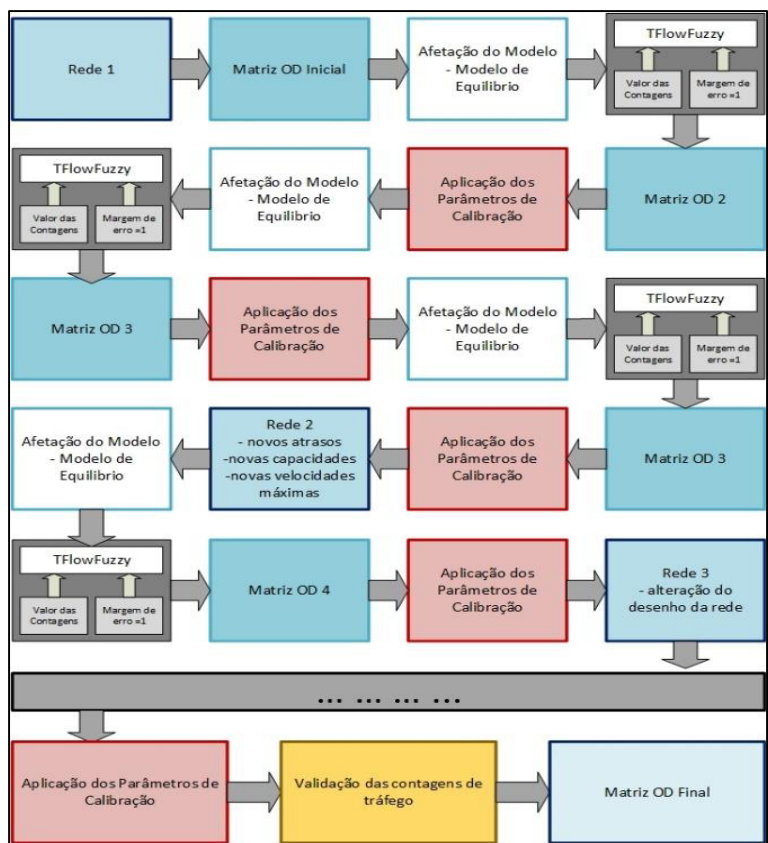


Figura 93 - Processo de afetação e calibração do modelo do estudo de caso

De seguida é descrito o procedimento referente à hora de ponta da manhã, apenas se descreve para um dos períodos, visto que o procedimento é semelhante em ambos. Descrevem-se os passos efetuados em cada uma das principais iterações de forma a calibrar o modelo, com o objetivo de validar os valores modelados em função dos valores contados.

4.4.1. 1ª Iteração

Para a primeira iteração procedeu-se à criação do processo de cálculo, para realizar a fase da afetação do modelo. Em primeiro lugar, criaram-se filtros de forma a ativar só as viragens com contagens. Tendo-se recorrido à opção de filtros das viragens (Figura 94), abrindo-se a janela de criação de filtros (Figura 95) em termos práticos. Procedeu-se, então, à criação de limites de forma a só serem selecionadas e contabilizadas as viragens com contagens maiores que zero, isto é, as contagens se encontram inseridas no campo *AddValue1*, cria-se um filtro onde só as viragens com o valor *AddValue1*>0 sejam ativas.

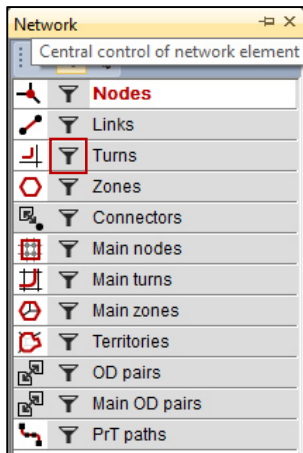


Figura 94 - Menu Network editor - opção filtro das viragens

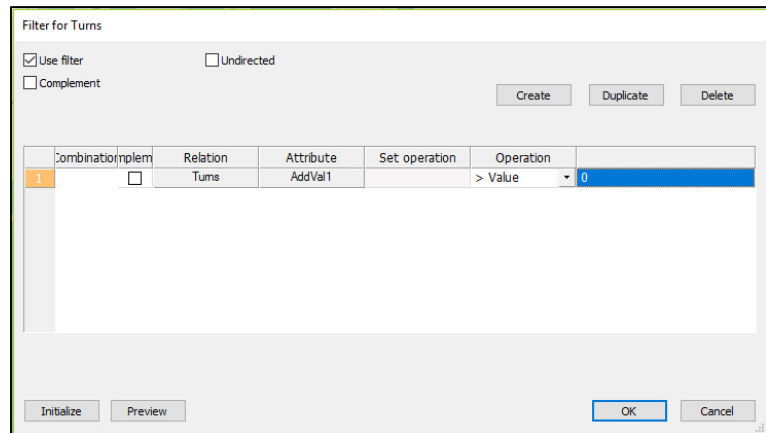


Figura 95 - Janela de criação de filtros nas viragens

Por outro lado, é necessário definir uma margem de erro, que neste caso se deve a erros gerados durante a execução do processo de cálculo, recorreu-se ao valor unitário, ou seja, as contagens modeladas podem variar entre zero e duas vezes o valor da contagem (*Addvalue1*). Essa margem de erro será guardada no campo *Addvalue3* das viragens. Para a criação da margem de erro, recorre-se ao menu *Network editor* e seleciona-se as opções das viragens (Figura 96), no menu *multi-edit*. Na janela *Multi-edit* (Figura 97) seleciona-se o campo *AddValue3* e de seguida a opção *Attribute*.

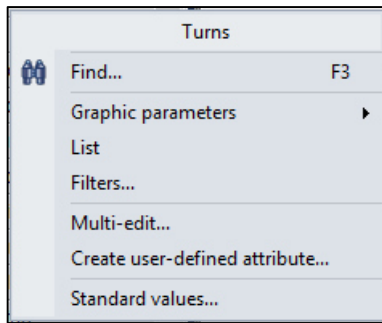


Figura 96 - Opções viragens

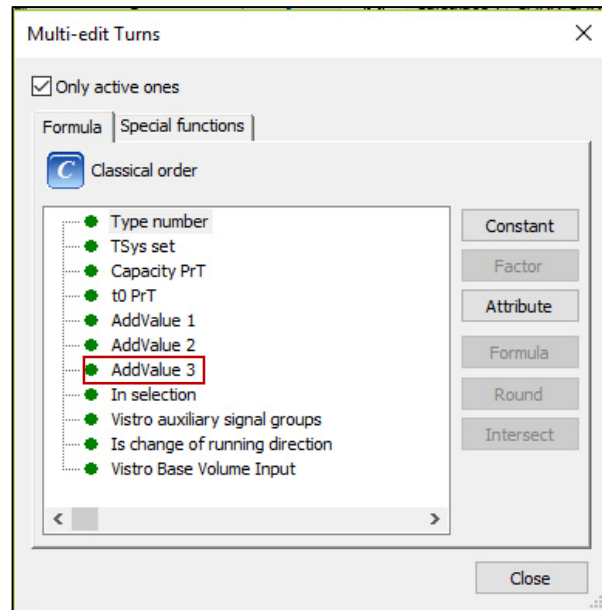


Figura 97 - Janela Multi-edit das viragens

Na janela de “atribuição de atributos a outros atributos” (Figura 98), seleciona-se a célula *Addvalue3*, que abrirá a janela de atributos das viragens (Figura 99). Faz -se então a seleção do atributo *Addvalue1* e assim concluir a sua atribuição ao *Addvalue3* (Figura 100), ou seja, para a criação da margem de erro, o software irá utilizar o campo *Addvalue1* (contagens de tráfego) como referência, de maneira a criar um intervalo de variação dos valores modelados em função dos valores reais.

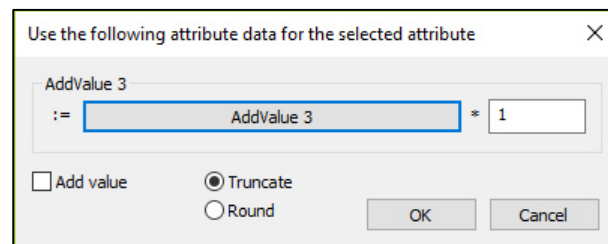


Figura 98 - Janela de atribuição de atributos a outros atributos

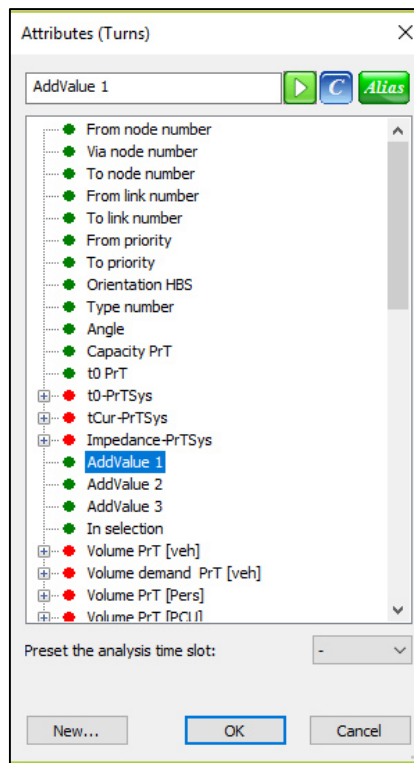


Figura 99 - Seleção do campo AddValue1

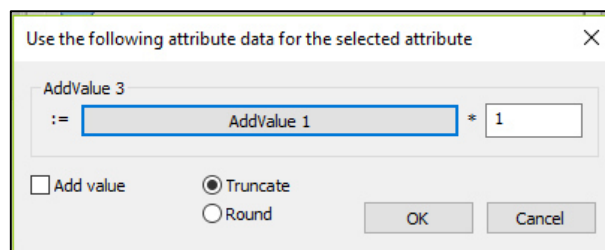


Figura 100 - Atribuição do campo AddValue1 ao campo AddValue3

Na célula seguinte atribui-se o valor 1 que corresponde à margem de erro atribuída, em outros casos, se for possível esta margem de erro pode ser reduzida, que é o ideal, mas como tal não é possível no início, opta-se por esse valor.

Efetuada todos estes passos, define-se o procedimento de cálculo que será idêntico para todas as iterações. Para esse efeito recorre-se ao menu *Calculate*, à opção *Procedure sequence* (Figura 101).

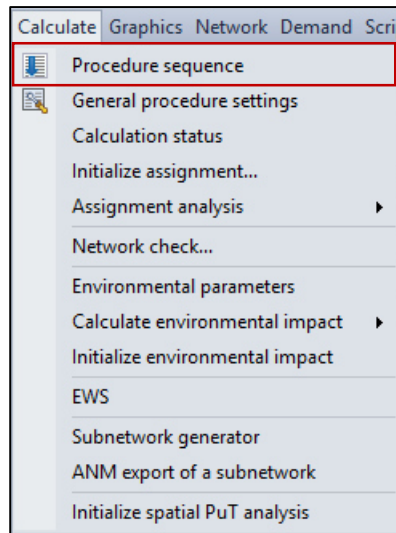


Figura 101 - Menu Calculate

De seguida na janela *Procedure sequence* (Figura 102), faz-se a seleção das funções pretendidas para o cálculo da afetação, sendo neste estudo de caso utilizados:

1. O modelo de Afetação (Modelo de equilíbrio);
2. TflowFuzzy;
3. O modelo de Afetação (Modelo de equilíbrio).

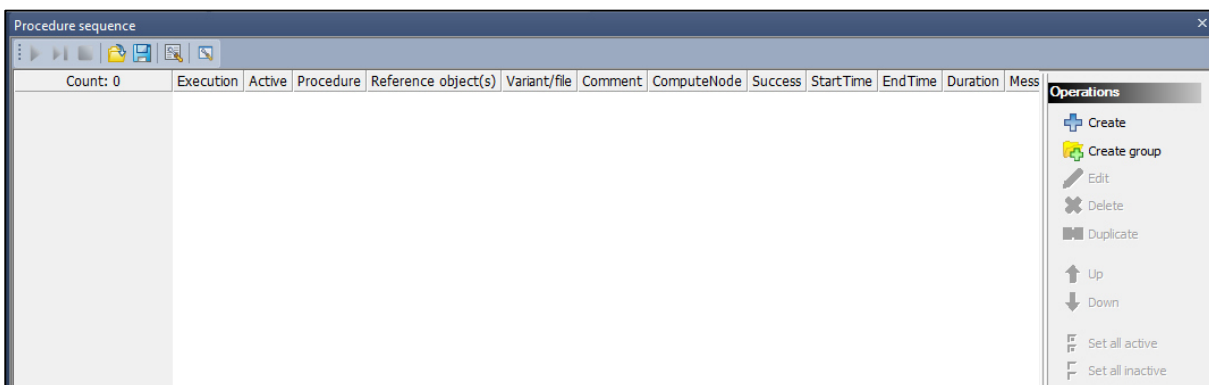


Figura 102 - Janela Procedure sequence

Para fazer essa seleção, recorre-se à opção *create*, onde se abrirá uma janela com as várias funcionalidades (Figura 103), de seguida faz-se a seleção das funções pretendidas.

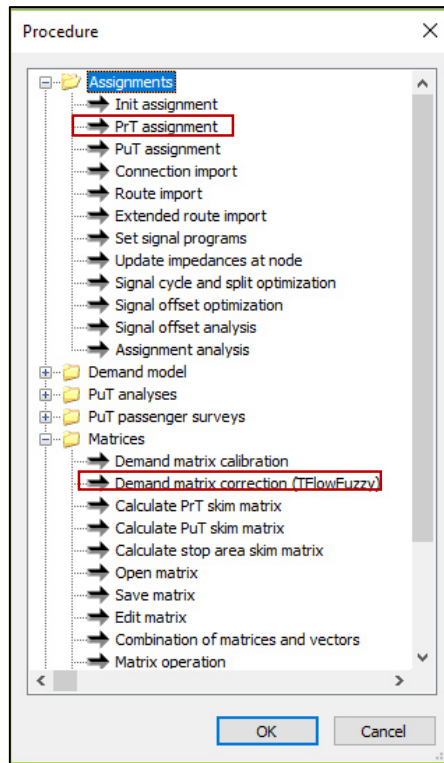


Figura 103 - Janela de escolha das funcionalidades

Para se caracterizar cada uma das funções, faz-se a seleção do segmento de procura (CARR), de acordo com a Figura 104. Para isso, seleciona-se a célula referente a *Reference object(s)* e posteriormente a seleção do segmento de procura (Figura 105). Anteriormente no ponto 3.6 e 3.7 do capítulo 3, foram caracterizadas as variáveis referentes a cada funcionalidade, assim, apenas se explicará o processo de cálculo.

Count	Execution	Active	Procedure	Reference object(s)	Variant/file	Comment	ComputeNode	Success	StartTime	EndTime	Duration	Mess
1		<input checked="" type="checkbox"/>	PrT assignr	---	Equilibrium :			<input type="checkbox"/>				
2		<input checked="" type="checkbox"/>	Demand m	---				<input type="checkbox"/>				
3		<input checked="" type="checkbox"/>	PrT assignr	---	Equilibrium :			<input type="checkbox"/>				

Figura 104 - Funcionalidades para a afetação e calibração do modelo

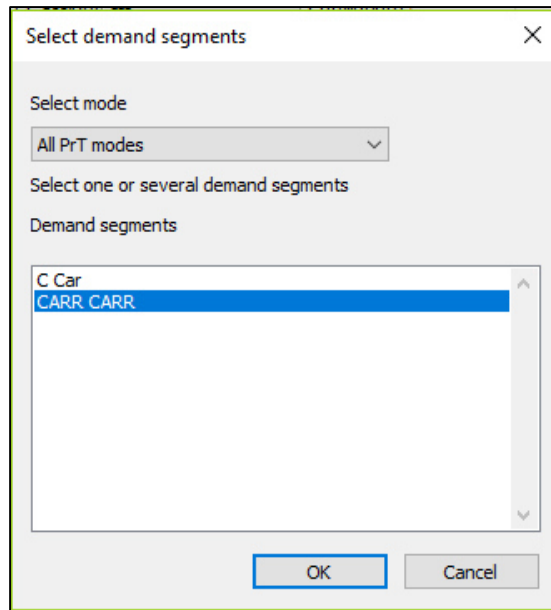


Figura 105 - Seleção do segmento de procura

O modelo de afetação escolhido foi o modelo de Equilíbrio, pelas razões apresentadas no ponto 3.6 do capítulo 3, que é selecionado através do menu referente a *Variant/file* (Figura 106), o qual é devidamente caracterizado pela definição dos parâmetros na Figura 107.

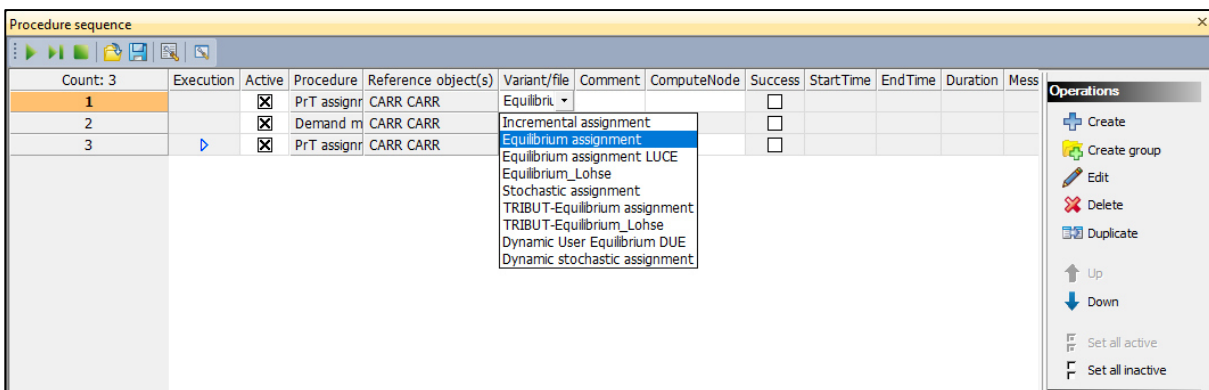


Figura 106 - Janela Procedure sequence, célula Variant/file

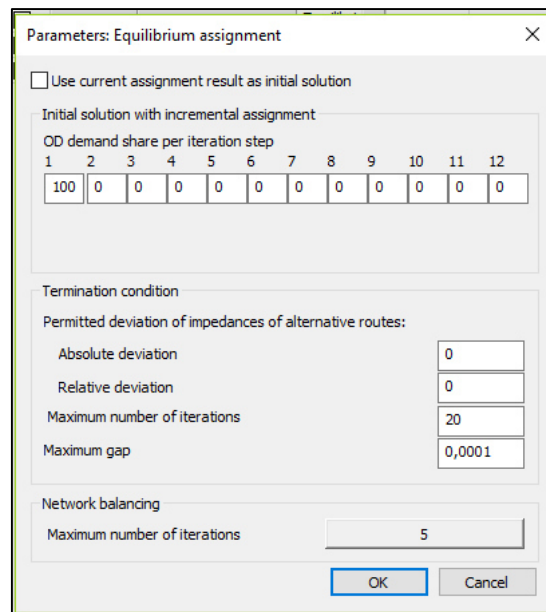


Figura 107 - Janela de caracterização do modelo de Equilíbrio

Na fase inicial do processo, optou-se pela utilização dos valores definidos por defeito no PTV Visum 15, visto que não existe uma matriz OD inicial e apenas se está a estudar um período muito curto (uma hora).

Para a caracterização da função *TFlowFuzzy*, volta-se a seleccionar a célula *Variant/file*, aberta a janela para a sua caracterização (Figura 108). Nesta janela apenas se seleccionam os volumes nas viragens (*Turns*), e destas apenas as viragens ativas. As viragens ativas são seleccionadas a partir da ativação dos filtros, que é feita através do filtro das viragens disponível no menu *Network editor*.

Posto isso, selecciona-se o campo onde foram atribuídas as contagens e o campo onde foi atribuída a margem de erro. No campo volume, a primeira célula é referente às contagens e a segunda à margem de erro. Para atribuir essas variáveis, basta seleccionar a célula pretendida e irá abrir-se em ambos os casos a janela de atributos das viragens (*Turns*), onde se faz a seleção do atributo, (*AddValue1* para as contagens e *AddValue3* para a margem de erro).

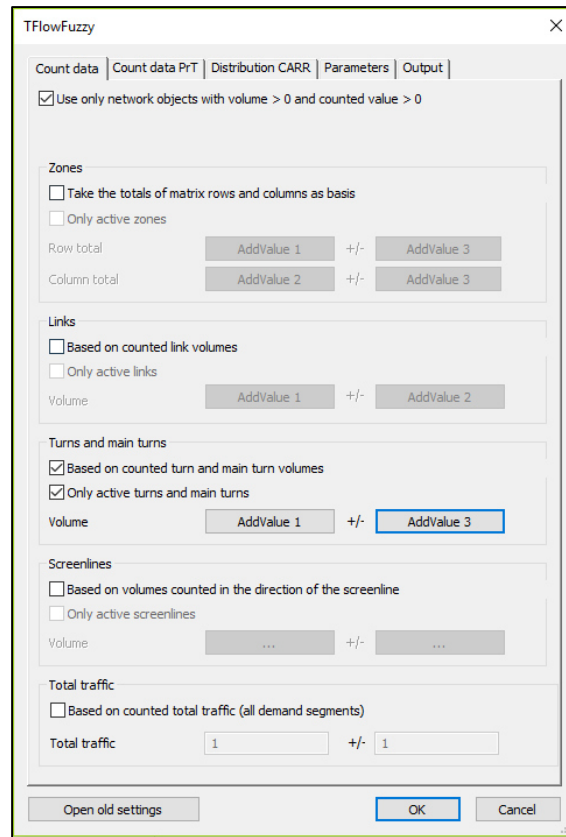


Figura 108 - Janela de caracterização do TFlowFuzzy

Após a caracterização das variáveis (volume e margem de erro), procedesse à execução da função.

De forma a obter-se uma informação constante sobre a calibração das contagens, faz-se a atribuição do parâmetro GEH, explicado no ponto 3.7.3 do Capítulo 3. Para fazer essa atribuição às viragens, cria-se um novo atributo, recorrendo ao menu *Network* (Figura 41) e seleciona-se a opção *User-defined attributes*. Nessa janela (Figura 109), seleciona-se o elemento da rede pretendido, para a criação do novo atributo GEH, que neste caso, será o das viragens.

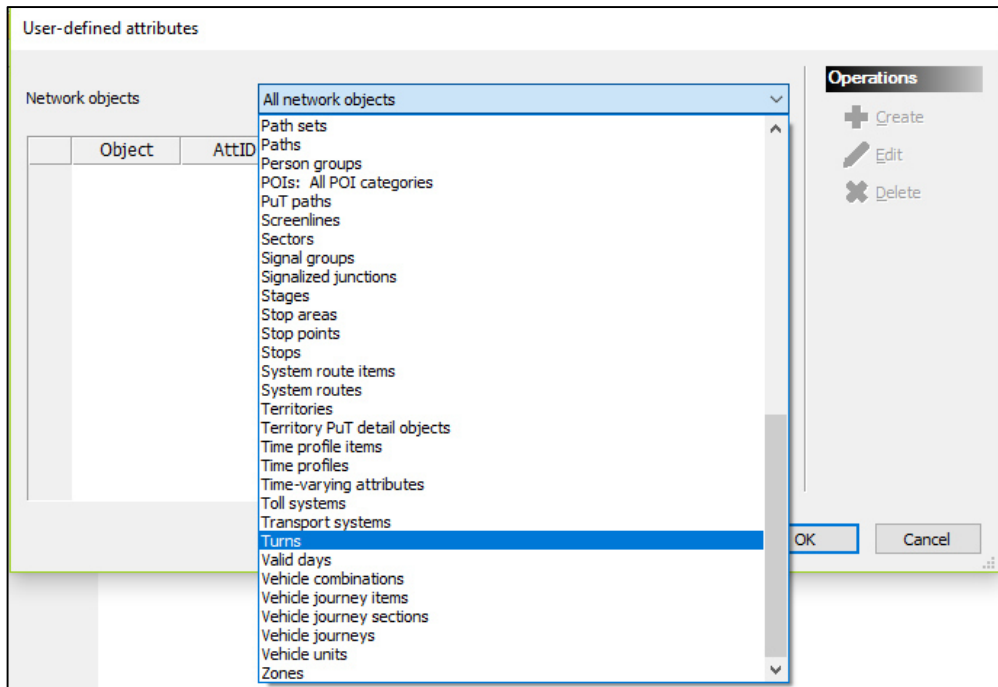


Figura 109 - Janela User-defined attributes

Seguidamente na janela *Create user-defined attribute (Turns)* (Figura 110), seleciona-se a opção *Formula attribute* e de seguida a opção *exp*, a partir da qual se procede à “*Insert function*” (Figura 111), e se seleciona a função *GEH Statistics*.

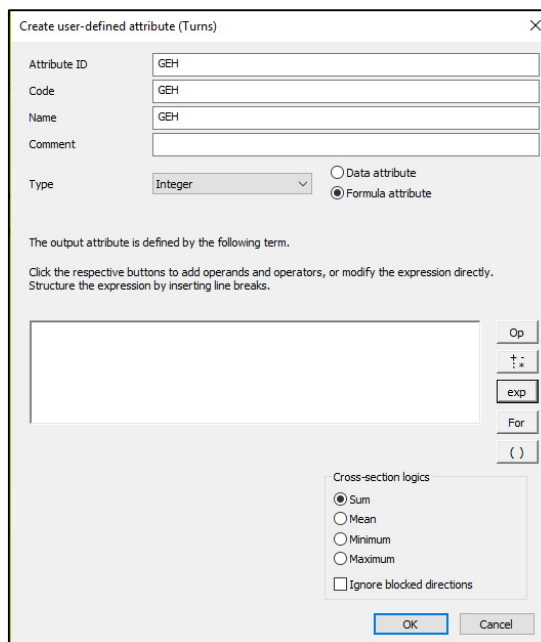


Figura 110 - Janela Create user-defined attribute (Turns)

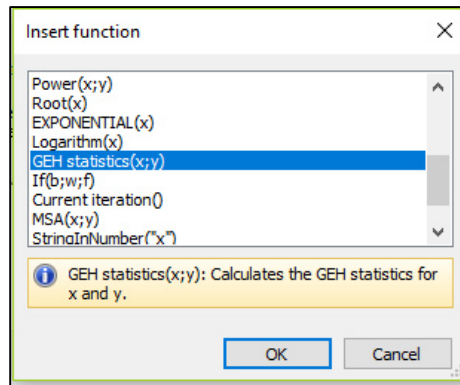


Figura 111 - Janela Insert function

Feito isto, seleccionam-se os atributos que serão os operadores desta função (Figura 113). Como foi referido no ponto 3.7.3 do capítulo 3, as variáveis desta função são o volume modelado e o volume contado. Como foi atribuído anteriormente, o volume contado encontra-se no campo *AddValue1*, e o volume modelado, segundo PTV (2015), encontra-se no atributo *Volume PrT (Veh) – Analisis Period*. Para fazer essa atribuição à função GEH, selecciona-se a opção *Op*, que abrirá a janela *Select operand*, onde se seleccionam os atributos operadores da função GEH.

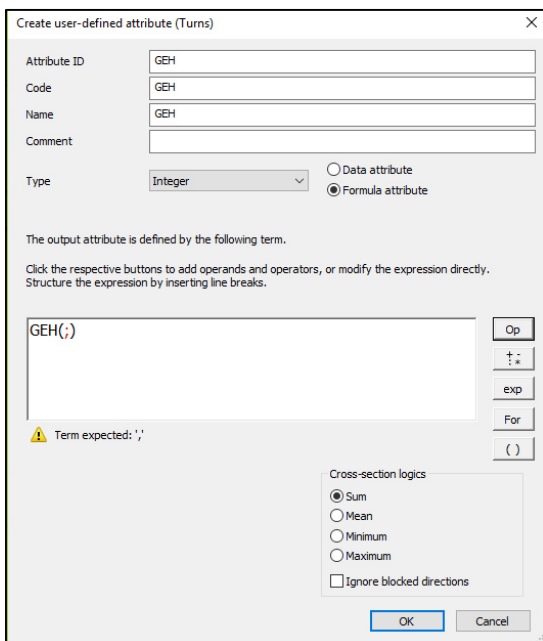


Figura 112 - Inserir operantes da função
GEH

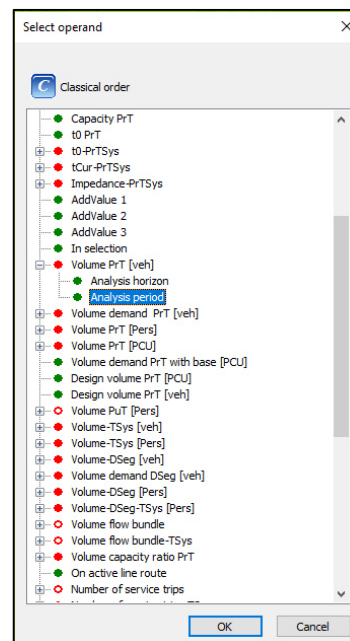


Figura 113 - Seleção dos atributos
Operantes

Feita esta seleção, a função GEH fica com a forma apresentada na Figura 114.

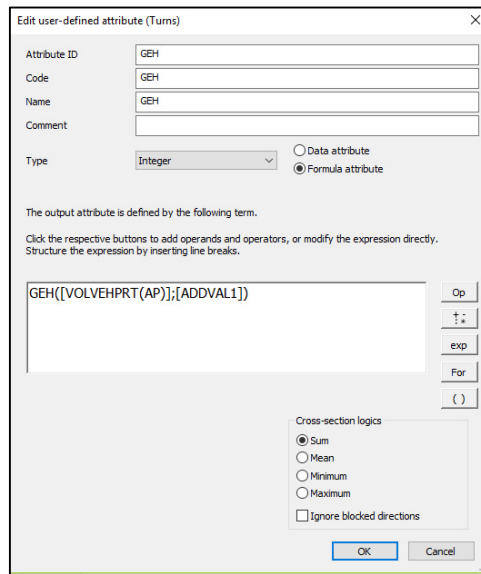


Figura 114 - Forma da função GEH no PTV Visum 15

De seguida é necessário que a função GEH seja visível, para fazer uma constante análise. Para isso recorre-se à lista das viragens, ou seja, onde irão aparecer todas as viragens da rede, com atributos associados. Estes atributos são selecionados pelo modelador. Para aceder à lista recorre-se ao *Lists* (Figura 115), seleciona-se a opção *Network* e de seguida a opção *Turns* (Figura 116).

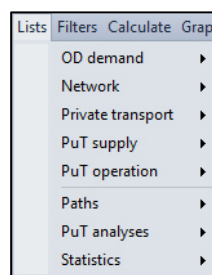


Figura 115 - Menu Lists

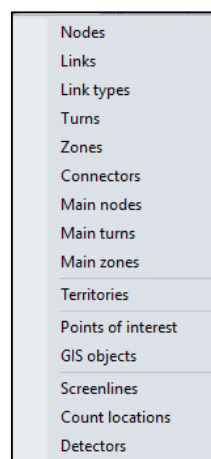


Figura 116 - Seleção da lista das viragens

As listas aparecem sobre a forma apresentada na Figura 117. As viragens em que a capacidade tem valor zero, correspondem a viragens eliminadas anteriormente, no processo de desenho da rede.

Count: 231	FromNodeNo	ViaNodeNo	ToNodeNo	TypeNo	TSysSet	CapPrT	t0PrT	VolVehPrT(AH)	VolVehPrT(AP)
1	58	59	56	2	C	1800	0min		
2	58	59	57	2	C	1800	0min		
3	58	59	58	4	....	0	0min		
4	59	58	59	4	....	0	0min		
5	59	58	111	1	....	0	0min		
6	59	58	332	2	C	1800	0min		
7	57	59	56	3	....	0	0min		
8	57	59	57	4	....	0	0min		
9	57	59	58	2	C	1800	0min		
10	59	57	55	2	C	1800	0min		
11	59	57	56	1	....	0	0min		
12	59	57	59	4	....	0	0min		
13	55	57	55	4	....	0	0min		
14	55	57	56	3	C	1600	0min		
15	55	57	59	2	C	1800	0min		
16	57	55	54	2	C	1800	0min		
17	57	55	57	4	....	0	0min		
18	57	55	109	1	....	0	0min		
19	54	55	54	4	....	0	0min		
20	54	55	57	2	C	1800	0min		

Figura 117 - Lista das viragens

Para que sejam mostrados os outros atributos pretendidos (*AddValue1* e GEH), seleciona-se a opção *Select attribute*. Para a seleção dos atributos (Figura 118), selecionam-se os atributos pretendidos e posteriormente a opção *Add*, de forma a estes serem adicionados à lista.

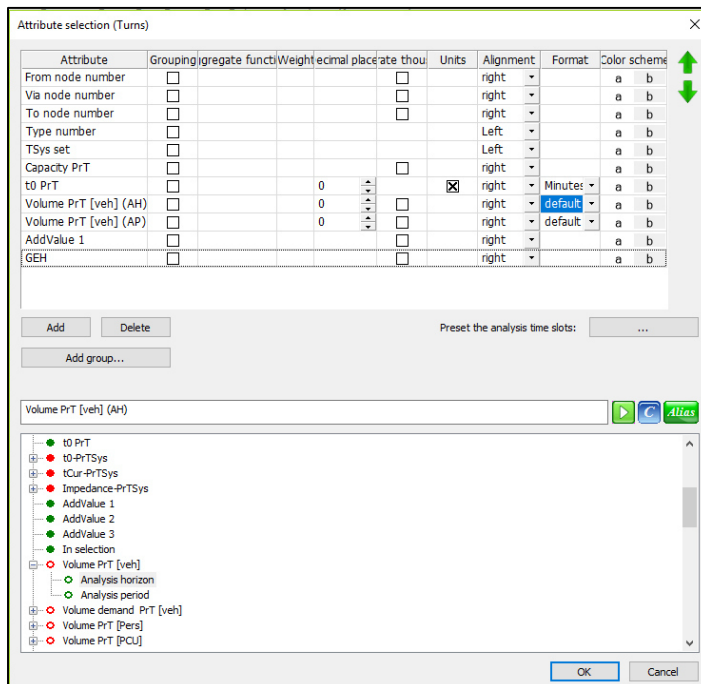


Figura 118 - Janela Attribute selection (Turns)

Feita esta seleção de atributos, a lista passa a ter a forma apresentada na Figura 119. De Forma que os valores das contagens apareçam no início da lista de forma ser facilitada a análise dos valores das contagens, em conjunto com os volumes modelados e o parâmetro GEH, selecione-se a lista *AddValue1* e de seguida a opção *Sort descending*.

Count	FromNodeNo	ViaNodeNo	ToNodeNo	TypeNo	TSysSet	CapPrT	tOPrT	VolVehPrT(AH)	VolVehPrT(AP)	AddVal1	GEH
1	300	89	82	2	C	1800	Omin			1154	48
2	253	251	250	1	C	1700	Omin			668	37
3	299	82	81	2	C	1800	Omin			593	34
4	46	45	385	2	C	1800	Omin			575	34
5	6	416	1	2	C	1800	Omin			570	34
6	25	24	255	1	C	1700	Omin			538	33
7	84	85	105	2	C	1800	Omin			535	33
8	23	24	25	1	C	1700	Omin			515	32
9	21	22	23	1	C	1700	Omin			513	32
10	292	252	254	2	C	1800	Omin			506	32
11	350	414	160	1	C	1800	Omin			490	31
12	46	45	60	1	C	1700	Omin			468	31
13	256	22	21	2	C	1800	Omin			456	30
14	250	251	252	1	C	1700	Omin			413	29
15	140	412	1	2	C	1800	Omin			410	29
16	385	45	46	2	C	1800	Omin			391	28
17	24	255	256	3	C	1600	Omin			384	28
18	394	36	432	2	C	1700	Omin			363	27
19	95	394	32	1	C	1800	Omin			362	27
20	385	45	60	3	C	1600	Omin			361	27

Figura 119 - Lista das viragens Pretendida

Terminada esta fase de definição, parte-se para a execução do processo de cálculo. As alterações efetuadas na matriz OD, são gravados sobre a mesma, ou seja, existe uma substituição direta dos valores da mesma. Nas iterações a serem apresentadas apenas se fará referência à hora de ponta da manhã, pois os processos de cálculo em ambos os períodos são idênticos. Se durante o processo de cálculo ocorrer algum erro é mostrada uma mensagem de erro. Na Figura 120 apresenta-se uma mensagem de erro, onde é indicada uma margem de erro baixa, sendo de salientar que neste caso de estudo em específico, não foi possível aplicar uma margem de erro inferior a 1.

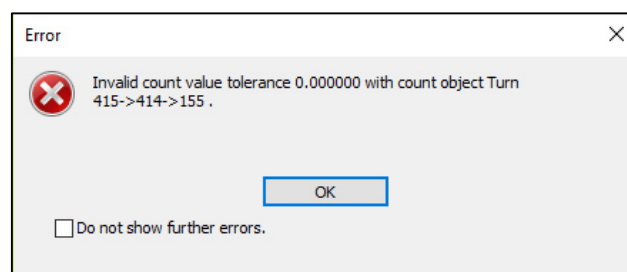


Figura 120 - Informação de erro

Se todo o processo for bem-sucedido, aparece uma mensagem de informação como a apresentada na Figura 121.

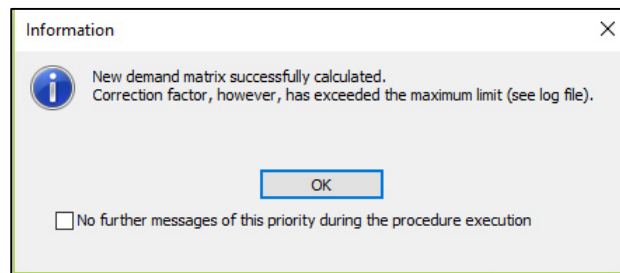


Figura 121 - Janela de Informação

A Figura 122 apresenta um excerto dos resultados da primeira iteração do processo representados sob a forma de lista.

The image shows a screenshot of a software window titled "List (Turns)". The window contains a table with 12 columns and 20 rows of data. The columns are: Jount: 231, FromNodeNo, ViaNodeNo, ToNodeNo, TypeNo, TSysSet, CapPrT, t0PrT, VolVehPrT(AH), VolVehPrT(AP), AddVal1, and GEH. The data represents traffic flow characteristics for various turns in a network.

Jount: 231	FromNodeNo	ViaNodeNo	ToNodeNo	TypeNo	TSysSet	CapPrT	t0PrT	VolVehPrT(AH)	VolVehPrT(AP)	AddVal1	GEH
1	300	89	82	2	C	1800	0min	256004	701	1154	15
2	253	251	250	1	C	1700	0min	183266	502	668	7
3	299	82	81	2	C	1800	0min	168644	462	593	6
4	46	45	385	2	C	1800	0min	125935	345	575	11
5	6	416	1	2	C	1800	0min	82535	226	570	17
6	25	24	255	1	C	1700	0min	147839	405	538	6
7	84	85	105	2	C	1800	0min	133433	366	535	8
8	23	24	25	1	C	1700	0min	224046	614	515	4
9	21	22	23	1	C	1700	0min	223083	611	513	4
10	292	252	254	2	C	1800	0min	204624	561	506	2
11	350	414	160	1	C	1800	0min	145294	398	490	4
12	46	45	60	1	C	1700	0min	152126	417	468	2
13	256	22	21	2	C	1800	0min	99109	272	456	10
14	250	251	252	1	C	1700	0min	64645	177	413	14
15	140	412	1	2	C	1800	0min	90062	247	410	9
16	385	45	46	2	C	1800	0min	127940	351	391	2
17	24	255	256	3	C	1600	0min	118178	324	384	3
18	394	36	432	2	C	1700	0min	166477	456	363	5
19	95	394	32	1	C	1800	0min	98623	270	362	5
20	385	45	60	3	C	1600	0min	101426	278	361	5

Figura 122 - Valores da Primeira iteração, Excerto

Após o processo de afetação, a rede encontra-se afetada com tráfego, como se pode verificar na Figura 123, através da representação da função *Flow Bundles* apresentada no ponto 3.7.2.1 do capítulo 3. Com base na lista sabe-se quais os valores de GEH críticos. Mas para se encontrar quais as viragens ativas a calibrar, recorre-se à função *Search* e seleciona-se a opção *Turns* (Figura 124). Para ativar esta função recorre-se ao menu *Network edit* e seleciona-se a tecla F3.

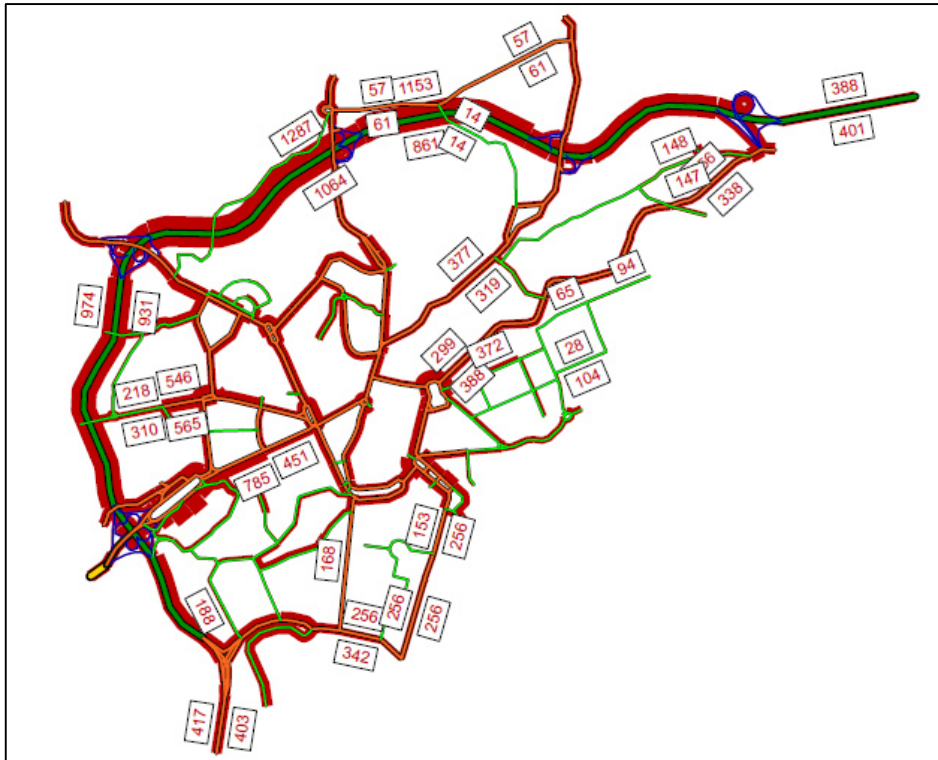


Figura 123 - Afetação do tráfego da 1ª iteração - Flow Bundles

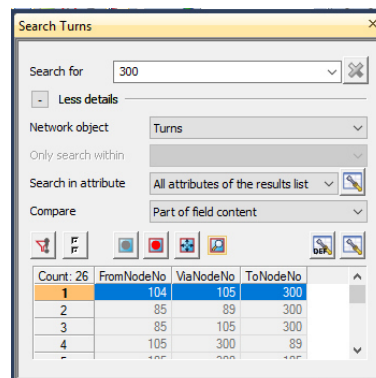


Figura 124 - Janela Search das viragens

De seguida coloca-se a codificação das viragens, presente na segunda coluna da lista das viragens, selecciona-se a viragens e o software encarrega-se de mostrar a viragem pretendida, como mostra o exemplo da Figura 125.

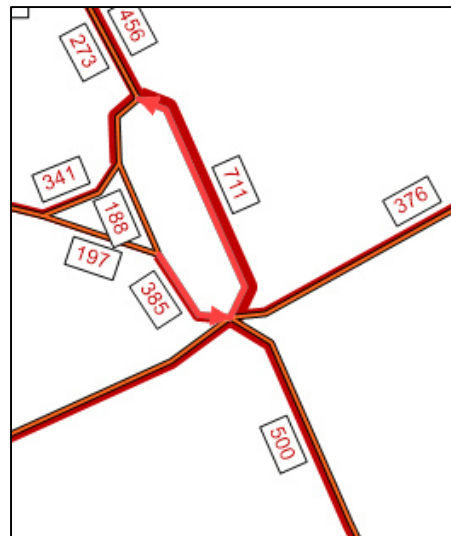


Figura 125 - Posto de contagem 2, movimento 4

Os valores onde se obteve os valores GEH mais críticos para esta iteração foram os movimentos:

- Posto 6, movimento 3 com GEH=15;
- Posto 7, movimento 4 com GEH=11;
- Posto 4, movimento 11 com GEH=17;
- Posto 5, movimento 11 com GEH=14;
- Posto 4, movimento 12 com GEH=11;
- Posto 2, movimento 5 com GEH=11;

Para esta primeira iteração e seguindo os critérios descritos no ponto 3.7.3 do capítulo 3, obteve-se os resultados da Tabela 12, em função do número de contagens.

Tabela 12 - Resultados GEH, primeira iteração

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	37	56.9%
5<GEH<10	22	33.9%
GEH>10	6	9.2%

4.4.2. 2ª Iteração

Para esta segunda iteração voltou-se a executar o processo, havendo uma mudança em todos os parâmetros GEH. Obtendo-se apenas uma viragem crítica:

- Posto 4, movimento 11 com GEH=16

Durante esta iteração todos os GEH convergiram, verificando-se apenas um GEH crítico.

De forma a voltar a calibrar modelo, voltou a executar-se novamente o processo de cálculo. Obtendo-se os resultados da Tabela 13, resultados esses em função do número de contagens.

Tabela 13 - Resultado GEH, segunda iteração

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	41	63,1%
5<GEH<10	23	35,4%
GEH>10	1	1,5%

4.4.3. 7ª Iteração

O processo foi executado várias vezes até a matriz OD convergir, verificando-se que à 7ª iteração, os valores da matriz OD e os valores modelados se mantinham inalterados em relação à iteração anterior. Nesta iteração obtiveram-se apenas uma viragem com GEH crítico:

- Posto 4, movimento 10 com GEH=17.

Em relação ao número de contagens, verifica-se os resultados da Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados GEH, sétima iteração

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	60	92,3%
5<GEH<10	4	6,2%
GEH>10	1	1,5%

Verificou-se que houve uma mudança na afetação do modelo, pois a viragem crítica é diferente das duas primeiras iterações. Estes GEH's elevados devem-se ao facto de não ter sido afetado tráfego a esta viragem, quando deveriam ser afetados aproximadamente 142 u.v.e./h. É de salientar que o GEH desta viragem começou a ser crítico a partir da 3ª iteração, mas como se verificou um constante ajuste da matriz OD, optou-se pela contínua execução do processo, até esta não poder convergir mais.

4.4.4. 8ª Iteração

Visto já ter ocorrido a convergência total da matriz OD com a rede inicial (cenário base), partiu-se para a alteração da rede. Esta alteração teve com objetivo diminuir o parâmetro GEH da viragem da iteração anterior. As alterações efetuadas consistiram num aumento do atraso médio de algumas viragens, de forma que se conseguir-se um aumento do tráfego modelado naquela viragem.

A viragem em causa (Posto 4, movimento 10 com GEH=17) sucede a um arco que tem ligação ao conector da zona 14, como se pode ver na Figura 64. A atribuição dos atrasos, baseou-se numa análise prévia da área envolvente desta viragem, através da avaliação do caminho mais rápido das diversas zonas para a zona 14. Para isso utilizou-se a ferramenta “Caminho mais rápido” no PTV Visum 15, já caracterizada no ponto 3.7.2.3 do capítulo 3. Para aceder a esta ferramenta recorre-se ao menu *Graphics*, opção *Shortest path search* (Figura 126).

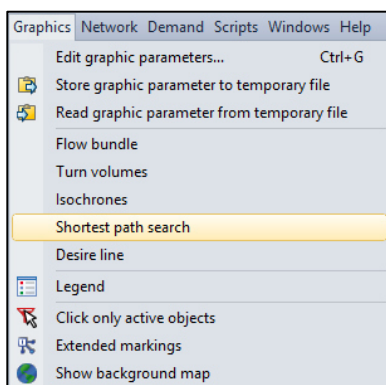


Figura 126 - Menu Graphics, opção Shortest path search

Aberta a janela *Shortest path search*, foi possível procurar o caminho mais rápido entre zonas, com a variável tempo médio de percurso com a rede carregada (t_{Cur}). O exemplo da Figura 127, mostra o caminho mais rápido entre as zonas 11 e 14, verificando-se que o caminho adotado não é o pretendido para a validação das contagens.

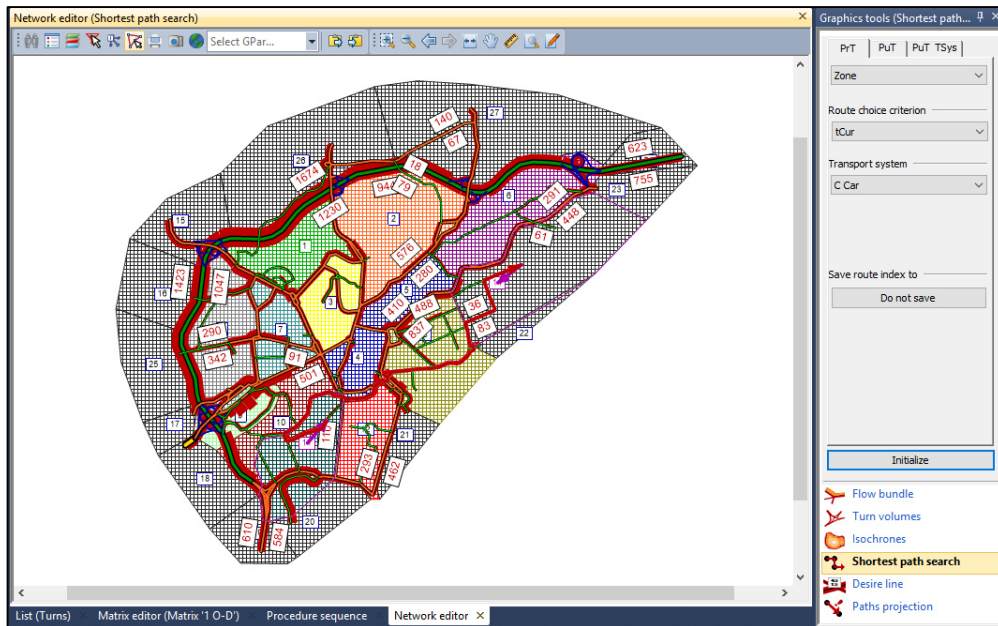


Figura 127 - Caminho mais rápido entre a Zona 11 e a Zona 14

O processo de calibração continua com a atribuição de atrasos nas viragens da rede distribuidora local, de forma a fazer o tráfego circular pela viragem pretendida. Feitas essas alterações, volta-se a executar o processo de cálculo (*Procedure sequence*) e volta-se a analisar o caminho mais rápido, Figura 128.

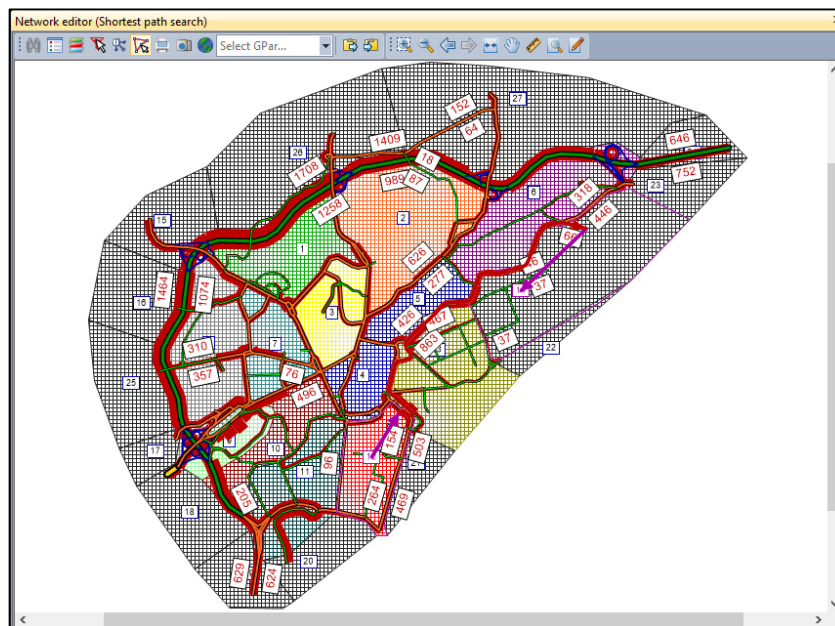


Figura 128 - Caminho mais rápido entre a zona 1 e a zona 14, depois das alterações

Verificou-se que depois da atribuição dos atrasos, houve uma mudança do caminho mais rápido. Os atrasos atribuídos, não foram superiores a 1 minuto, tendo-se aplicado este valor, quando se tratava de tráfego de atravessamento. Após esta mudança verificou-se uma redução do GEH de 17 para 16. Em função do número de viragens verifica-se os resultados da Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados GEH, oitava iteração

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	60	92,3%
5<GEH<10	4	6,2%
GEH>10	1	1,5%

4.4.5. Última Iteração

Continuando a aplicar a metodologia utilizada na iteração 8, conseguiu-se calibrar o modelo de forma que os valores do parâmetro GEH fossem os menores possíveis e cumprissem os critérios descritos no ponto 3.7.3 do capítulo 3. As alterações, foram feitas de forma incremental e iterativa, ou seja, fizeram-se pequenas alterações e executou-se o processo. Até ser obtido este resultado final, foram feitas numerosas iterações, não tendo sido quantificado o seu número, visto que elas foram feitas de forma sequencial e as alterações foram efetuadas no momento da análise. Durante todo o processo de calibração verificou-se que a única viragem que devia convergir era o movimento 10 do posto 4. Após conseguir reduzir o valor de GEH para 10, procedeu-se de forma que este e os restantes valores mais elevados ($GEH > 5$) fossem reduzidos. A certa altura verificou-se que se fossem feitas mais mudanças na rede, os valores de GEH tendiam a aumentar, concluindo-se assim o processo. Nesta iteração obteve-se resultados da Tabela 16 para o GEH.

Tabela 16 - Resultados GEH, última iteração

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	60	92,3%
5<GEH<10	5	7,7%
GEH>10	0	0%

4.4.6. Última Iteração – Hora de Ponta da Tarde

Durante todo o processo de calibração deste período, seguiu-se a metodologia acima descrita, mas devido a dificuldades a calibrar a viragem correspondente ao movimento 12, posto 4, procedeu-se a uma alteração física da rede. A alteração efetuada ocorreu sobre a rede distribuidora local, com a criação de um novo conector da zona 6, isto é, com a criação de um

novo arco que se liga a outro arco onde se verificam as viagens do movimento 12, que por sua vez irá ligar ao conector da zona 4, através do seu nó final (Figura 129). Assim permite-se que as viagens das zonas próximas do centro da cidade tenham um caminho mais rápido para chegarem à zona 4.

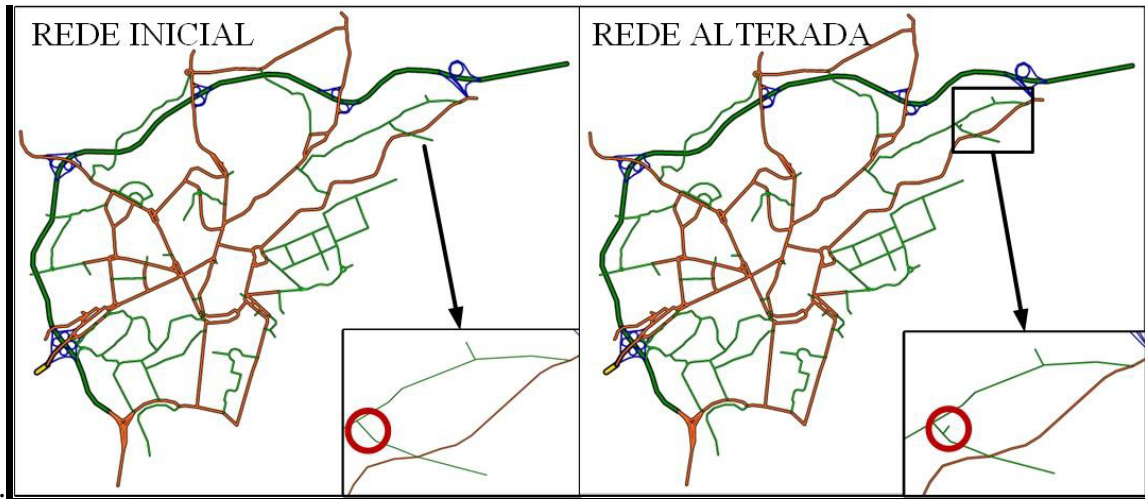


Figura 129 - Alteração efetuada na rede, hora de ponta da tarde

Feita esta alteração, obteve-se os resultados GEH da tabela 17.

Tabela 17 - Resultados GEH - última iteração - hora de ponta da tarde

GEH	Número de viragens	Percentagem
GEH<5	62	95,4%
5<GEH<10	3	4,6%
GEH>10	0	0%

Feita esta verificação em ambos os períodos, parte-se para a verificação das contagens pelos parâmetros descritos no capítulo 3, ponto 3.7.3.

4.4.7. Validação das contagens.

A partir da construção de uma folha de cálculo que permitisse a comparação entre os valores das contagens e os valores modelados partiu-se para a validação das contagens.

Esta validação foi feita recorrendo aos parâmetros descritos no ponto 3.7.3 do capítulo 3, nomeadamente o GEH, o RMSE e o Gráfico de Dispersão.

De modo geral pode-se considerar que os valores obtidos tanto para a hora de ponta da manhã como para a hora de ponta da tarde foram positivos, pois todos os valores respeitam os critérios de validação.

Durante todo o processo o ajuste do modelo de forma a validar os valores modelados com as contagens reais, teve por base alterações que tornassem os valores do GEH nos elementos com contagens o menor possível. Mas durante esse processo de ajuste, que foi feito através da alteração do atraso médio e num caso muito específico com a criação de um arco, sendo esta criação feita na rede distribuidora local, o caso descrito no ponto 4.4.6.

Existem outros fatores que podem condicionar ao ajuste do modelo como é o facto da existência de um escasso número de postos de contagem tendo em conta a área do caso de estudo em análise.

Apesar de todas estas situações, a validação das contagens foi positiva, porém existe uma situação que sofreu uma pequena alteração em relação ao procedimento de contagem e outra que levantou algumas dúvidas. Em relação ao posto de contagem 5, em que os valores das contagens movimentos 4 e 5 e os movimentos 6 e 7 foram somados de forma que o ajuste do modelo fosse efetuado da melhor forma. Para que se somassem estes valores teve-se em conta que os movimentos 4 e 7 se referem a zonas de paragens de autocarros, cuja dimensão é muito reduzida, além de que este estudo se refere apenas ao transporte individual e não ao transporte coletivo, no anexo D pode-se observar que os valores em causa não têm grande influência na modelação. No caso da hora de ponta da manhã, relativamente ao movimento 4 pertencente ao ponto de contagem 4. Isto acontece pelo facto de não existir matriz OD inicial. Mas de forma a não “descalibrar” os outros valores das contagens e tendo em conta que o valor de contagem em causa ser igual a 54 u.v.e./h (GEH=10) e que os valores $GEH > 5$ é igual a 4%, optou-se por concluir assim a fase de ajuste do modelo para a hora de ponta da manhã.

No período da tarde como todos os valores do GEH foram inferiores a 10 e apenas 3% dos valores foram superiores a 5, tendo-se concluído o ajuste do modelo.

É de salientar que se obteve uma relação quase linear entre os valores das contagens e os valores modelados em ambas as situações, em que a reta teve um declive muito próximo de 1 tem R-Square (R^2) muito próximo de 1.

A Tabela 18, mostra um excerto dos valores GEH de todos os movimentos com contagens, para a hora de ponta da manhã, no Anexo C, apresenta-se os resultados completos para ambos os períodos.

Tabela 18 - Excerto da tabela de resultados da comparação entre os valores das contagens e os valores modelados e respetivos GEH - Hora de Ponta Manhã

Tráfego Hora de Ponta Manhã				
Posto	Movimento	Tráfego Contagens (u.v.e./h)	Tráfego Modelado (u.v.e./h)	GEH
1	1	203	250	3
	2	110	110	0
	3	31	31	0
	4	26	26	0
	5	24	24	0
	6	254	240	1
	7	410	426	1
	8	169	280	7
	9	86	86	0
	10	329	330	0

Pela avaliação do parâmetro RMSE, a contagens encontram-se também validadas como demonstram os resultados da Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados RMSE

Período	RMSE	RMSE<30%
H. Ponta da Manhã	14,22%	OK!!!
H. Ponta da Tarde	10,59%	OK!!!

Segundo as Figura 130 e 131, é possível verificar a validação das contagens pelo gráfico de dispersão, que relaciona os valores contados com os modelados. A partir deste gráfico é possível obter o ultimo parâmetro de calibração o R-Square (R^2), que segundo o ponto 3.7.3 do capítulo 3 deve ser $R^2 > 0,9$, tendo-se verificado para os dois períodos em análise.

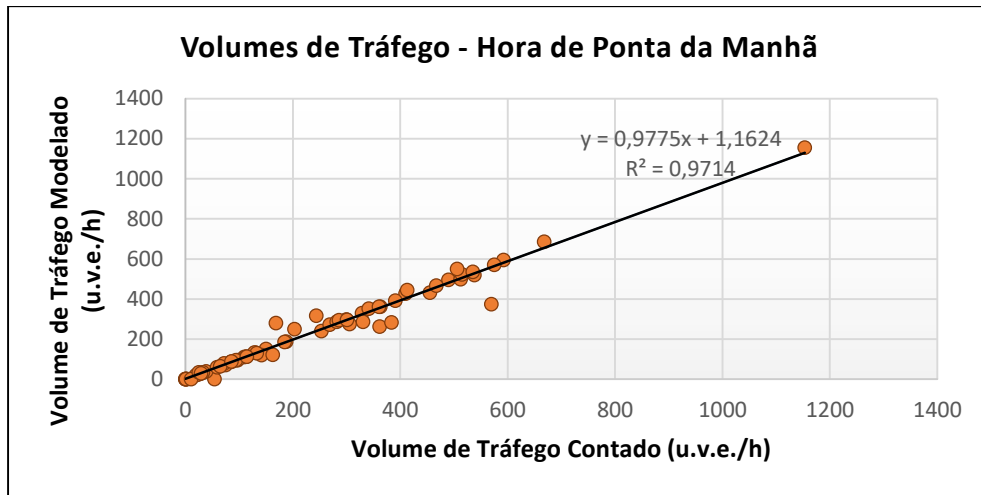


Figura 130 - Gráfico de Dispersão, Hora de Ponta da Manhã

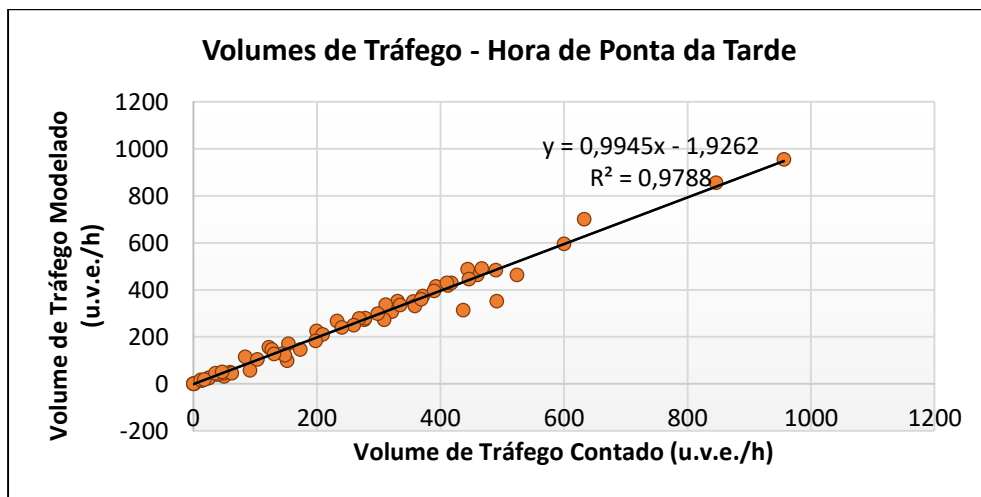


Figura 131 - Gráfico de Dispersão, Hora de Ponta da Tarde

4.5. Matriz OD final

Como foi referido no capítulo 1 um dos principais objetivos desta dissertação é a formação de uma matriz OD a partir dos valores das contagens de tráfego. Isto só foi possível através da aplicação da ferramenta *TFlowFuzzy*.

A matriz OD final foi obtida a partir do ajuste do modelo de forma que os volumes modelados de tráfego das diferentes secções correspondessem aos valores reais. Mas existe um “senão” neste processo, ou seja, devido ao facto de não existir matriz OD inicial, a matriz OD obtida através deste processo não pode ser validada.

Segundo NSW Government (2013), os volumes modelados raramente replicam os volumes contados com precisão, isto é, ao se extrapolar a matriz OD modelada de forma que sejam incluídas todas as viagens, pode-se contribuir para aumentar o nível de imprecisões. Uma vez que o processo de construção de uma nova matriz OD altera a inicial, é importante que estas alterações sejam minimizadas, ou seja, a estimação da nova matriz OD deve realizar o ajuste máximo para toda a matriz e um ajuste mínimo ao nível das células da matriz, pois grandes ajustes podem resultar numa grande perda de ligação entre o processo de modelação e a matriz OD inicial.

As alterações da matriz OD final precisam ser avaliadas comparando-a com a matriz OD inicial. Para a verificação da matriz OD final o NSW Government (2013) sugere:

- Analisar as diferenças entre os destinos de ambas as matrizes OD;
- Analisar as diferenças entre as afetações de tráfego feitas para ambas as matrizes OD;
- Verificar a dispersão de valores das viagens entre zonas das matrizes OD inicial e final (o declive da linha de regressão linear deve variar $\pm 2\%$ em relação a 1 e o coeficiente de correlação deve ser maior do que 0,90 – 0,95);
- Verificar a dispersão das origens e destinos das viagens para ambas as matrizes (o declive da linha de regressão linear deve variar $\pm 1\%$ em relação a 1 e o coeficiente de regressão linear deve superior a 0,95);
- O desvio-padrão da distribuição de viagens não deve ser maior que 5%.

Como não se pode fazer estas verificações, devido à não existência da matriz OD inicial, a validação da matriz OD final não pode ser efetuada.

É de salientar que em algumas zonas os valores obtidos através da modelação não correspondem à realidade, pois algumas zonas menos procuradas, tem um fluxo de tráfego de entrada e saída muito elevado e outras um valor praticamente nulo. Deste modo, tendo como base o conhecimento da zona de estudo é possível concluir que os valores obtidos não correspondem à realidade.

A Tabela 20, apresenta um excerto da matriz OD final, para a hora de ponta da manhã, encontrando-se no Anexo D, a totalidade da matriz OD referente a este período, assim como a matriz OD referente à hora de ponta da tarde.

Tabela 20 - Matriz OD Final - Hora de ponta da Manhã (u.v.e./h)

Matriz OD Final – Hora de Ponta da Manhã											
Zona		1	2	3	4	5	6	7	8	...	27
	Sum.	903	474	470	303	398	855	394	366		348
1	237	0	44	18	3	18	0	6	25		4
2	293	17	0	17	17	18	0	6	12		18
3	147	9	6	0	18	18	0	8	13		6
4	353	16	6	18	0	18	0	11	11		18
5	234	9	6	18	18	0	0	3	5		18
6	469	42	10	15	16	16	0	3	11		10
7	176	4	10	4	0	0	0	0	18		11
8	366	18	44	18	4	4	0	18	0		5
...										0	348
27	593	82	18	18	18	18	0	6	19	593	0

4.6. Apresentação de resultados

Concluídas todas as fases decorrentes do desenho da rede do estudo de caso, do processo de calibração do modelo em função da validação dos valores das contagens, de forma a chegar-se à matriz OD final para cada um dos períodos em análise, passa-se então para a apresentação de resultados. A figura 132, apresenta a localização dos pontos mais críticos, descrevendo-se de seguida o que acontece em cada um deles.

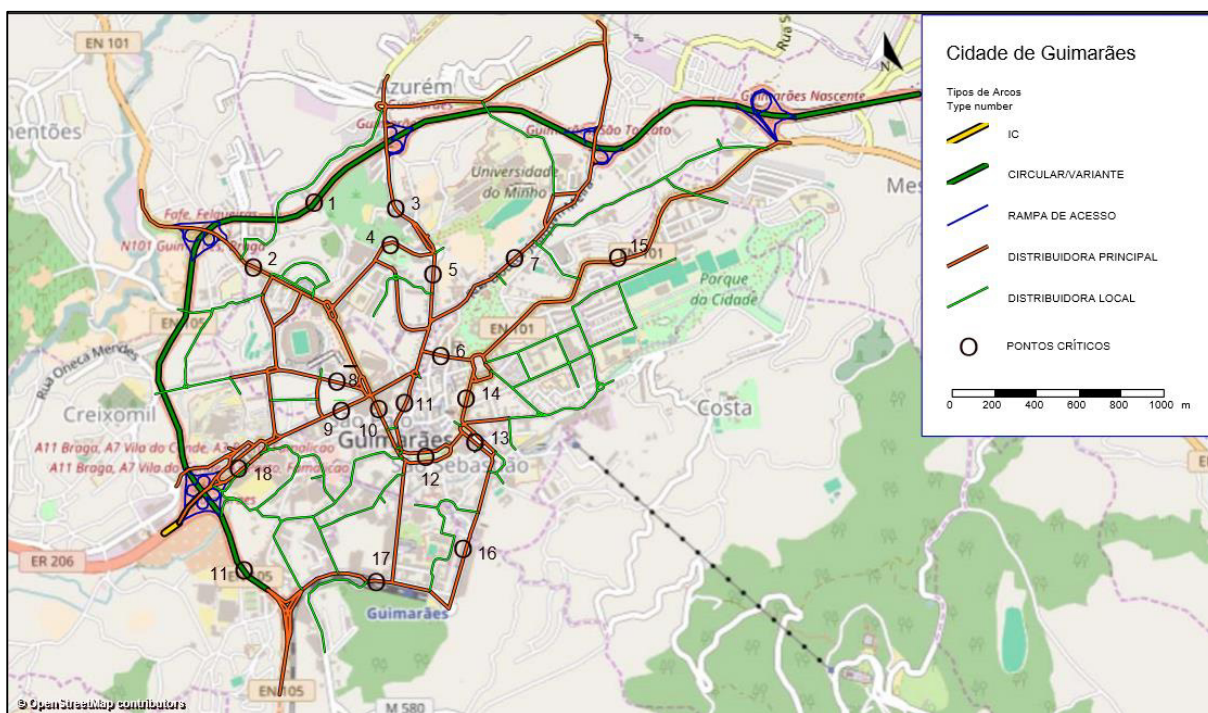


Figura 132 - Pontos Críticos

Em que:

- | | |
|--|---|
| 1- Variante – EN 101 (Guimarães – Fafe); | 10- Rua Paio Galvão; |
| 2- EN 101 (Braga – Guimarães); | 11- Rua de Santo António; |
| 3- Avenida da Universidade; | 12- Alameda de São Dâmaso; |
| 4- Rua Cónego Dr. Manuel Faria; | 13- Largo da República do Brasil; |
| 5- Rua Capitão Alfredo Guimarães; | 14- Avenida Alberto Sampaio; |
| 6- Largo Martins Sarmiento; | 15- Rua Padre António Caldas; |
| 7- Rua de São Torcato; | 16- Avenida D. João IV; |
| 8- Rua de São Gonçalo; | 17- Rua Eduardo Manuel José de Almeida; |
| 9- Avenida Conde de Margaride; | 18- Alameda Dr. Mariano Felgueiras; |

Na presente secção serão apresentados os resultados, sobretudo assentes na produção de mapas. Assim, serão apresentados os resultados das variáveis, volume de tráfego, rácios volume/capacidade, atraso médio e acessibilidade em pontos de grande importância na Cidade de Guimarães.

Nas Figuras 133 e 134 são apresentados os volumes de tráfego na hora de ponta da manhã e na hora de ponta da tarde nas várias ruas da rede modelada, sendo possível analisar como este é distribuído por toda a rede, nomeadamente através da identificação dos arcos mais carregados da rede viária em análise. O período que apresenta maiores volumes de tráfego é o período da hora de ponta da manhã. Neste período a via que apresenta maiores volumes de tráfego é a Variante – EN 101 (Guimarães – Fafe), sendo isto previsível, face às características da via. Existem neste período outras vias com elevados volumes de tráfego, como é o caso da EN 101 (Braga – Guimarães), Rua Padre António Caldas, Rua Cónego Dr. Manuel Faria, Rua Capitão Alfredo Guimarães, Avenida da Universidade, Alameda de São Dâmaso, Rua Paio Galvão, Rua de Santo António e todo o Largo da República do Brasil.

No período da hora de ponta da tarde apesar de menores volumes de tráfego, existem mudanças na sua distribuição na rede, sendo que as ruas que apresentam maiores volumes de tráfego são, a Variante – EN 101 (Guimarães – Fafe), a Avenida de Universidade, a Rua Padre António Caldas, a Avenida D. João IV, a Rua Eduardo Manuel José de Almeida, a Rua Paio Galvão, a Avenida Conde de Margaride, a Rua S. Torcato, a Avenida Alberto Sampaio, a Rua de São Gonçalo, a Rua Cónego Manuel Faria e a Rua Capitão Alfredo Guimarães. Esta apresentação gráfica pode ser visualizada de melhor forma no Anexo E.

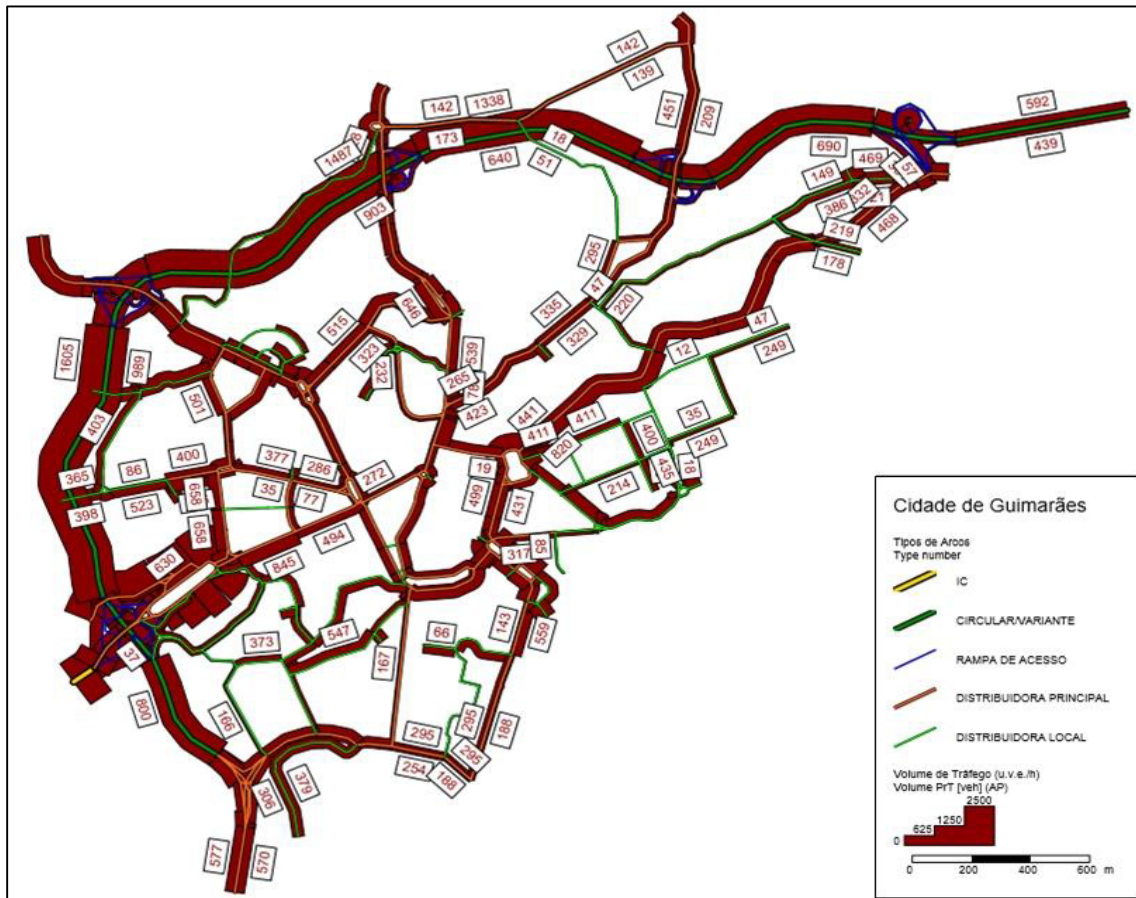


Figura 133 - Volumes de tráfego na hora de ponta da manhã

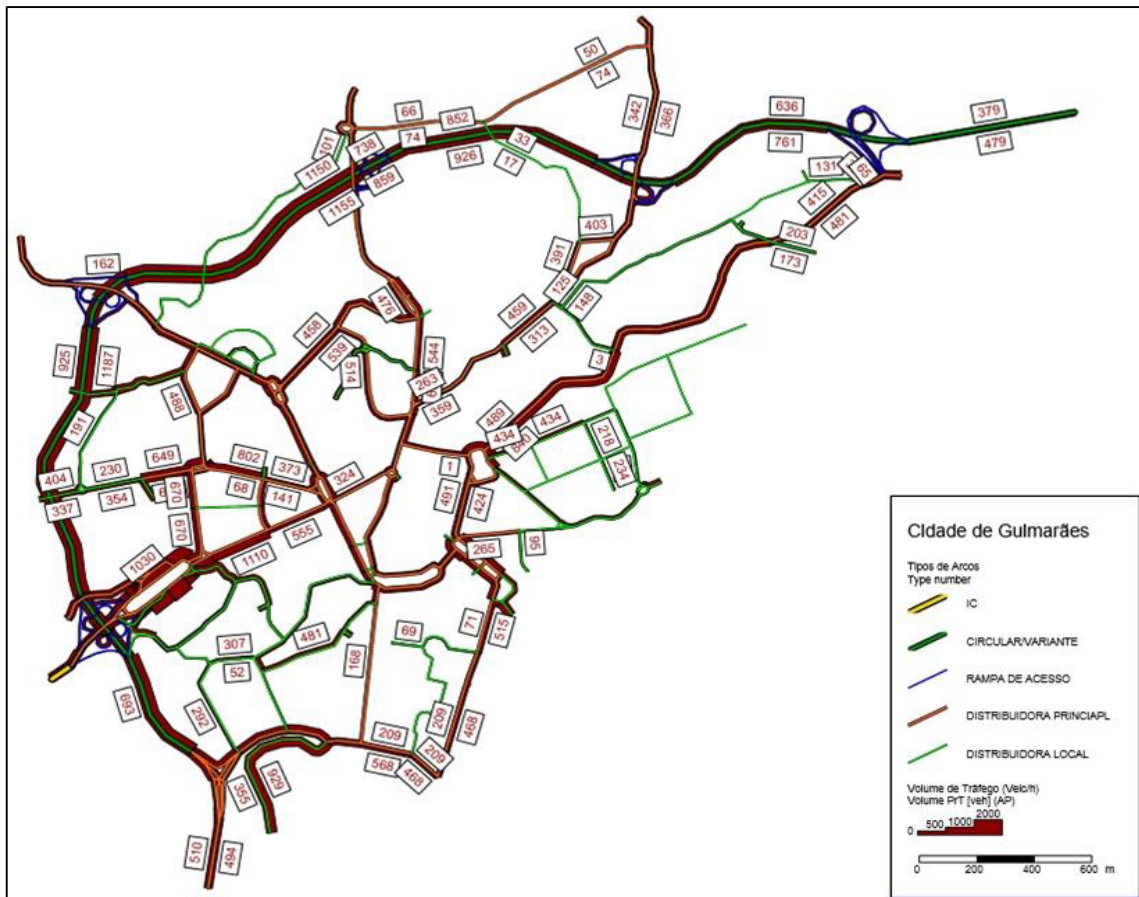


Figura 134 - Volumes de tráfego na hora de ponta da tarde

As Figuras 135 e 136 apresentam os mapas da rede com os rácios volume/capacidade para as vias da rede modelada, permitindo analisar se estas apresentam boas condições de circulação do tráfego ou se, por outro lado, se encontram saturadas. É de observar que na rede em estudo, na rede distribuidora principal, grande parte das suas estradas encontram-se completamente saturadas, sendo estas, a Rua Padre António Caldas, a Alameda Dr. Mariano Felgueiras, a Alameda de São Dâmaso, a Rua Cónego Dr. Manuel Faria e EN 101 (Braga – Guimarães) no período da hora de ponta da manhã e a Rua Padre António Caldas, Rua Eduardo Manuel José de Almeida, EN 101 (Braga – Guimarães) e Rua de São Gonçalo no período da hora de ponta da tarde.

Existem outras ruas que se encontram com um rácio muito elevado (entre 75% e 100%), sendo estas, a Rua de Santo António, a Avenida da Universidade, a Rua Eduardo Manuel José de Almeida, Avenida Alberto Sampaio, Rua Capitão Alfredo Guimarães e o Largo Martins Sarmento no período da Hora de Ponta da manhã e a as ruas, a alameda São Dâmaso, a Avenida

D. João IV, a Avenida Alberto Sampaio, a Rua São Torcato e a Rua Capitão Alfredo Guimarães para o período da hora de ponta da tarde. O período onde se verifica maiores rácios volume/capacidade é na hora de ponta da manhã. É de salientar, que não se está a analisar a rede distribuidora local, visto que é esta que estabelece a ligação às várias zonas (conectores), onde os seus valores não correspondem à realidade, pois em alguns casos os valores são muito elevados, uma vez que correspondem a geradores ou sumidouros de veículos. Os rácios volume/capacidade do modelo são apresentados com maior detalhe no Anexo F.

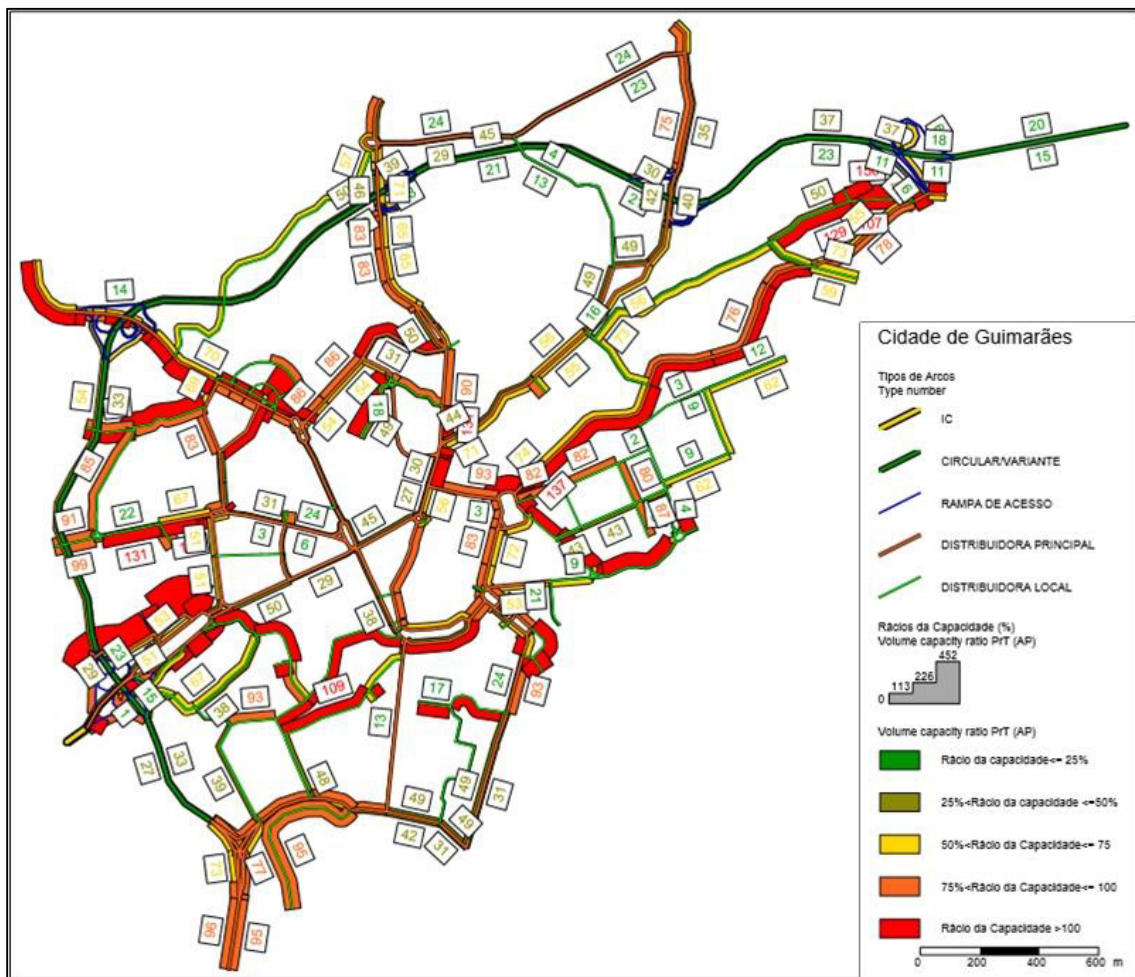


Figura 135 - Rácio volume/capacidade na hora de ponta da manhã

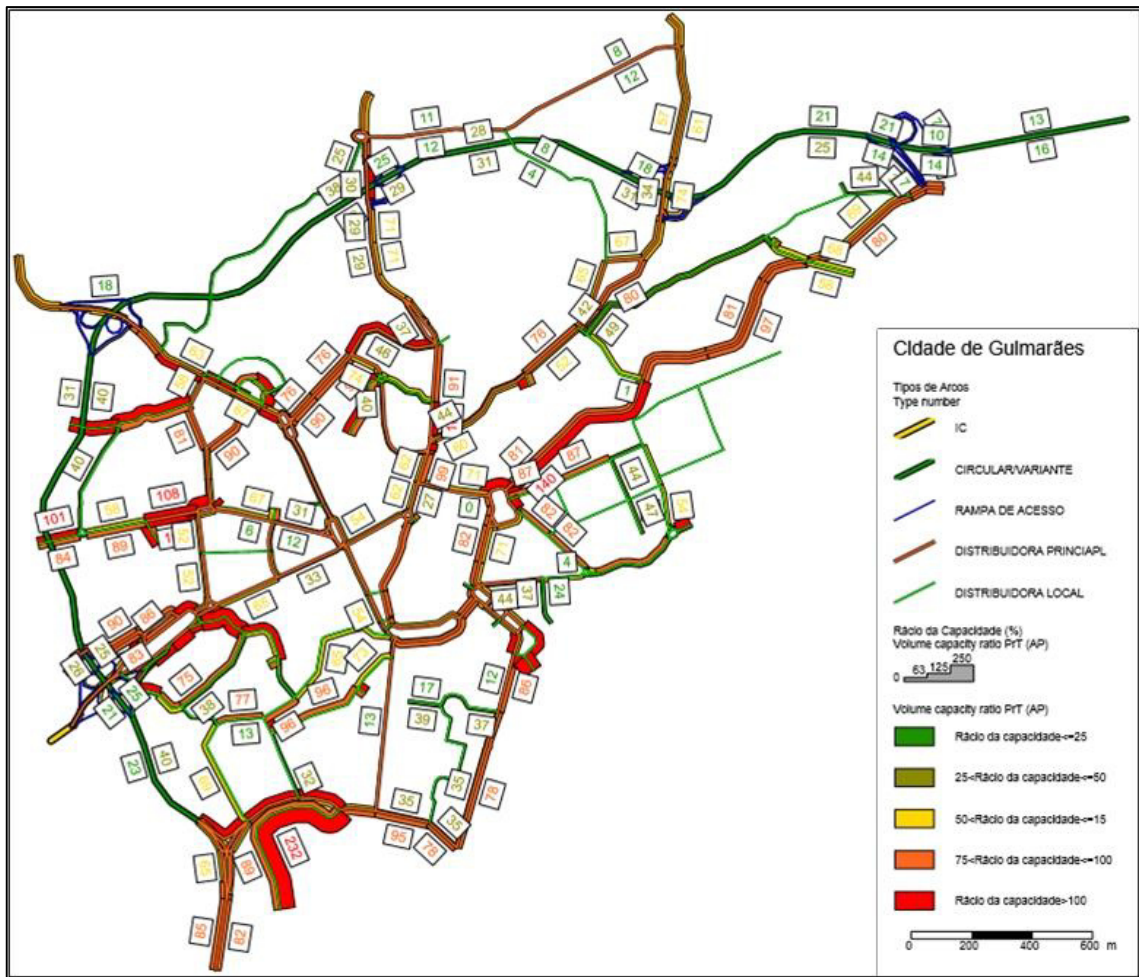


Figura 136 - Rácios volume/capacidade na hora de ponta da tarde

Já nas Figuras 137 e 138 é possível observar e analisar os valores referentes aos atrasos médios (em segundos (sec.)), ou seja, o tempo médio perdido por um veículo nos vários arcos da rede, que resulta da diferença dos valores do tempo de médio de viagem com a rede afetada e o tempo médio de viagem em regime livre. Permitindo saber em que ruas o atraso é maior. O período que apresenta maiores atrasos na rede distribuidora principal é o período de ponta da manhã, mas em ambos os períodos as ruas que apresentam maiores atrasos são, a Rua Padre António Caldas e a Rua Cónego Dr. Manuel Faria. Os dados referentes aos atrasos médios podem ser visualizados com maior rigor no Anexo G.

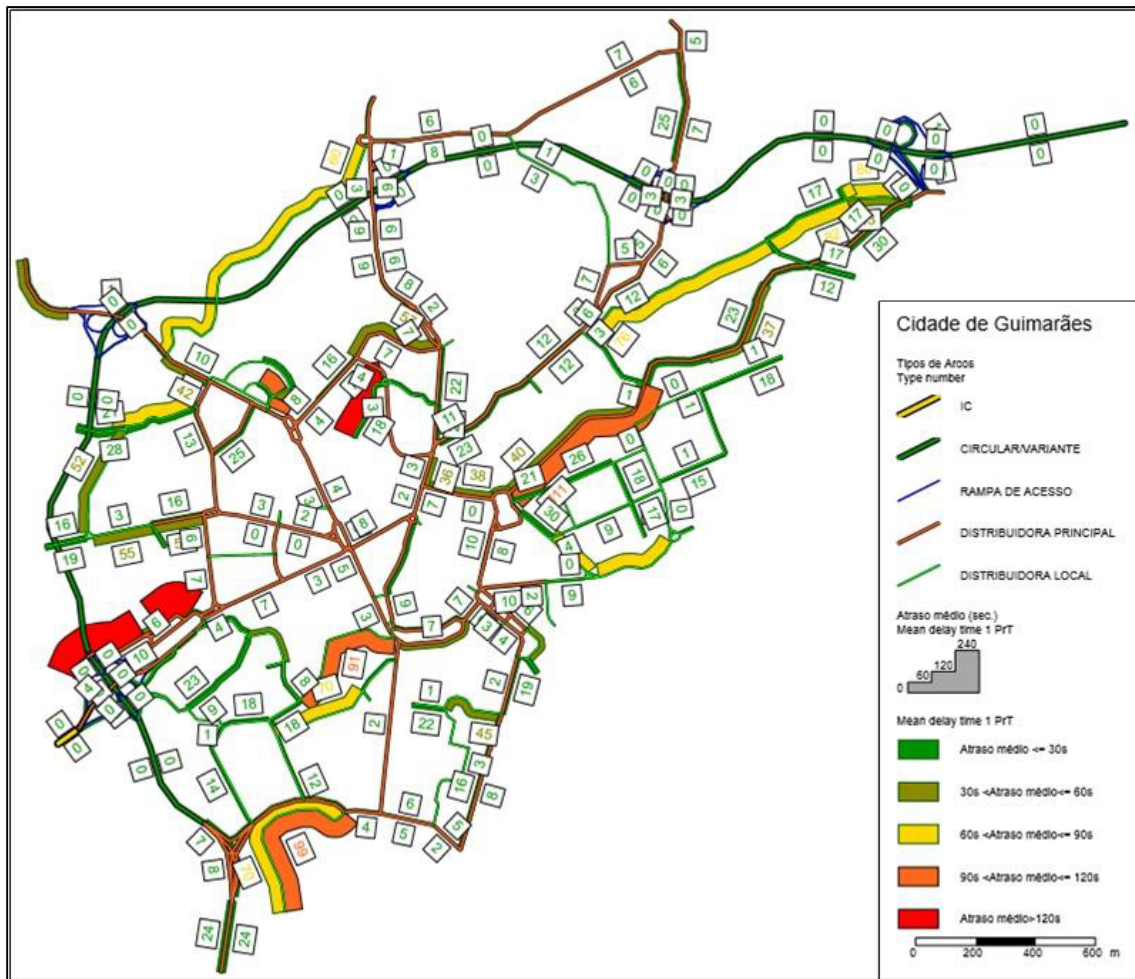


Figura 137 - Atrasos médios para a hora de ponta da manhã

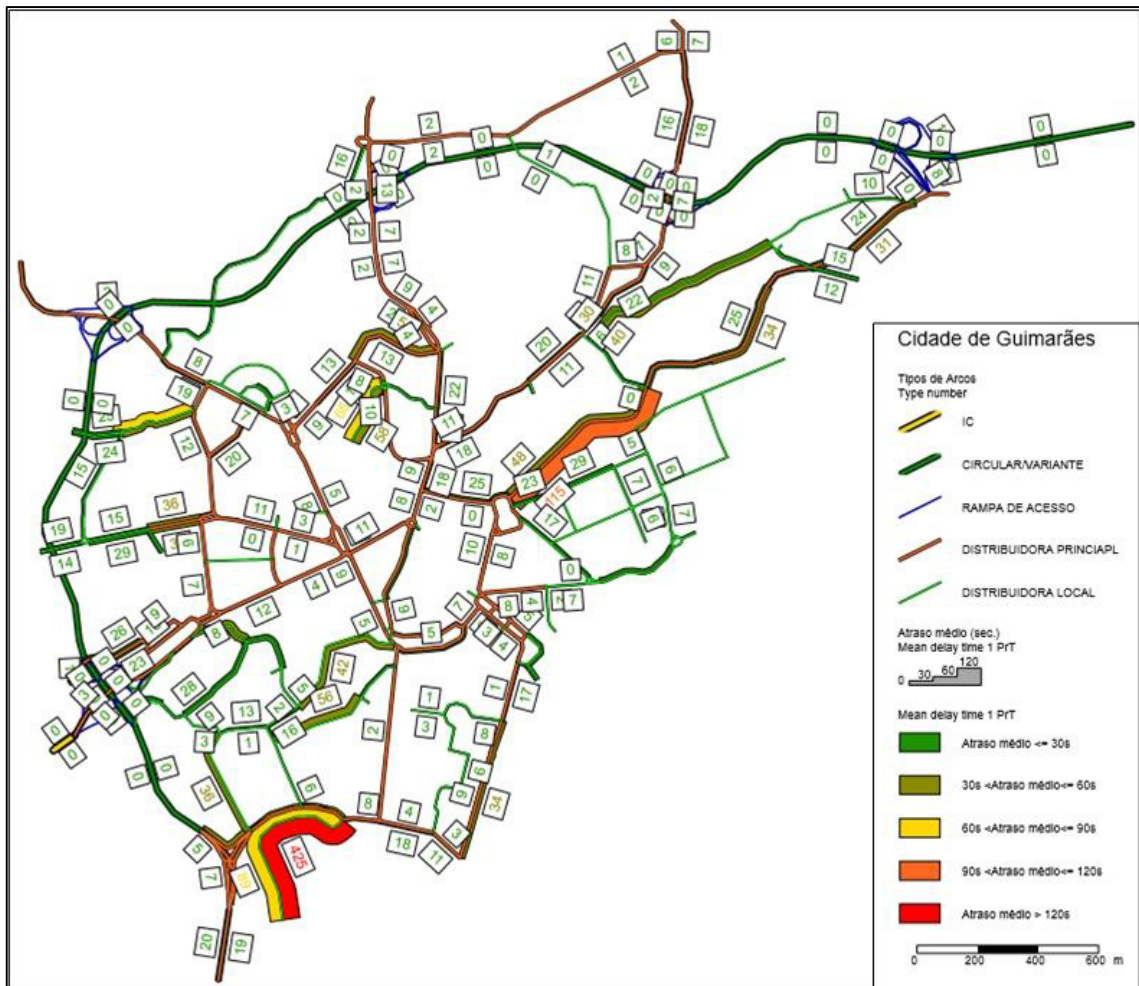


Figura 138 - Atrasos médios na hora de ponta da tarde

As Figuras 139 e 140, mostram uma análise de acessibilidade em quatro pontos de grande interesse da cidade, o Hospital da Senhora da Oliveira, a Universidade do Minho – Campus de Azurém, a Estação de Camionagem e a Estação de Caminhos de Ferro respetivamente. A partir desta observação é possível observar o tempo de viagem de cada um destes pontos para os outros pontos da rede. O período que apresenta maiores problemas de acessibilidade é o período na manhã, isto vai em conta às análises já realizadas anteriormente, em que se depara com maiores volumes de tráfego, rácios da capacidade e atrasos médio, sendo que neste período a dificuldade de circulação seja maior, consequentemente para uma pior acessibilidade. E o ponto que apresenta moires valores da acessibilidade é a Estação de Caminhos de Ferro.

O ponto do Hospital da Senhora da Oliveira, é o ponto que apresenta melhores resultados de acessibilidade, sendo que a zona com pior acessibilidade são os arcos a amarelo (entre 9 e 12

min.), que neste ponto correspondem à zona onde se encontram os complexos do Vitória de Guimarães.

No ponto correspondem à Universidade do Minho – campus de Azurém, apresenta piores valores de acessibilidade (cor amarela) para a zona envolvente do Guimarães shopping e a zona do parque da cidade.

O ponto da Estação de Camionagem, como nos dois pontos anteriores a zona com pior acessibilidade é a zona do parque da cidade.

O ponto Estação de Caminhos de Ferro apresenta valores mais elevados para a acessibilidade. Neste ponto existe uma má acessibilidade para zona de Fafe e Mesão Frio pela Rua Padre António Caldas, para a zona de S. Torcato pela Rua de São Torcato, para a zona do parque da cidade e para a zona envolvente do Estádio D. Afonso Henriques e Hospital da Senhora da Oliveira.

O primeiro ponto apresenta boa acessibilidade para os outros pontos analisados, assim como o ponto Estação de Camionagem. O ponto Universidade do Minho e o ponto da Estação de Caminhos de Ferro apresentam uma má acessibilidade para o primeiro ponto, isto deve ao facto de existir congestionamento na Alameda Dr. Mariano Felgueiras, que faz ligação direta a este. No Anexo H são apresentadas as acessibilidades dos pontos da rede com maior rigor.

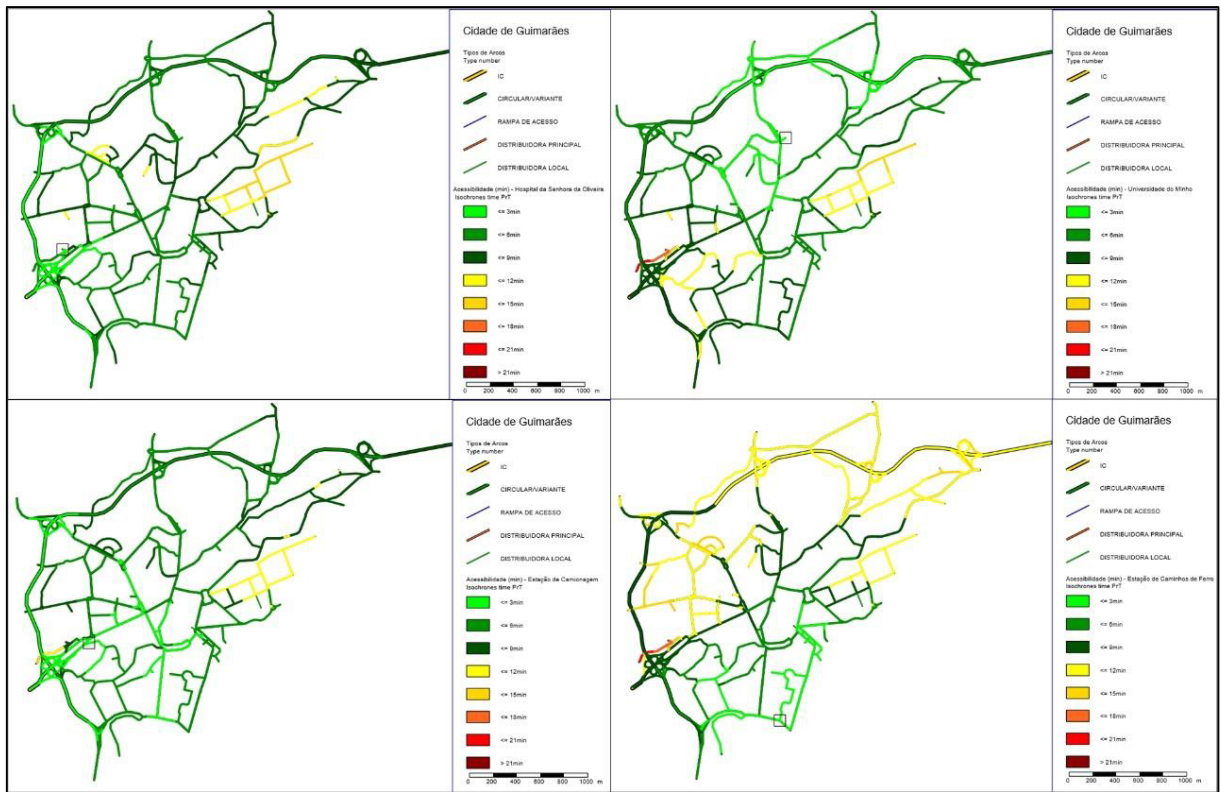


Figura 139 - Acessibilidade para a hora de ponta da manhã

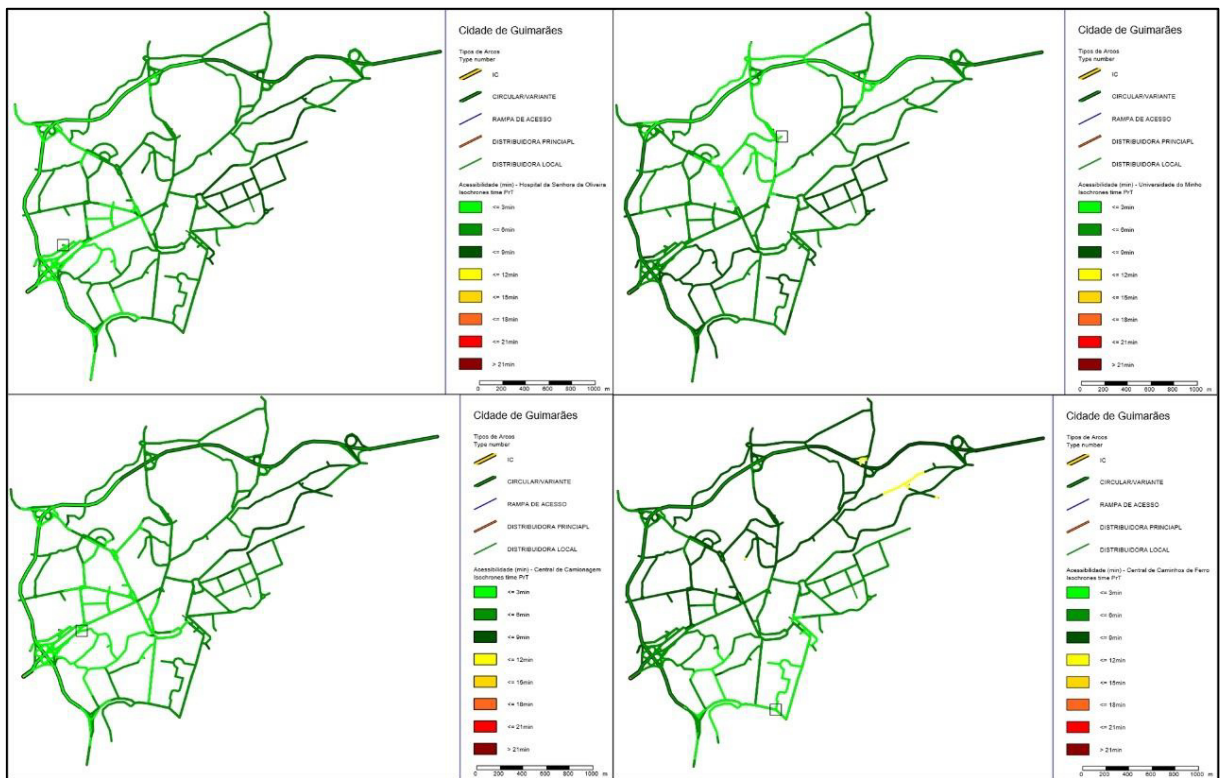


Figura 140 - Acessibilidade na hora de ponta da tarde

Com base nos resultados do modelo e o conhecimento da zona do estudo, pode-se concluir que o modelo se conjuga bem à realidade. No entanto, como não existe uma matriz OD inicial para comparação e não foi possível validar o modelo por falta de informação de contagens na rede, não é possível ter uma conclusão quanto à fiabilidade do modelo.

4.7. Análise de possíveis futuras intervenções na rede viária da cidade de Guimarães – formação de cenários

Uma vez terminada a fase de calibração do modelo foi possível criar uma matriz OD. Esta matriz permitiu realizar o estudo de cenários de evolução de tráfego e de alterações na infraestrutura que poderiam ser aplicados futuramente na cidade de Guimarães de forma a melhorar análise ou impacto na circulação sendo esta pedonal ou motorizada. Esta análise baseia-se unicamente na avaliação do desempenho das vias em relação ao escoamento de tráfego, não tendo sido realizada uma abordagem económica com a avaliação de custos apoiadas em cada cenário.

De seguida são apresentados os três cenários que foram estudados com base na matriz OD obtida para cada hora de ponta.

4.7.1. Cenário 1

O cenário 1 consiste em criar pela criação de uma ligação entre a zona onde se situa Estação de Caminhos de Ferro de Guimarães e a zona onde se situa a Freguesia Mesão Frio, Guimarães, ou seja, a ligação entre a entrada sul na cidade, de Vizela para a entrada norte de Fafe.

4.7.1.1. Intervenções

A realização desta nova ligação é estabelecida com recurso a duas rotundas, cada uma situada nas duas zonas de ligação, Figura 141. Assim, previu-se a colocação da primeira rotunda localizada na zona onde se situam a Estação de Caminhos-de-ferro, mais concretamente na Avenida D. João IV e a segunda rotunda numa área adjacente a uma já existente na zona de Mesão Frio, que faz a ligação entre três estradas, sendo estas a rua N. Sra. da Penha, A EN 101 (ligação Guimarães – Fafe) e a EN 101 (ligação a Mesão Frio). Esta segunda rotunda seria então construída na EN 101 ligação a Mesão Frio.

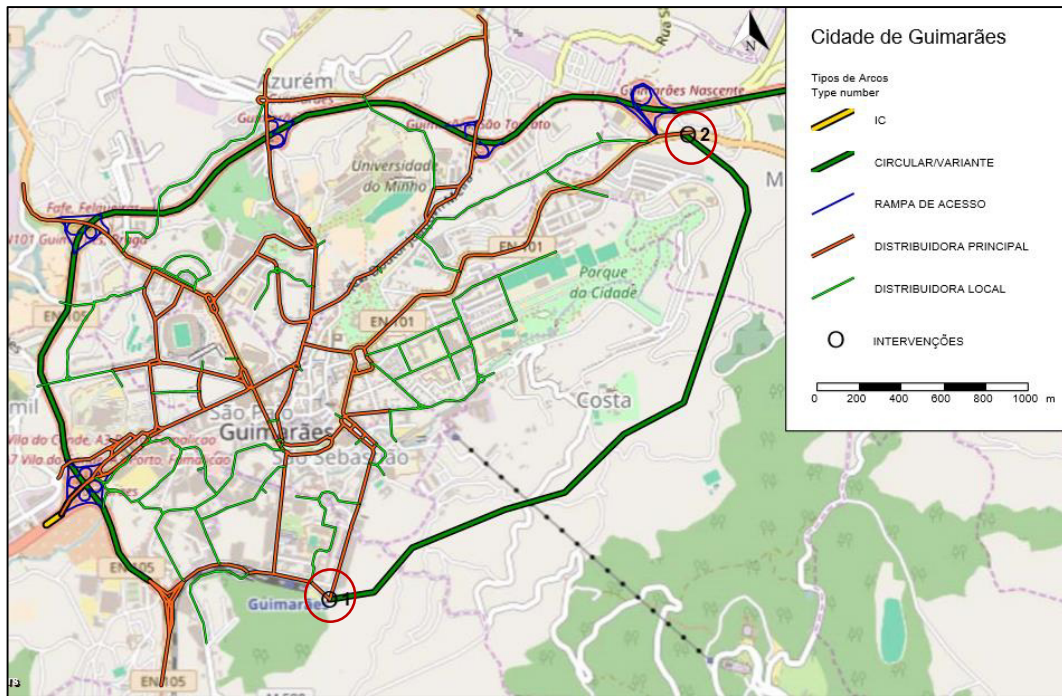


Figura 141 - Rede do Cenário 1

As figuras 142, 143 e 144, ilustram a localização e intervenção no primeiro ponto, sendo este localizado na zona da Estação de Caminhos-de-ferro, na rotunda inserida na Avenida D. João IV, ao qual será adicionado um ramo referente à da nova ligação.



Figura 142 - Local da Primeira Ligação - Fotografia Aérea (GoogleMaps, 2016)

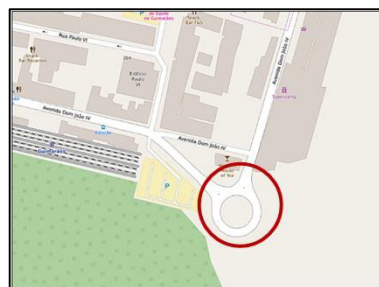


Figura 143 - Local da Primeira Ligação (OpenStreetMaps, 2016)

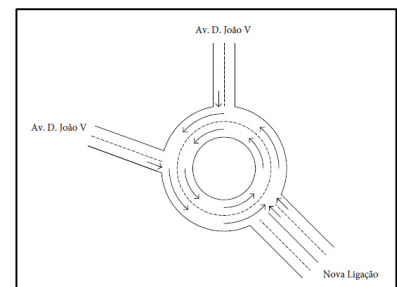


Figura 144 - Exemplo de Alteração da Primeira Ligação

As figuras 145, 146 e 147, ilustram a localização e intervenções feitas no segundo ponto de ligação, sendo este localizado na zona de Mesão Frio, mais concretamente na EN 101. No

segundo ponto previu-se a construção de uma nova rotunda, visto que nas proximidades da rotunda já existente, existe um aglomerado residencial. A opção por esta alteração está sobretudo relacionada com os elevados volumes de tráfego associados a uma via que será o conector de uma via distribuidora principal. Assim, em termos simplistas, assume-se que o estabelecimento cruzamento entre uma via distribuidora principal e uma Coletora.



Figura 145 - Local da segunda Ligação -
Fotografia Aérea (GoogleMaps, 2016)



Figura 146 - Local da segunda Ligação
(OpenStreetMaps, 2016)

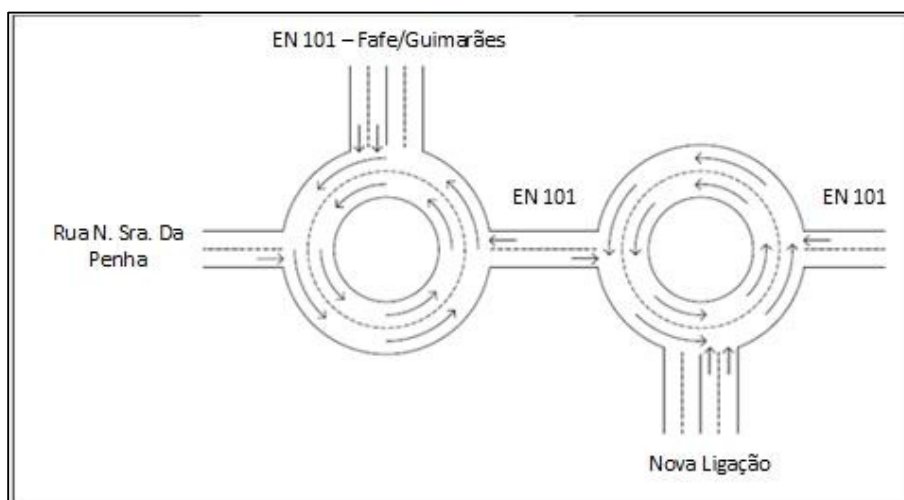


Figura 147 - Exemplo de Alteração da segunda Ligação

Com esta nova ligação pretende-se que os utentes possam atravessar a cidade segundo a orientação norte- sul, isso é, tencionem viajar de Vizela para Mesão Frio, Fafe ou Guimarães e vice-versa mais rapidamente. Deste modo, é oferecida uma ligação alternativa ao centro da cidade e Variante – EN 101 (ligação Guimarães – Fafe), devendo esta via garantir as condições necessárias para uma boa circulação como distribuidora principal/coletora. Esta nova ligação

permitirá, também, que os utentes que residem na variante oriental da cidade tenham uma alternativa a sair mais rapidamente desta.

4.7.1.2. Apresentação gráfica dos resultados

As Figuras 148 e 149, apresentam os volumes de tráfego para a hora de ponta da manhã e da tarde no cenário 1, sendo possível observar que na ponta da manhã a rede encontra-se mais carregada, e existe uma melhor distribuição do tráfego em comparação ao cenário base. No Anexo I são apresentados os volumes de tráfego do cenário 1 com mais detalhe.

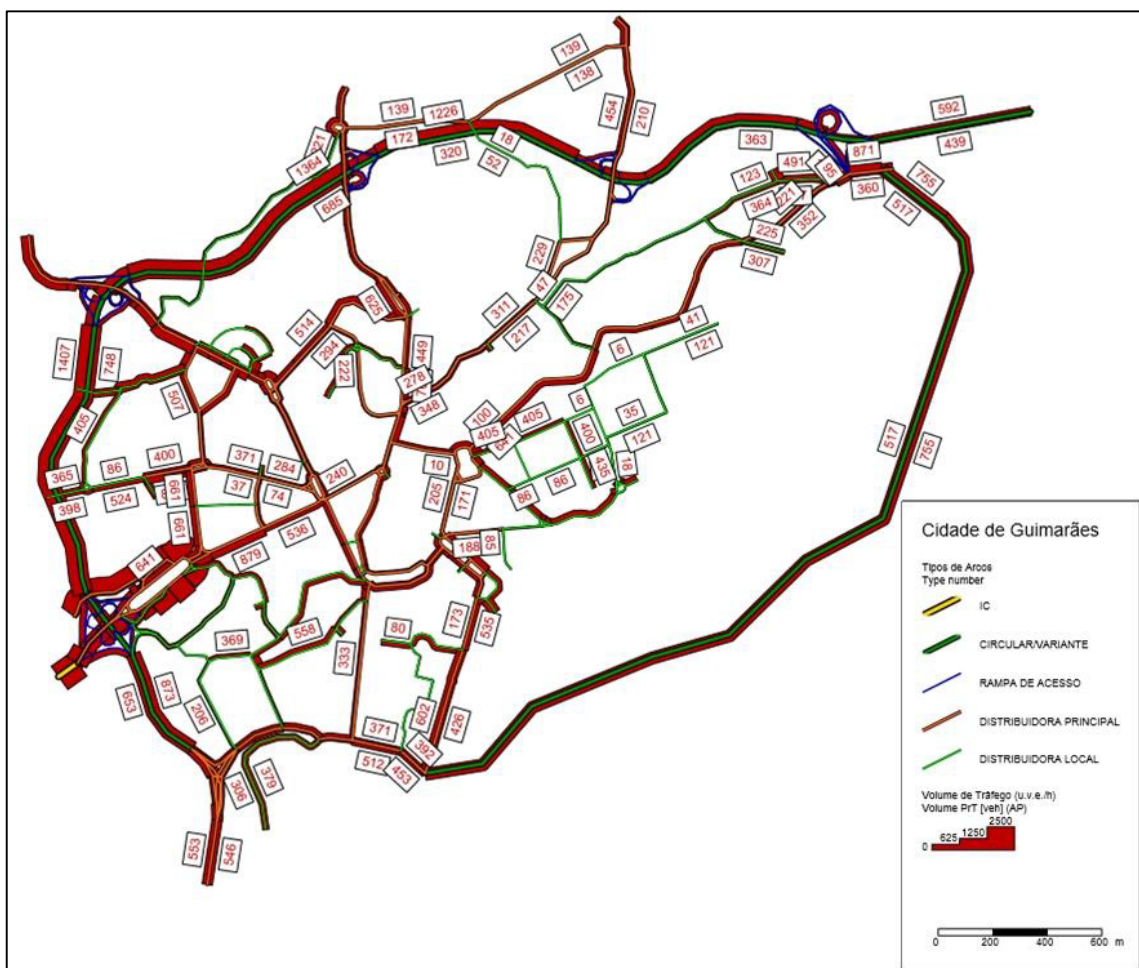


Figura 148 - Volumes de tráfego no cenário 1 na hora de ponta da manhã

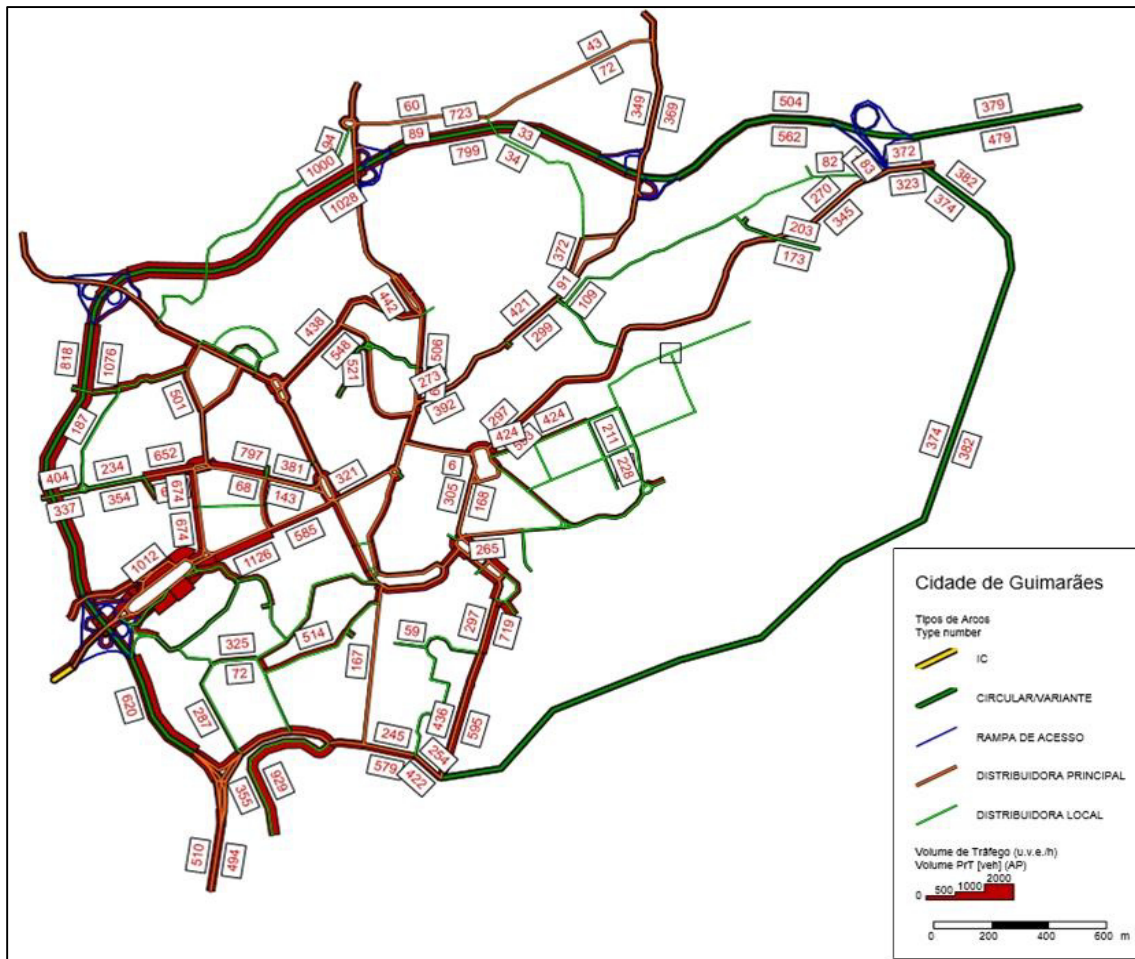


Figura 149 - Volumes de tráfego no cenário 1 na hora de ponta da tarde

As Figuras 150 e 151 apresentam os rácios volume/capacidade para a hora de ponta da manhã e da tarde, sendo possível observar, que na ponta da manhã esta se encontra mais saturada. No Anexo J são apresentados os rácios volume/capacidade do cenário 1 mais detalhadamente.

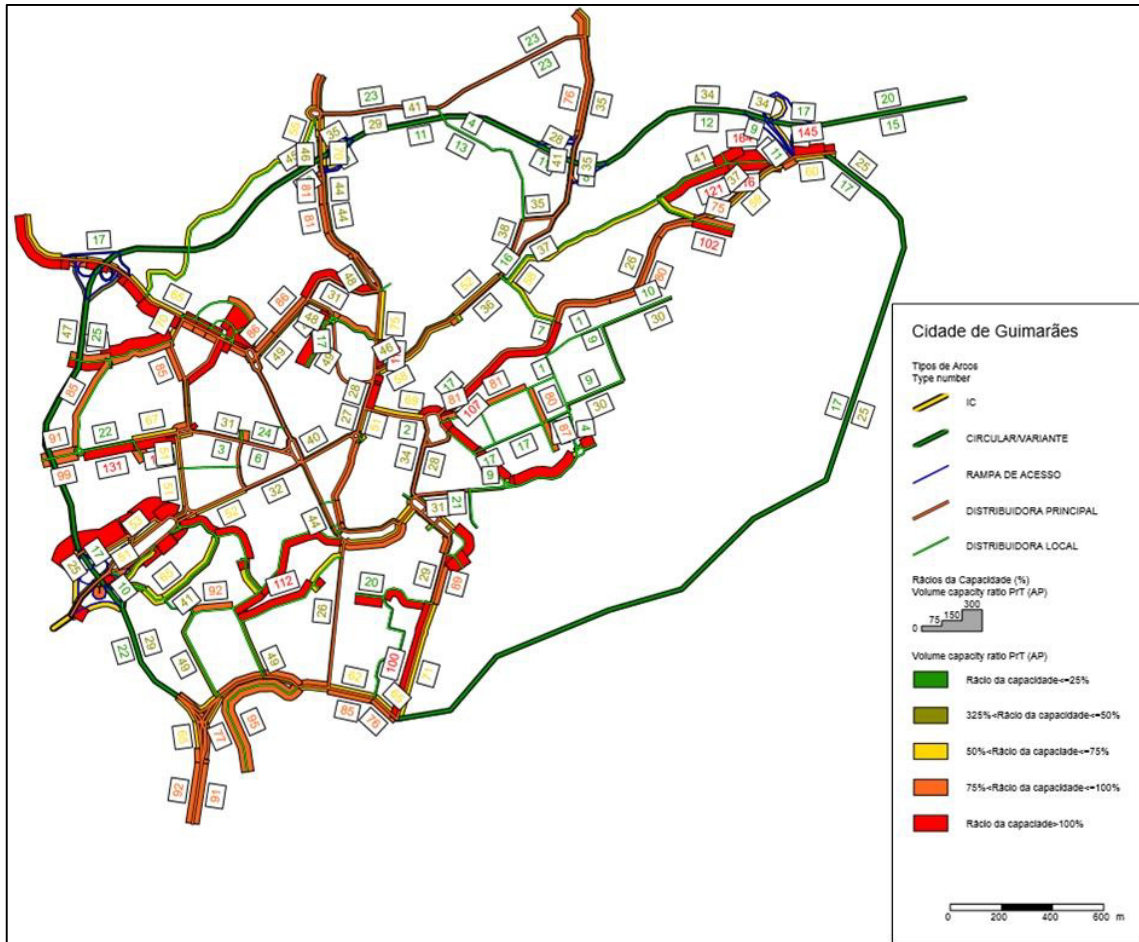


Figura 150 - Rátios Volume/capacidade no cenário 1 na hora de ponta da manhã

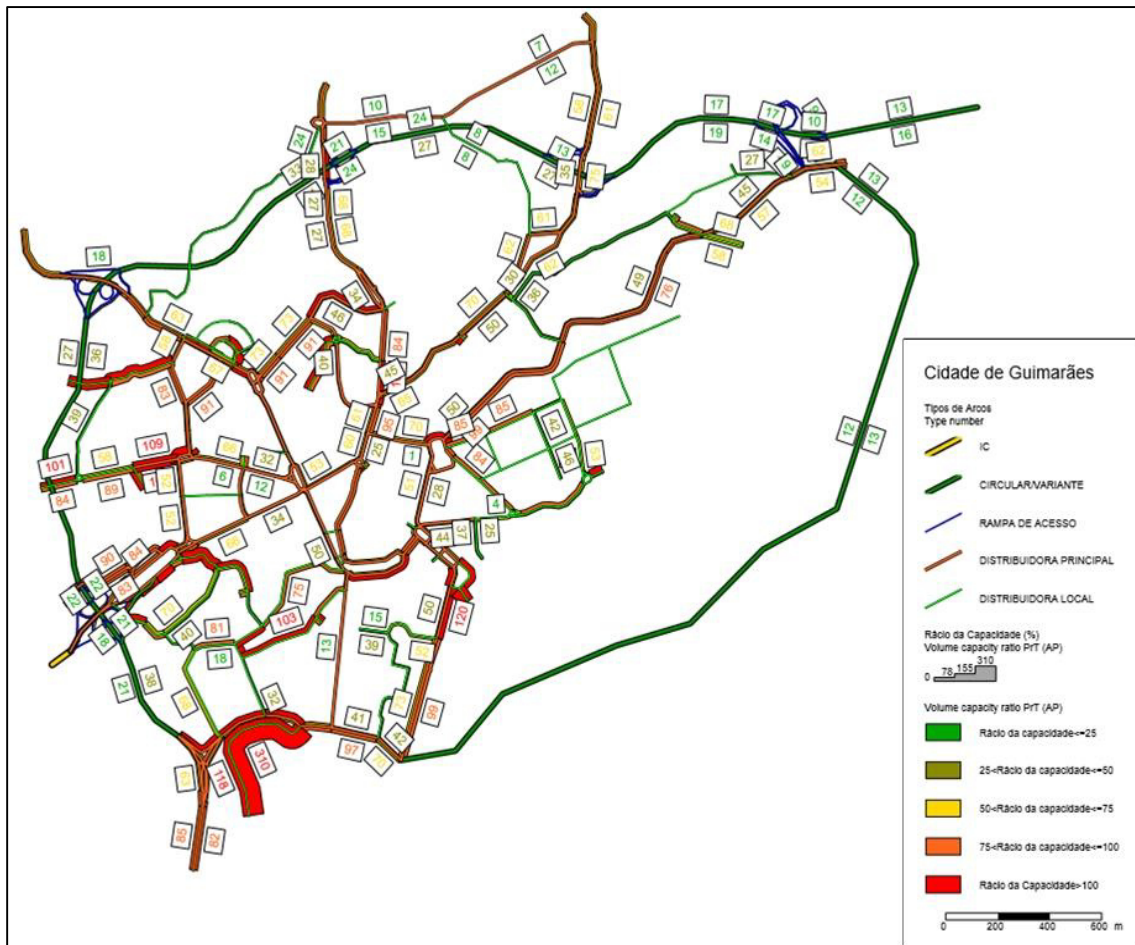


Figura 151 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 1 na hora de ponta da tarde

As Figuras 152 e 153, apresentam os atrasos médios nos arcos da rede para a hora de ponta da manhã e da tarde, onde é possível observar que existe um maior atraso no período da manhã. No Anexo K são apresentados os atrasos médios do cenário 1 com maior rigor.

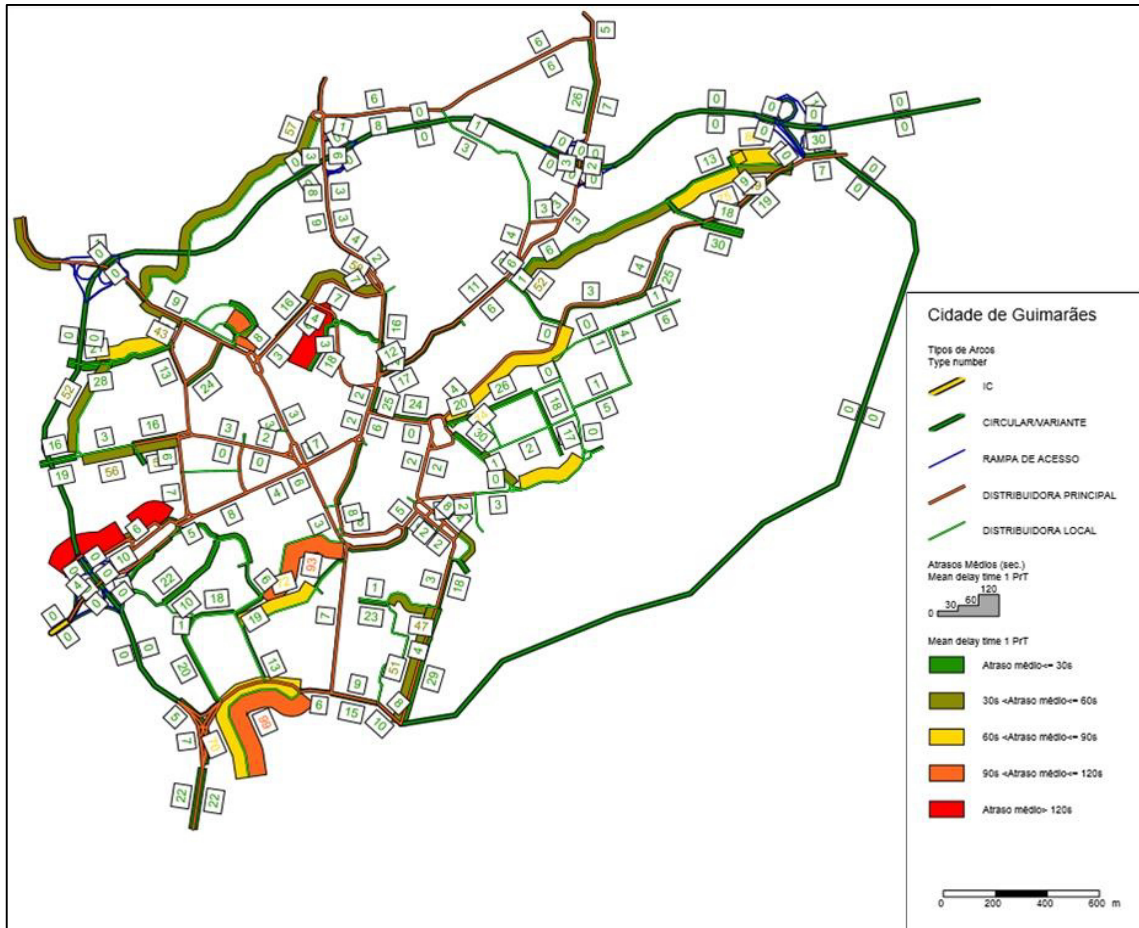


Figura 152 - Atrasos médios no cenário 1 na hora de ponta da manhã

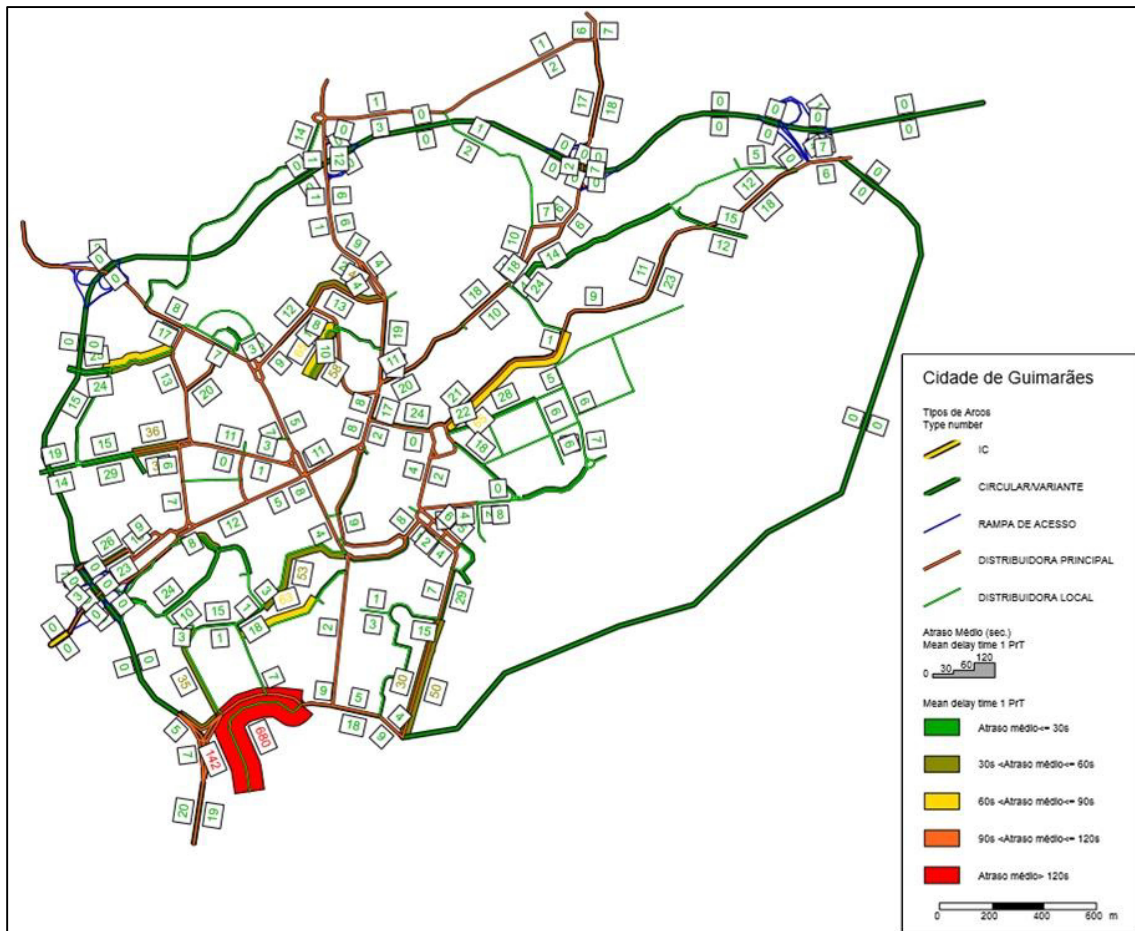


Figura 153 - Atrasos médios no cenário 1 na hora de ponta da tarde

4.7.2. Cenário 2

O cenário 2 consiste no encerramento de algumas ruas para a circulação do tráfego motorizado, nomeadamente as ruas da sua envolvente do centro histórico da cidade de Guimarães.

4.7.2.1. Intervenções

Neste cenário entende-se que o encerramento de certas ruas, tem como objetivo a redução do nível de poluição no centro histórico da cidade e possibilitar uma melhoria da circulação do tráfego pedonal na área envolvente ao centro histórico, assim como permitir incrementar a prática e realização de mais atividades relacionadas com a vivência urbana, como por exemplo, a utilização dos espaços emblemáticos, como a Praça do Toural, o jardim público da Alameda, o Largo da Oliveira. A Figura 154 mostra as zonas onde se efetuaram o encerramento de ruas.

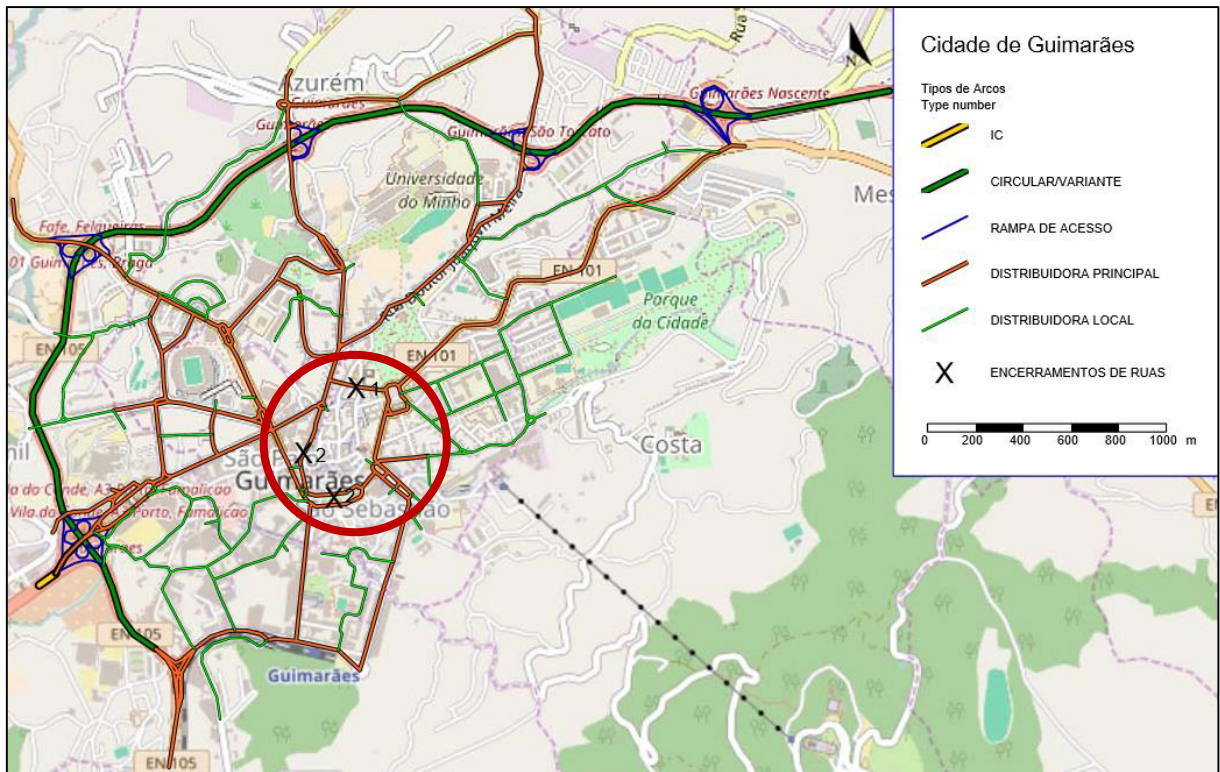


Figura 154 - Cenário 2 - encerramento de ruas

Assim, encerrou-se a Rua Serpa Pinto, a Rua Agostinho Barbosa e o Largo Martins Sarmento, com o objetivo de definir e unificar o Centro Histórico à zona envolvente norte do castelo de Guimarães e praça Passos dos Duques de Bragança. As Figuras 155 e 156, caracterizam a localização das ruas.



Figura 155 - Rua Serpa Pinto, Av. Barbosa e Largo Martins Sarmento (GoogleMaps, 2016)

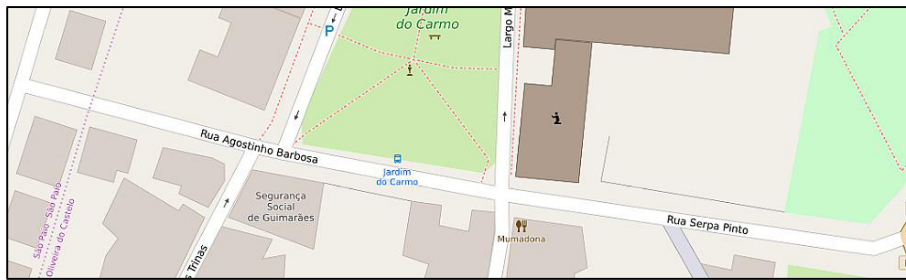


Figura 156 - Rua Serpa Pinto, Av. Barbosa e Largo Martins Sarmiento (OpenStreetMaps, 2016)

Seguidamente, procede-se ao encerramento de ruas na zona sul do Centro Histórico, mais concretamente, as ruas envolventes da Praça do Toural e do jardim público da Alameda, nomeadamente do Largo do Toural, Alameda de S. Dâmaso e Rua de Santo António. Com este encerramento poderá ligar-se de forma totalmente pedonal a Praça do Toural e o jardim público da Alameda ao Centro Histórico da cidade, bem como ao convento de São Francisco. As Figuras 157, 158, 159, 160, 161 e 162, permitem identificar e localizar as ruas a serem encerradas.



Figura 157 – Alameda de S. Dâmaso (GoogleMaps, 2016)



Figura 158 - Alameda S. Dâmaso (OpenStreetMaps, 2016)



Figura 159 - Largo do Toural (GoogleMaps, 2016)



Figura 160 - Largo do Toural (OpenStreetMaps, 2016)



Figura 161 - Rua de Santo António (GoogleMaps, 2016)

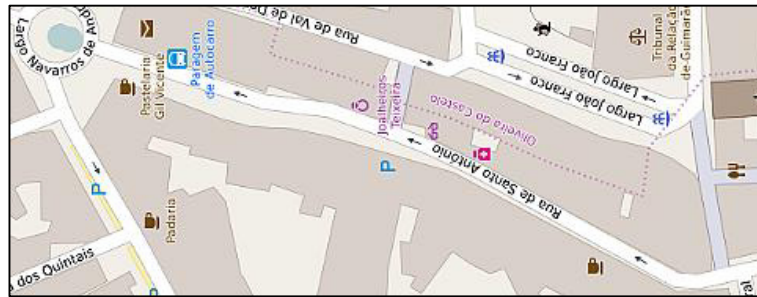


Figura 162 - Rua de Santo António (OpenStreetMaps, 2016)

Para além destes encerramentos de ruas, optou-se pela alteração de outras ruas na envolvente do Centro Histórico, de forma que o previsível congestionamento não seja muito elevado noutras zonas da cidade, uma vez que esta zona é um ponto de passagem da cidade em direção à Estação de Caminhos de Ferro. As alterações feitas passam pela adoção de dois sentidos na Rua Paio Galvão, parte do Largo do Toural e Avenida D. Afonso Henriques. Em cada uma das ruas existirá uma via por sentido. As Figuras 163, 164, 165 e 166, caracterizam a localização das ruas onde ocorrerá a alteração dos sentidos de tráfego.



Figura 163 - Rua Paio Galvão e Largo do Toural (GoogleMaps, 2016)



Figura 164 - Rua Paio Galvão e Largo do Tournal (OpenStreetMaps, 2016)



Figura 165 - Avenida D. Afonso Henriques (GoogleMaps, 2016)

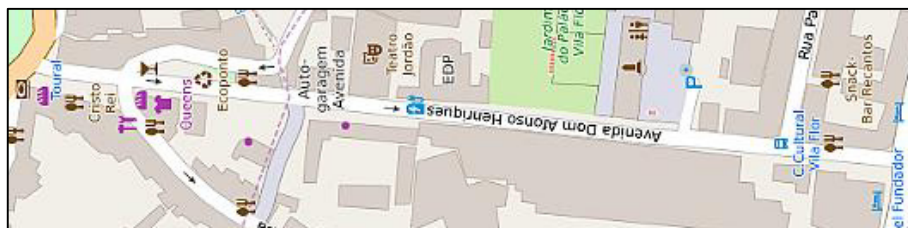


Figura 166 - Avenida D. Afonso Henriques (OpenStreetMaps, 2016)

Para fazer esta alteração na circulação do tráfego nesta zona, interveio-se ao nível das interseções, devidamente identificadas na Figura 167, com os pontos 1 e 2.

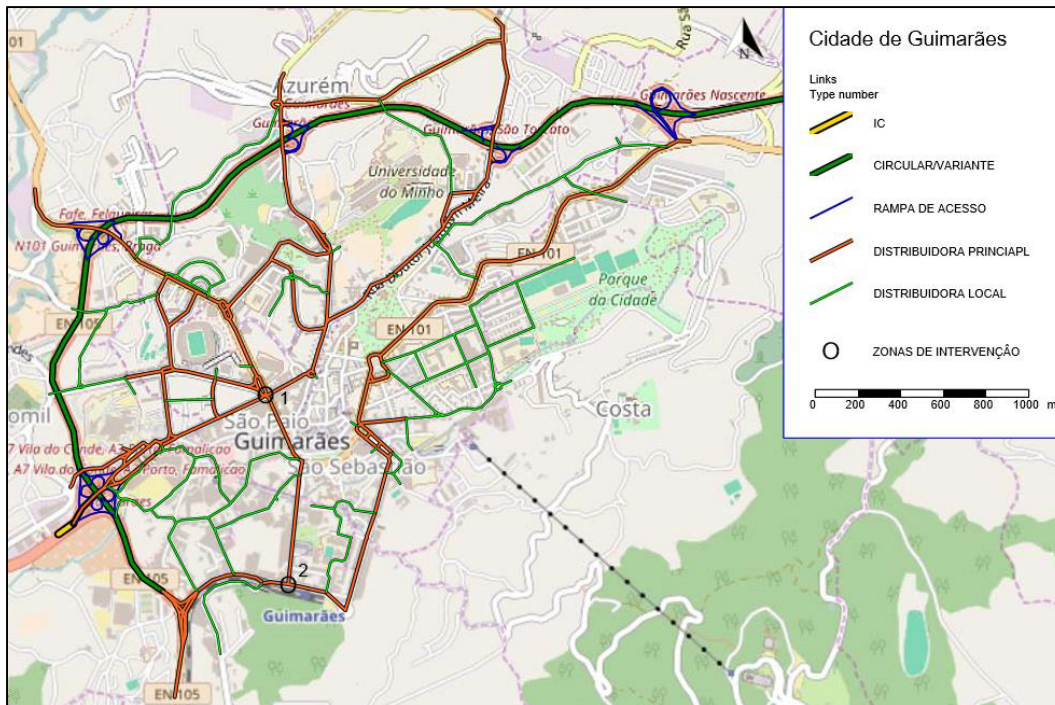


Figura 167 – Rede do cenário 2 – interseções intervenções

A primeira intervenção ocorre na ligação das ruas, Avenida Conde de Margaride, Rua de São Gonçalo, Rua de Gil Vicente e a Alameda Dr. Alfredo Pimenta à Rua Paio Galvão. As Figuras 168, 169 e 170, permitem observar a localização, e as alterações efetuadas nesta interseção.



Figura 168 - 1ª zona de intervenção
(GoogleMaps, 2016)



Figura 169 - 1ª zona de intervenção
(OpenStreetMaps, 2016)

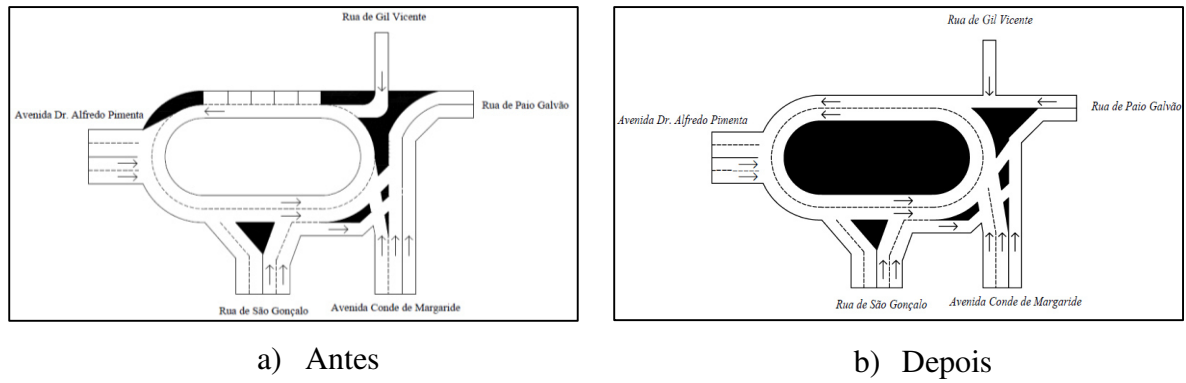


Figura 170 - 1ª intervenção

A segunda intervenção ocorre na interseção de ligação da Avenida D Afonso Henriques às ruas, Avenida D. João IV e Rua Eduardo Manuel José de Almeida. As Figura 171, 172 e 173, permitem observar a localização e alterações sofridas nesta interseção.



Figura 171 - 2ª zona de intervenção
(GoogleMaps, 2016)

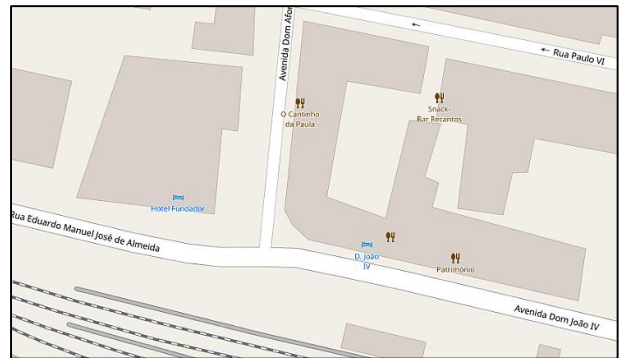


Figura 172 - 2ª zona de intervenção
(OpenStreetMaps, 2016)

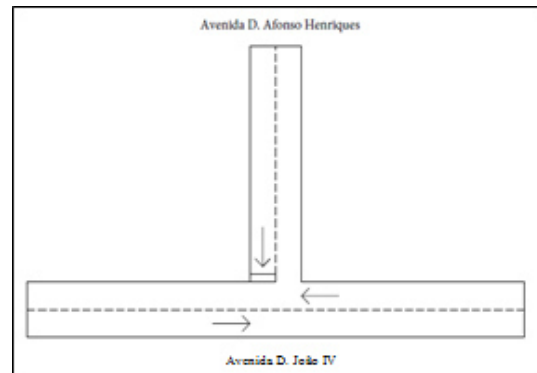
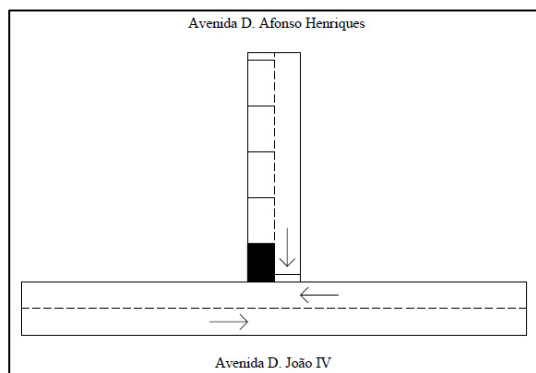


Figura 173 - 2ª intervenção

4.7.2.2. Apresentação gráfica dos resultados

As Figuras 174 e 175, apresentam os volumes de tráfego da rede para as horas de ponta da manhã e da tarde, onde se observa que existe um maior volume de tráfego na zona envolvente do Centro Histórico e que a hora de ponta mais carregada é o da manhã, sendo que na zona envolvente verifica-se maiores volumes de tráfego na hora de ponta da tarde. No Anexo L são apresentados os volumes de tráfego referentes ao cenário 2 com mais detalhe.

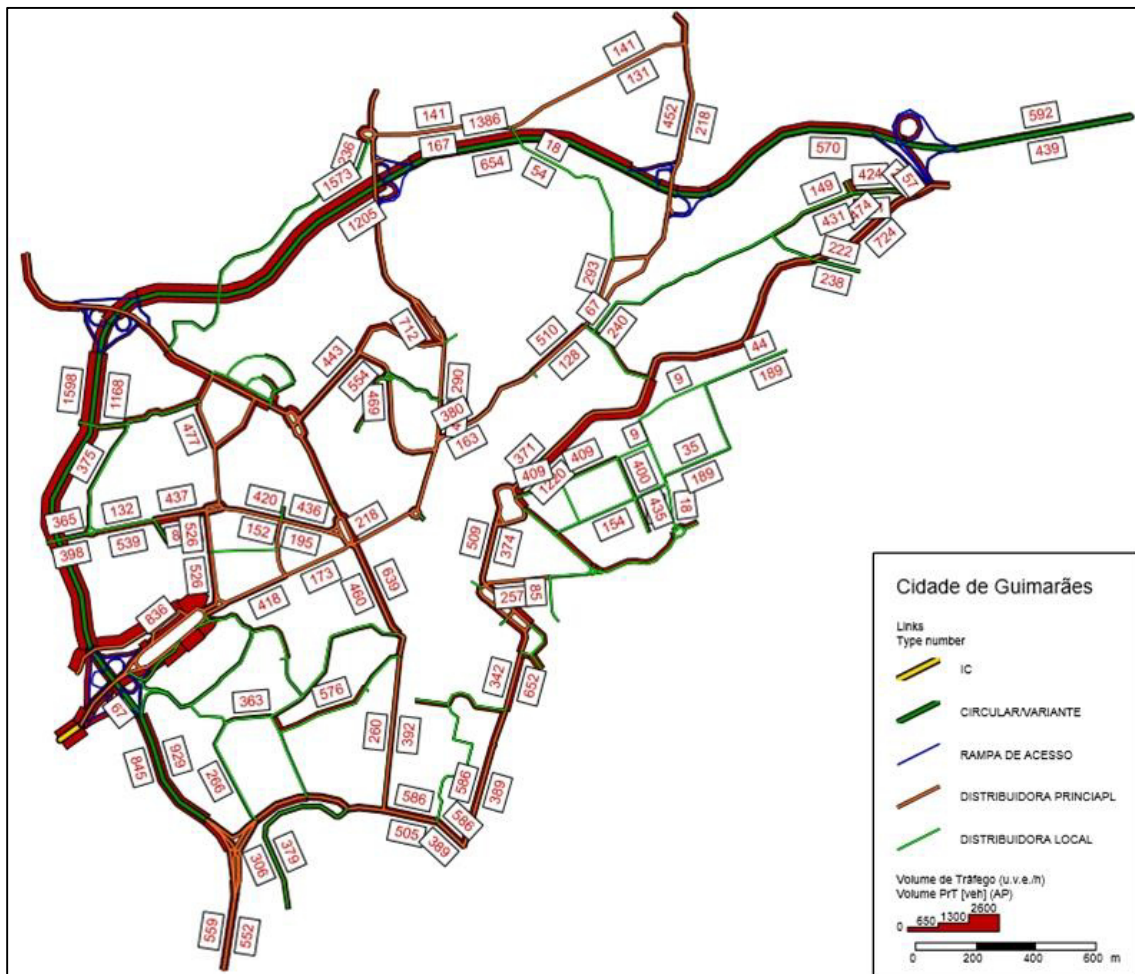


Figura 174 - Volumes de tráfego no cenário 2 na hora de ponta da manhã

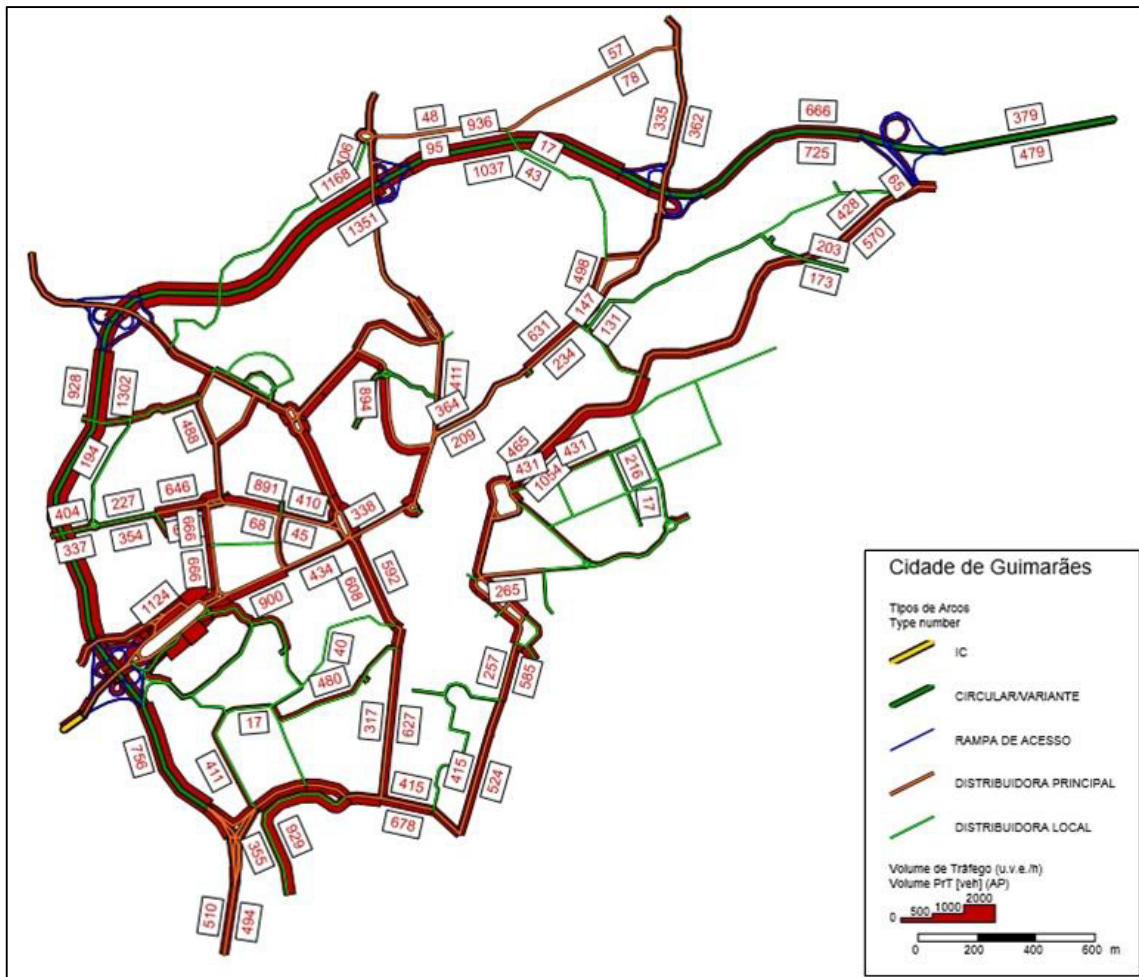


Figura 175 - Volumes de tráfego no cenário 2 na hora de ponta da tarde

As Figuras 176, 177, 178 e 179, apresentam os rácios volume/capacidade dos arcos da rede para a hora de ponta da manhã e hora de ponta da tarde, e permite observar que a ponta da tarde se encontra com rácios mais elevados. No Anexo M são apresentados os rácios volume/capacidade do cenário 2 com maior rigor.

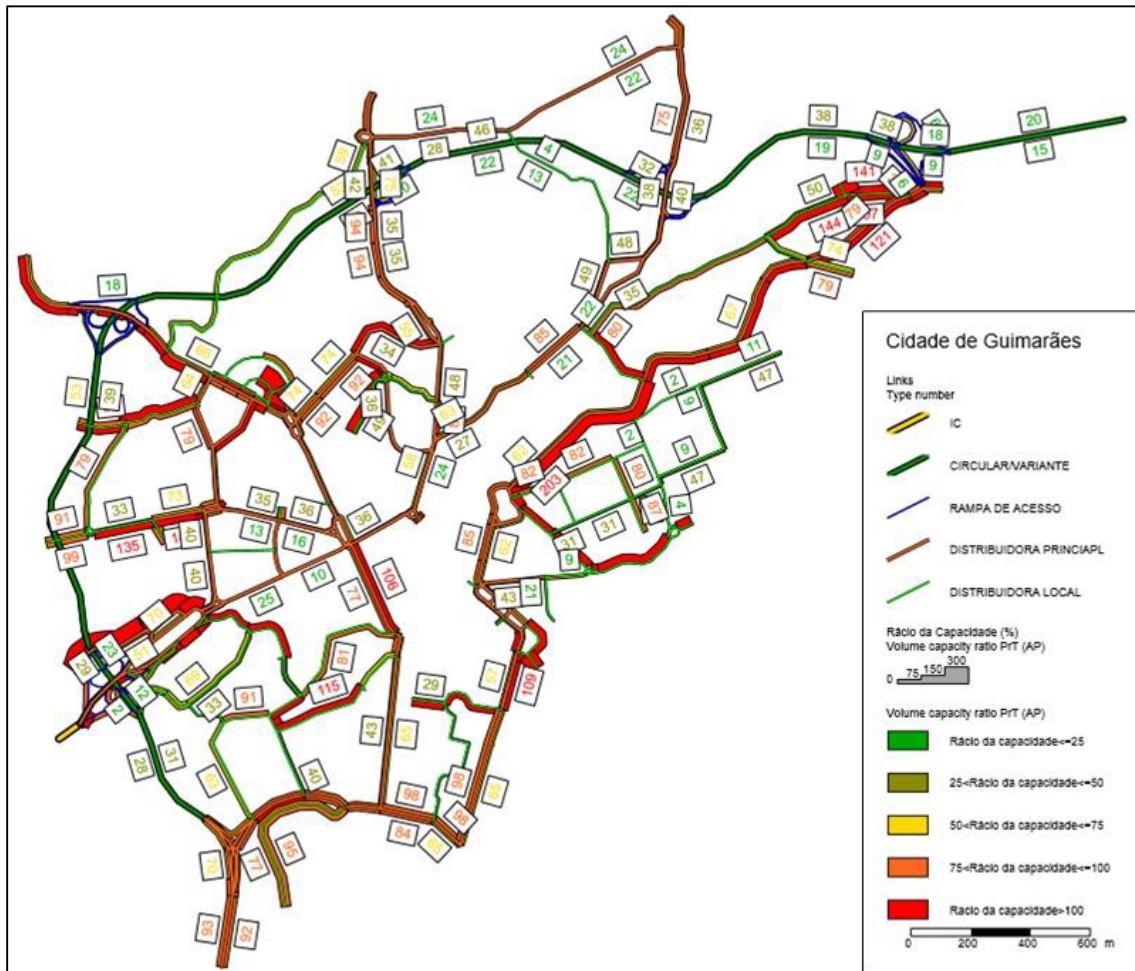


Figura 176 – Rácios Volume/capacidade no cenário 2 na hora de ponta da manhã

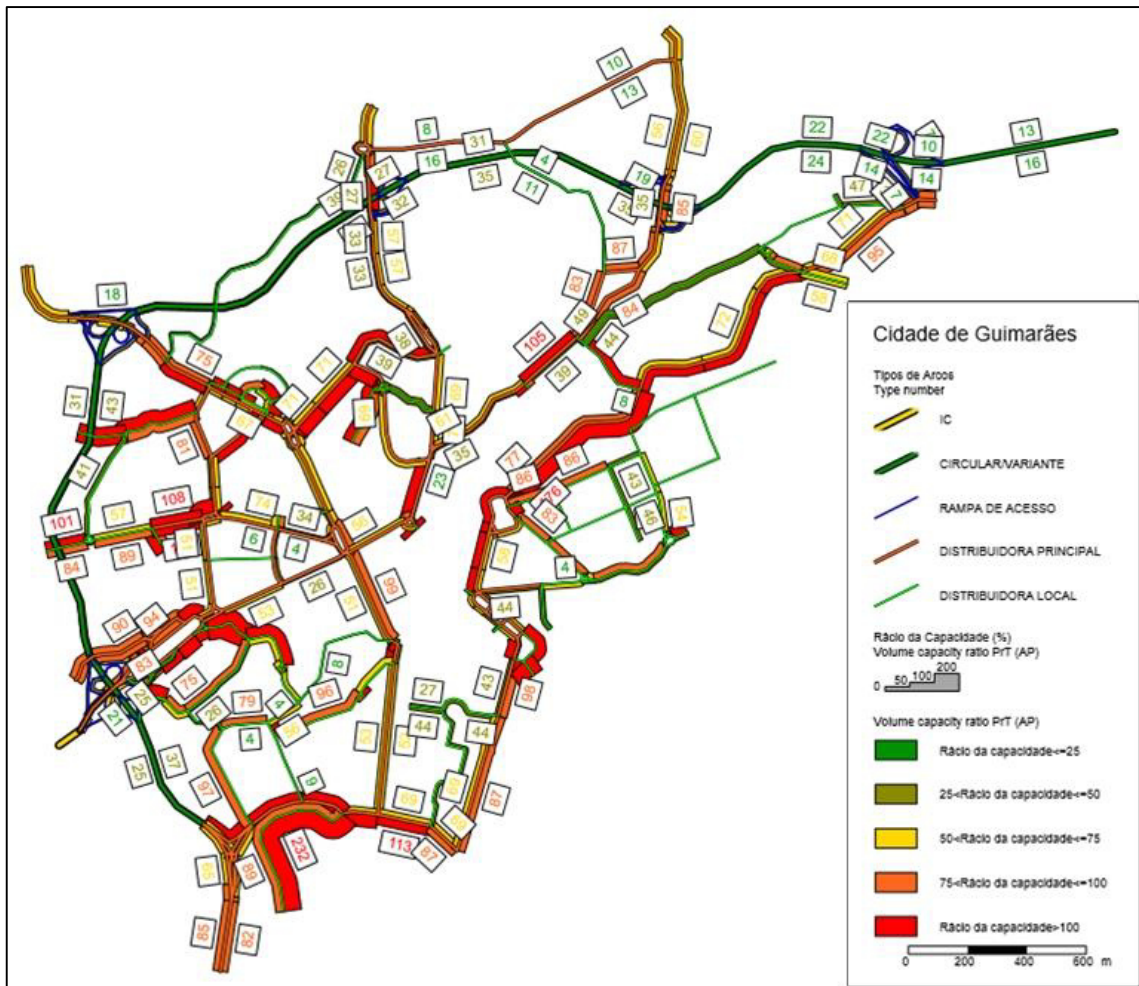


Figura 177 – Rácio Volume/Capacidade no cenário 2 na hora de ponta da tarde

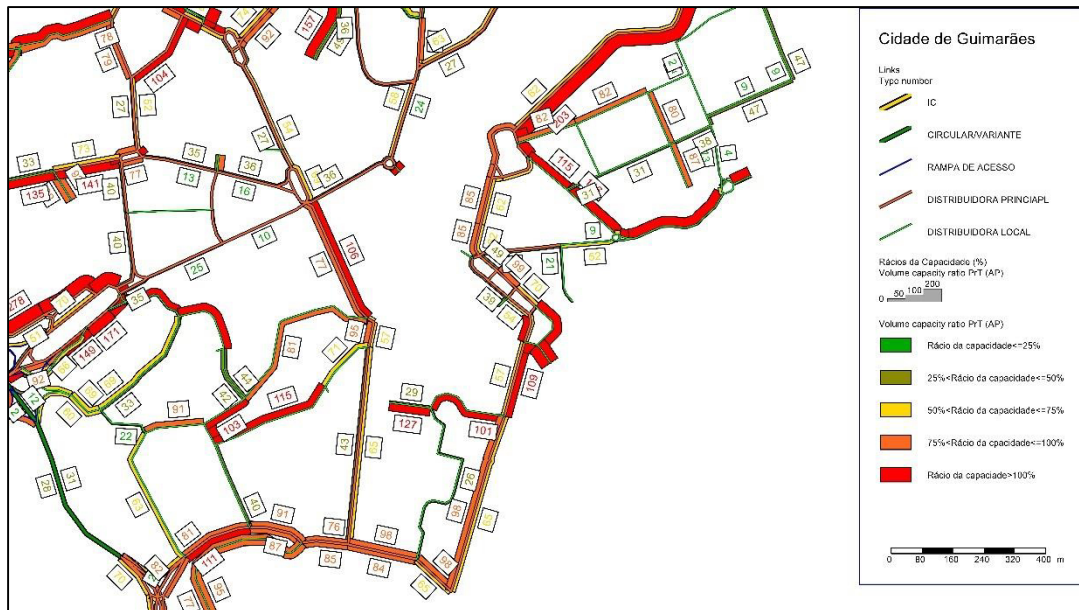


Figura 178 - Rátios Volume/Capacidade no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da manhã

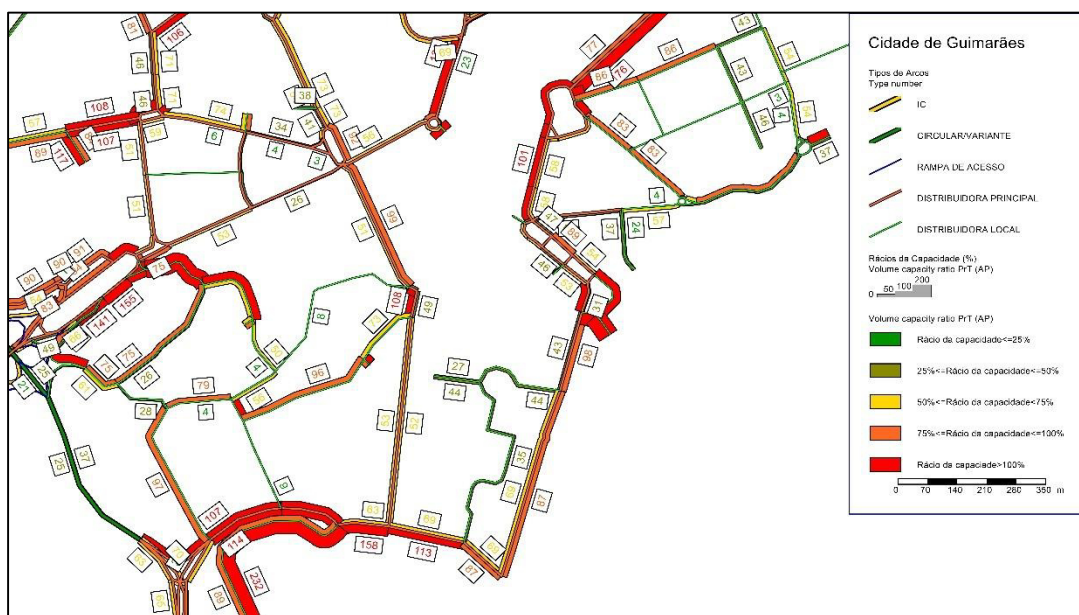


Figura 179 - Rátios Volume/Capacidade no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da tarde

As Figuras 180, 181, 182 e 183, apresentam os atrasos médios da rede nos arcos para a hora de ponta da manhã e da tarde, e permite observar que existe uma semelhança dos atrasos para duas horas de ponta. No Anexo N são apresentados os atrasos médios do cenário 2 mais detalhadamente.

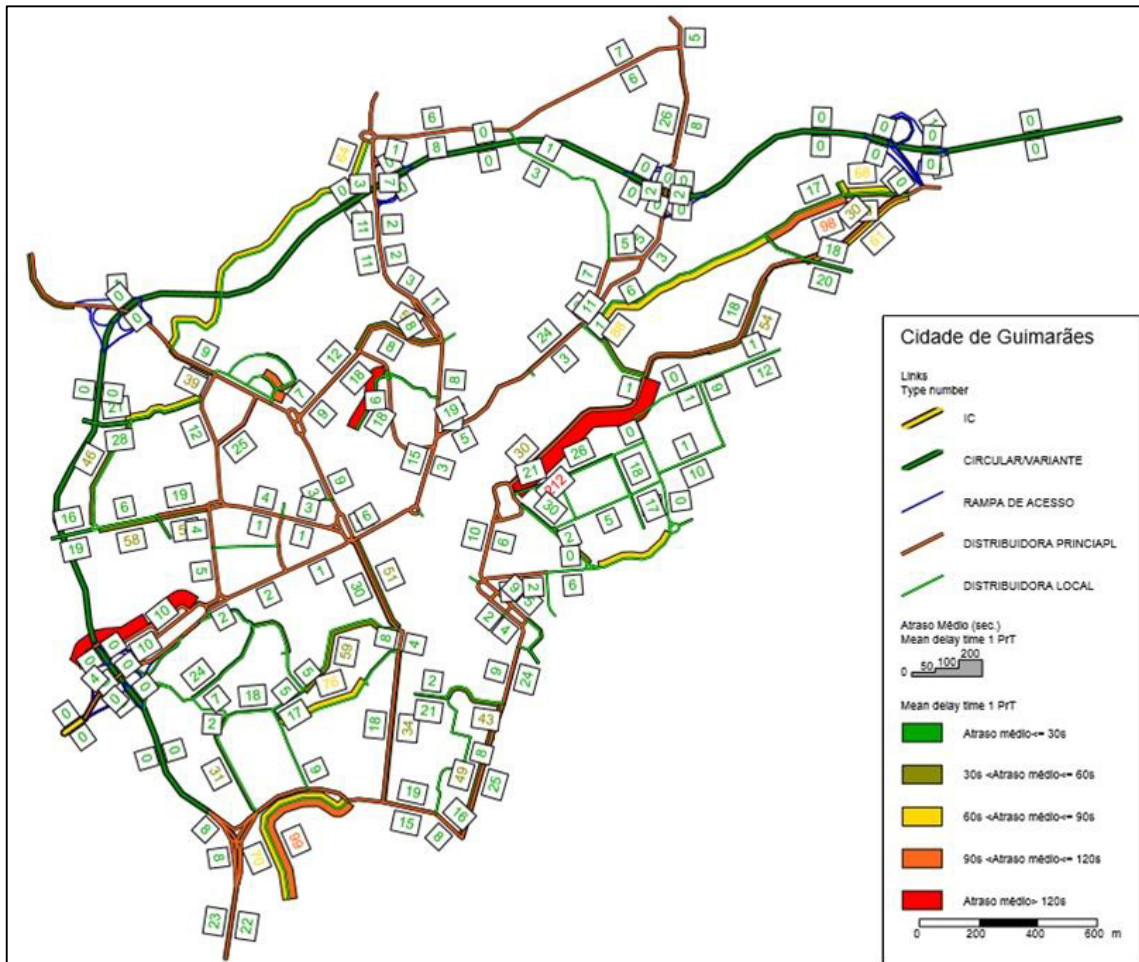


Figura 180 - Atrasos médios no cenário 2 na hora de ponta da manhã

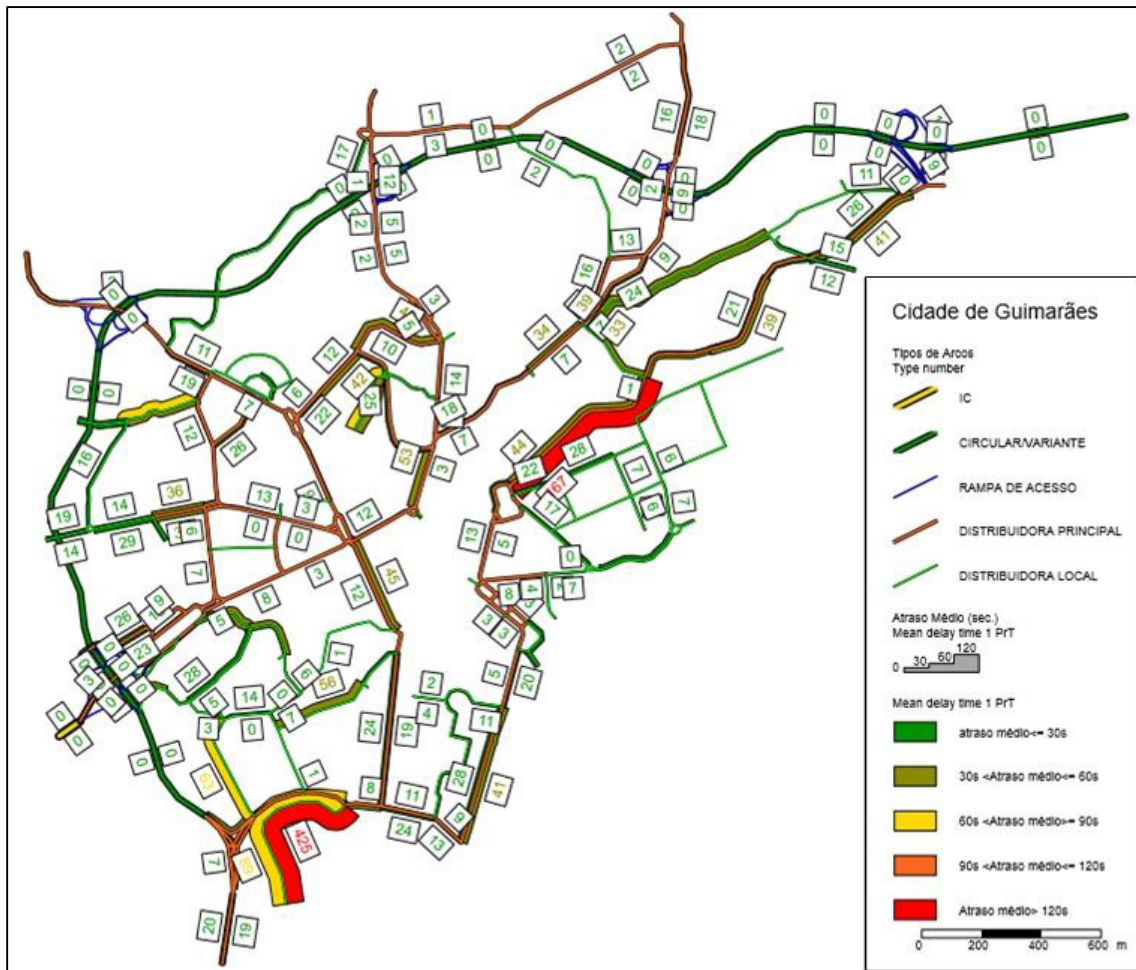


Figura 181 - Atrasos médios no cenário 2 na hora de ponta da tarde

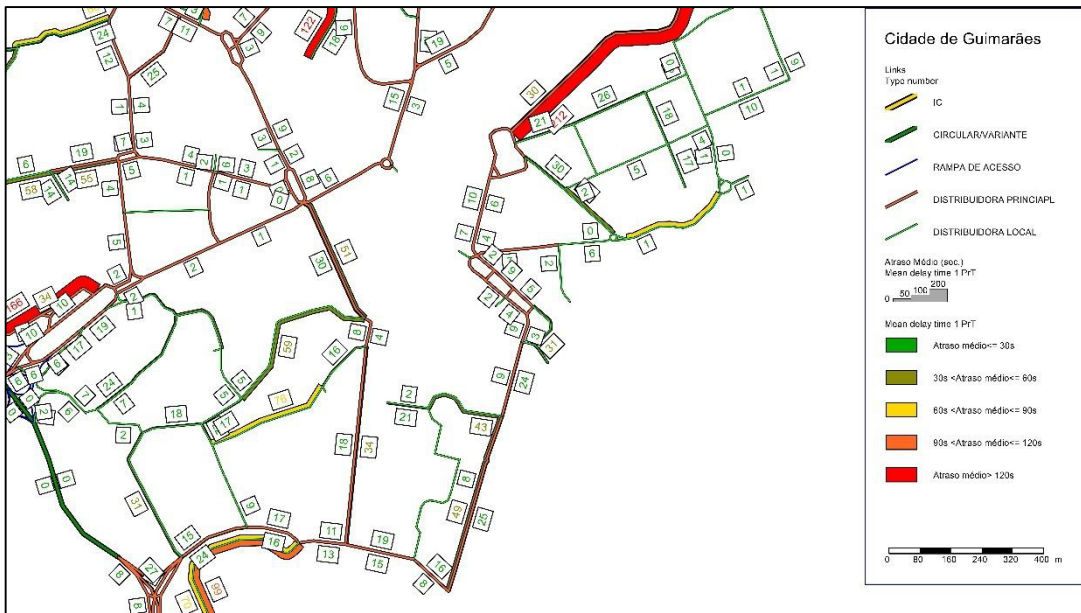


Figura 182 - Atrasos médios no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da manhã

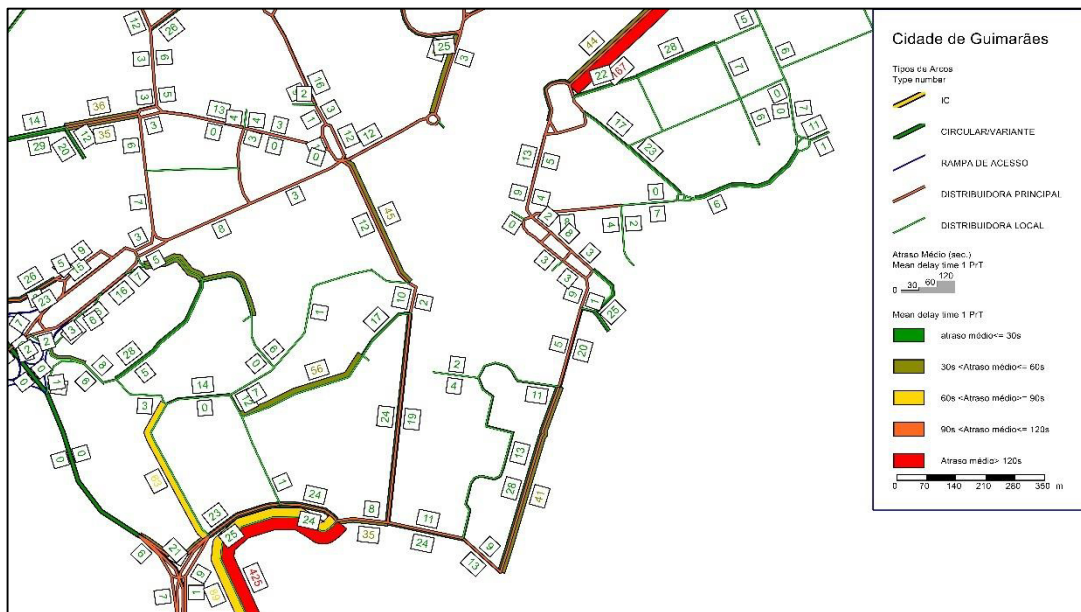


Figura 183 - Atrasos médios no cenário 2 na zona envolvente do Centro Histórico para a hora de ponta da tarde

4.7.3. Cenário 3

O cenário 3 consiste na integração dos cenários 1 (criação da variante) e o 2 (encerramento de ruas).

Com este cenário pretende-se uma melhor relação com o tráfego pedonal (cenário 2) na zona histórica da cidade e a fluidez do tráfego automóvel em toda a rede (cenário 1), ou seja, definir um cenário que trabalhe simultaneamente algo que cria restrições e constrangimentos na rede com algo que minimize os efeitos na fluidez do tráfego em geral.

4.7.3.1. Intervenções

Visto que as intervenções sofridas neste cenário são a fusão dos dois cenários anteriores, apenas se apresentará a rede deste cenário, presente na Figura 184.

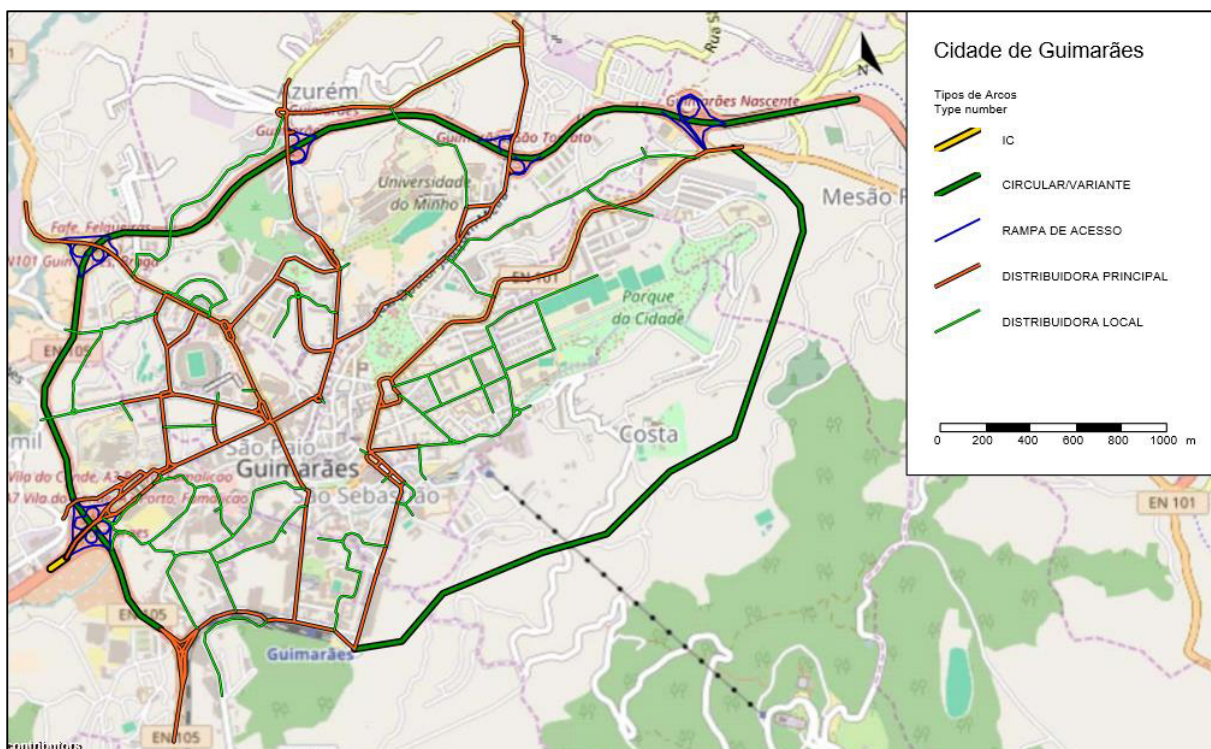


Figura 184 - Rede do cenário 3

4.7.3.2. Apresentação gráfica dos resultados

As Figuras 185 e 186, apresentam os volumes de tráfego da rede para a hora de ponta da manhã e da tarde, sendo possível observar que apesar da ponta da manhã se encontrar mais carregada, a zona envolvente do Centro Histórico encontra-se mais carregada na ponta da tarde. No Anexo O são apresentados os volumes de tráfego do cenário 3 com mais detalhe.

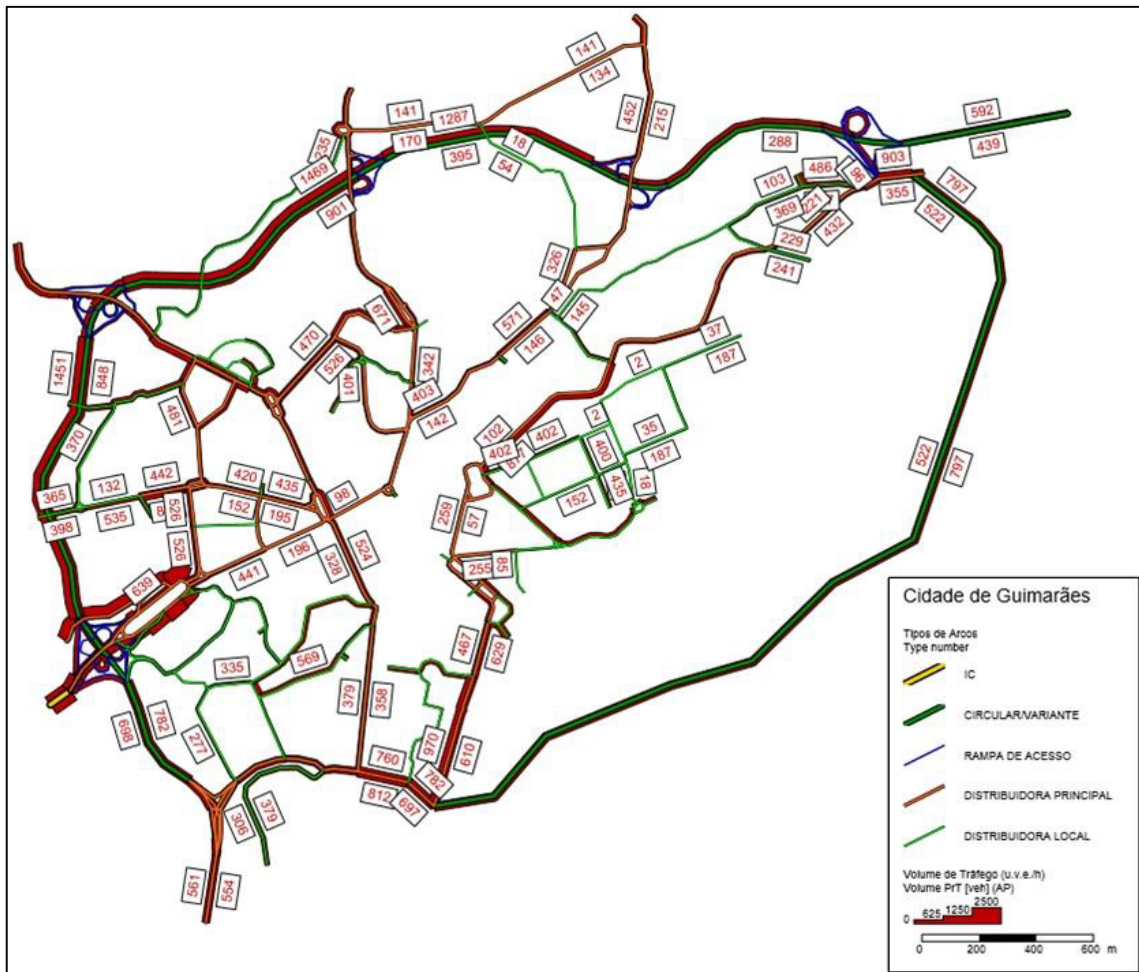


Figura 185 - Volumes de tráfego no cenário 3 na hora de ponta da manhã

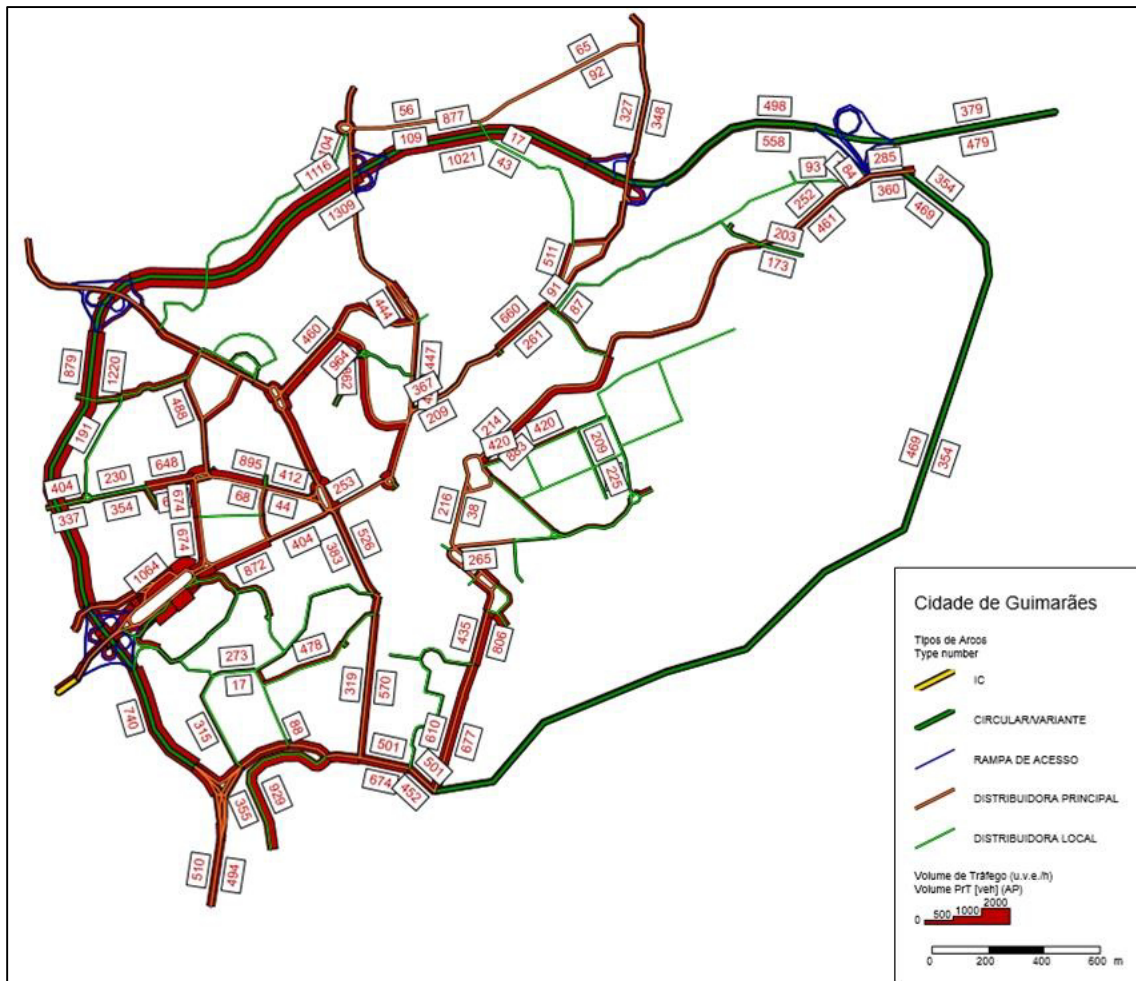


Figura 186 - Volumes de tráfego no cenário 3 na hora de ponta da tarde

As Figuras 187, 188, 189 e 190, apresentam os rácios volume/capacidade dos arcos da rede para a hora de ponta da manhã e da tarde, e permite observar que existes uma variação dos arcos saturados de uma hora de ponta para a outra, mas é de salientar que é na ponta da tarde que a zona envolvente do Centro Histórico tem maiores rácios. No Anexo P são apresentados os rácios volume/capacidade do cenário 3 com mais detalhe.

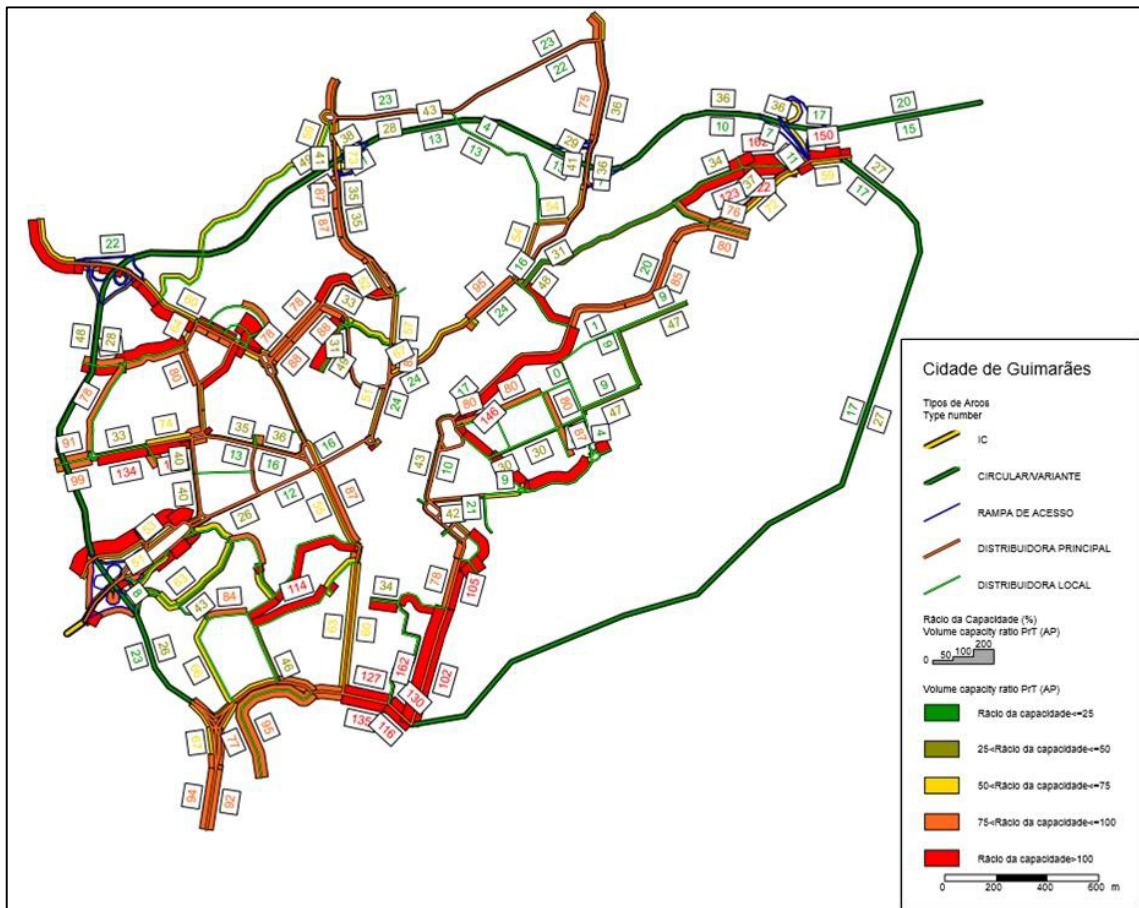


Figura 187 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 3 na hora de ponta da manhã

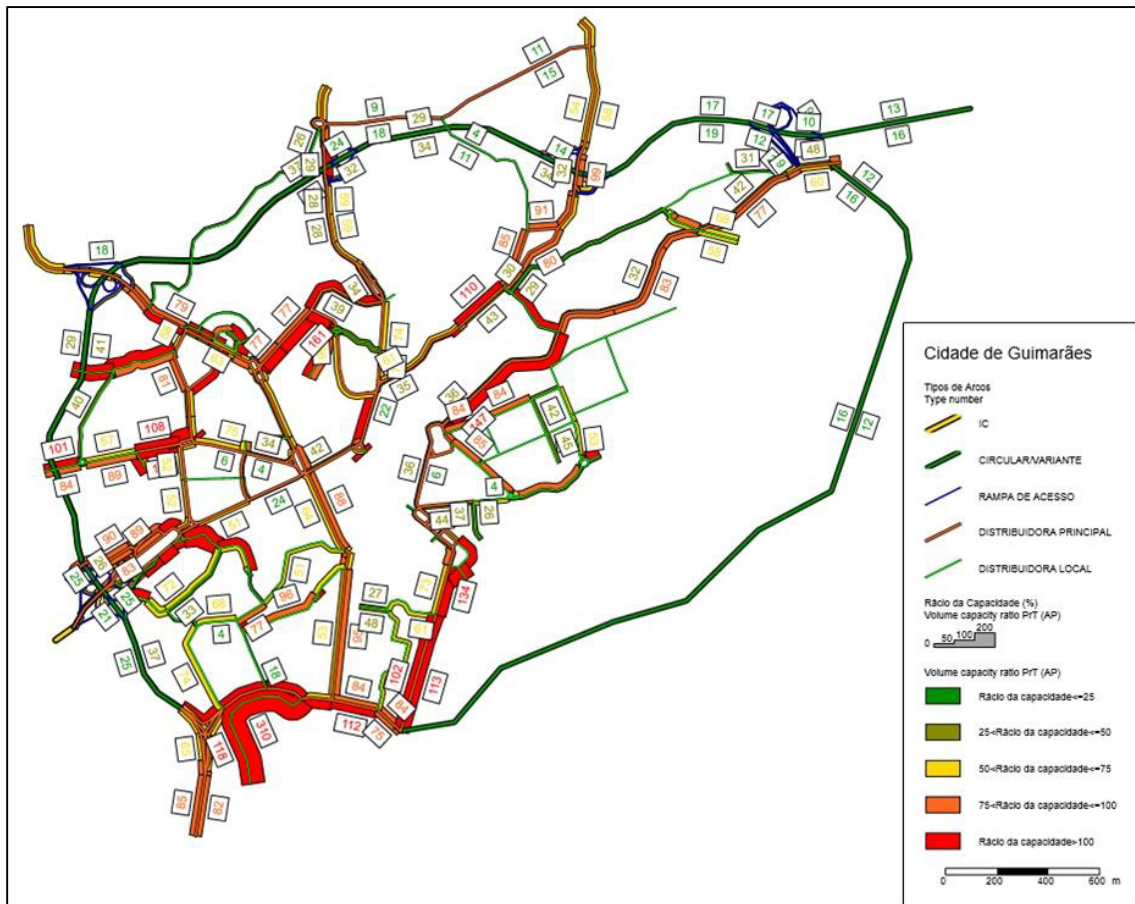


Figura 188 - Rácios Volume/Capacidade no cenário 3 na hora de ponta da tarde

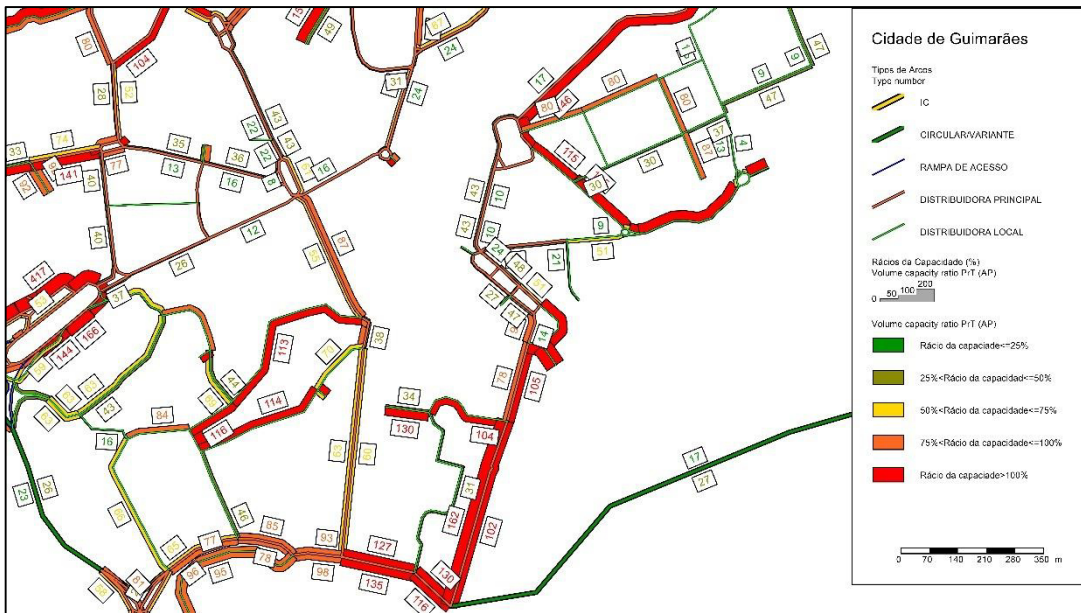


Figura 189 - Rátios Volume/Capacidade na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da manhã

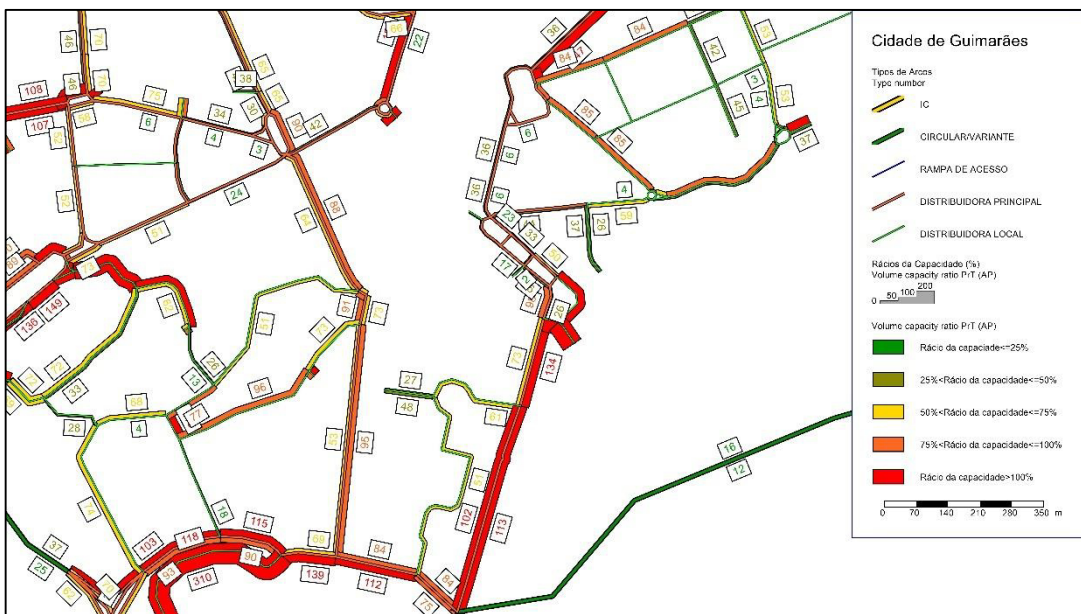


Figura 190 - Rátios Volume/Capacidade na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da tarde

As Figuras 191, 192, 193 e 194, apresentam os atrasos médios da rede nos arcos para a hora de ponta da manhã e da tarde, e permite observar que existe uma variação dos atrasos médios entre as pontas, mas é na da tarde que a zona envolvente do Centro Histórico apresenta maiores atrasos médios. No Anexo Q são apresentados os atrasos médios do cenário 3 com mais detalhe.

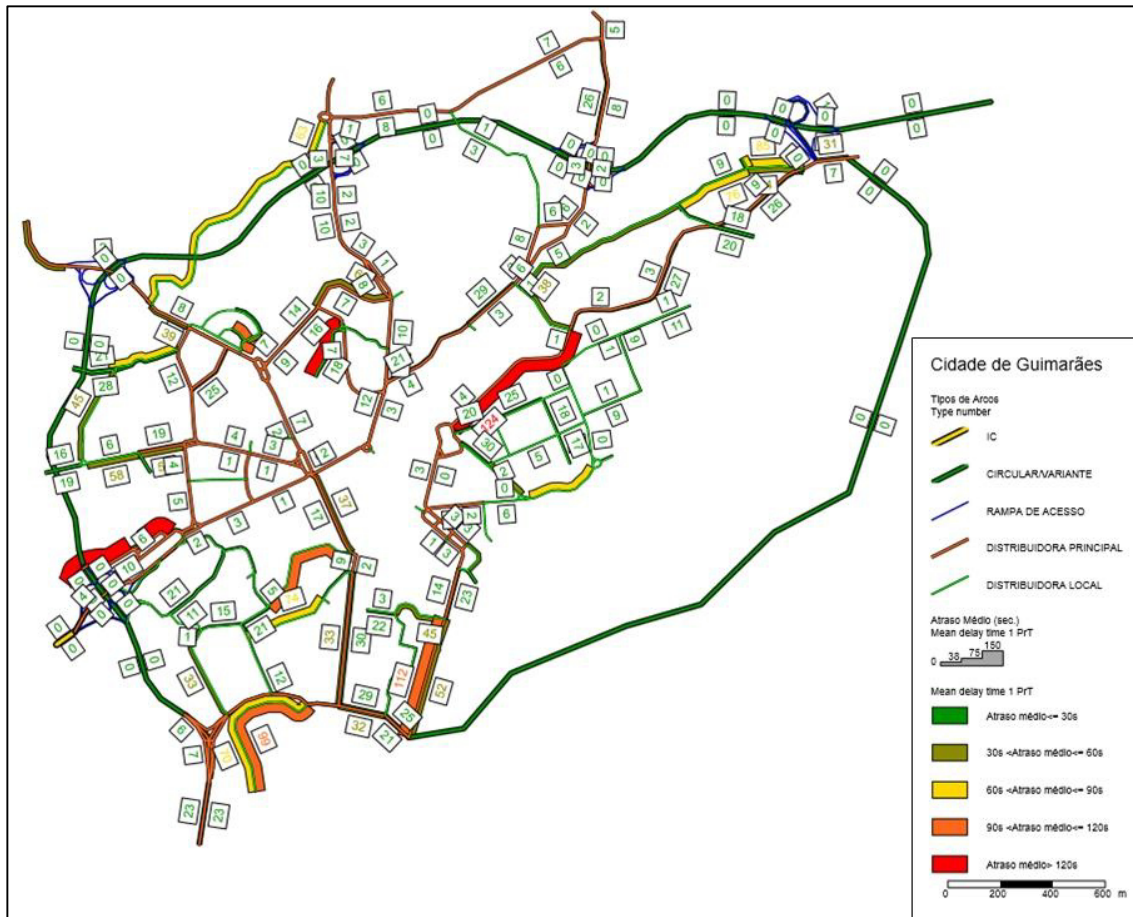


Figura 191 - Atrasos médios no cenário 3 na hora de ponta da manhã

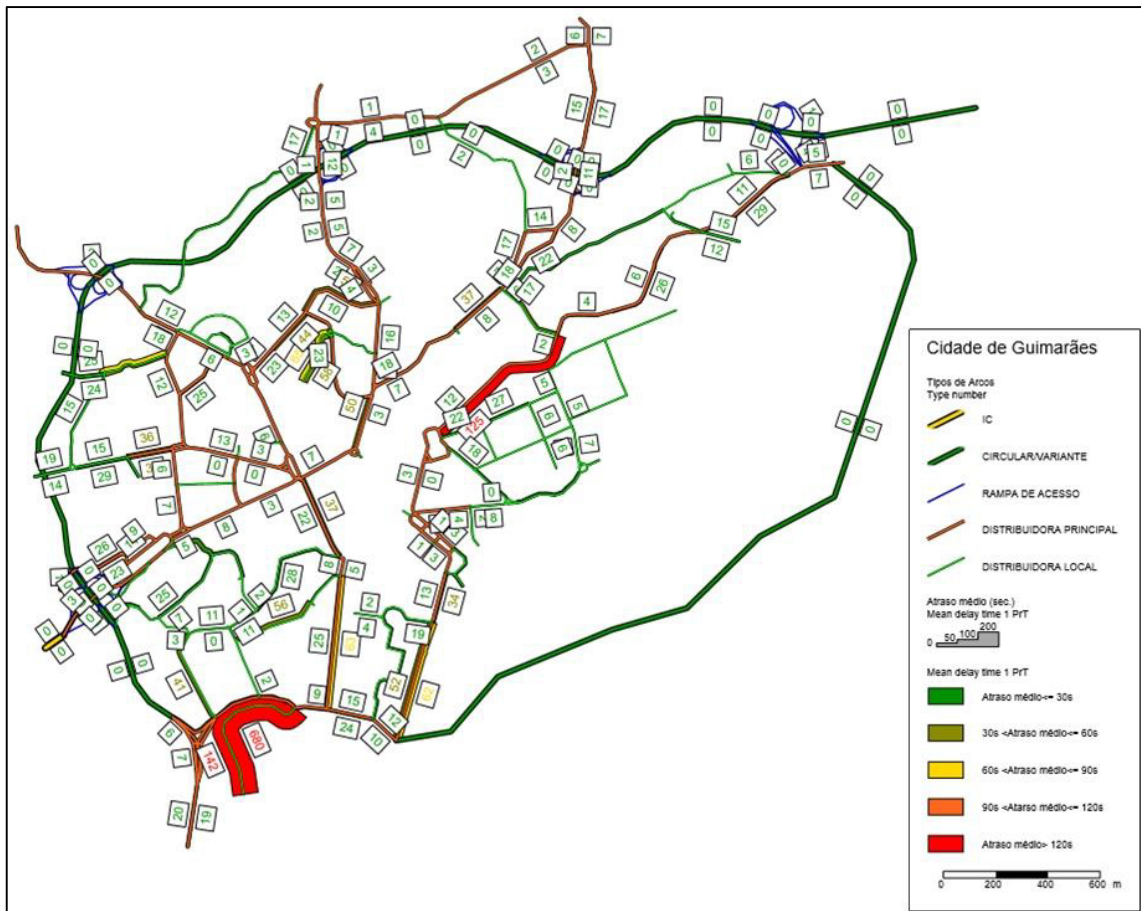


Figura 192 - Atraso médios no cenário 3 na hora de ponta da tarde

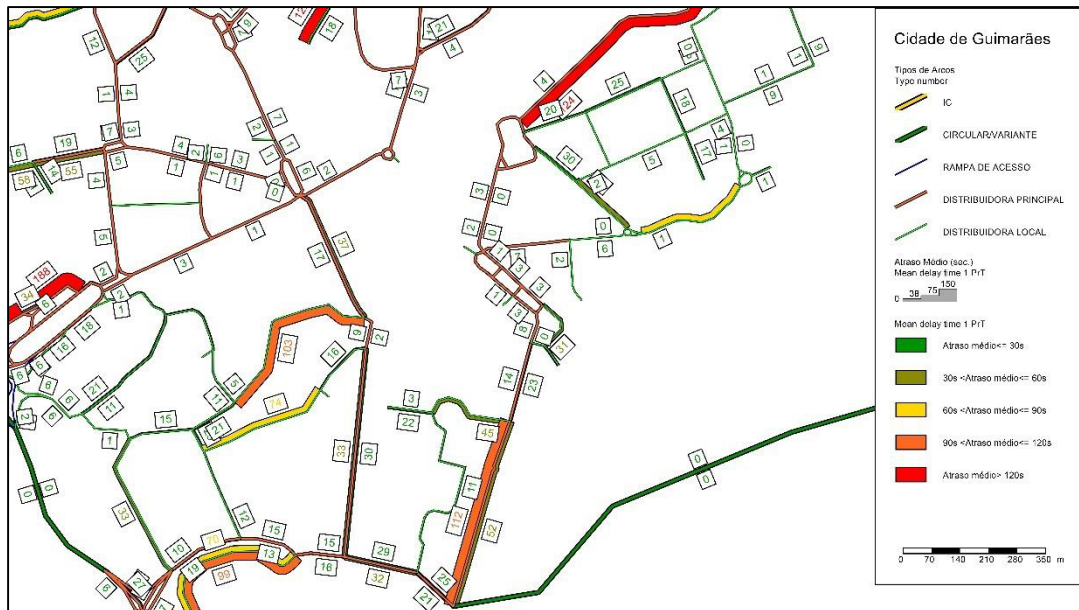


Figura 193 - Atrasos médio na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da manhã

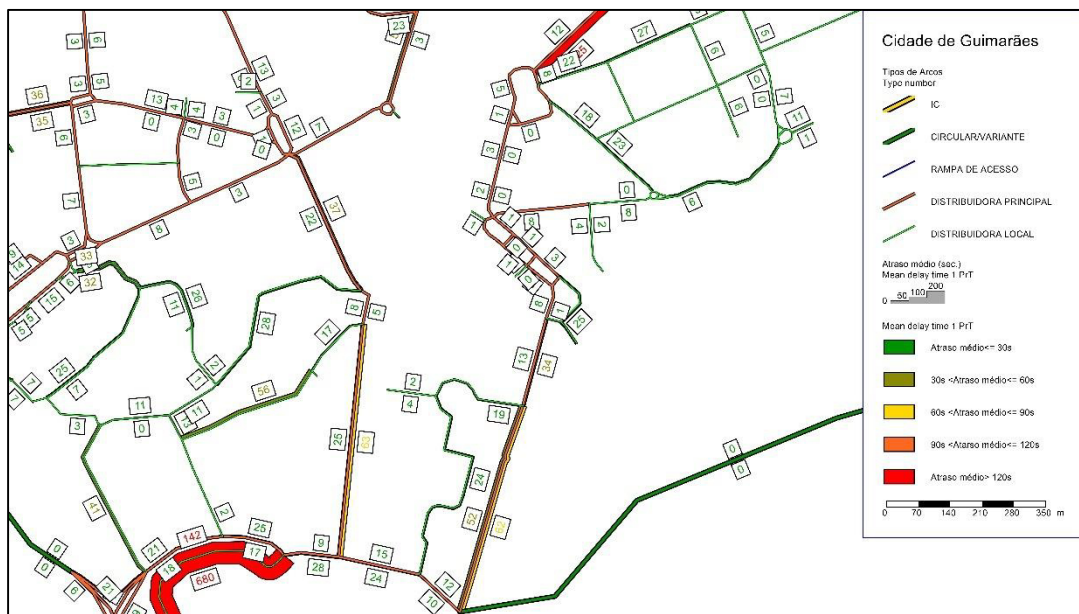


Figura 194 - Atrasos médio na zona envolvente do Centro Histórico no cenário 3 para a hora de ponta da tarde

4.7.4. Análise e discussão dos resultados

Neste ponto, serão apresentados os resultados de uma análise entre os vários cenários, e o cenário base (rede existente inicial) de modo a conhecer se estas alterações produziram vantagens ou inconvenientes para a circulação do tráfego para toda a rede, e para zonas da rede envolvente às áreas de intervenção/alteração.

Para que, a análise a toda a rede não seja novamente qualitativa, tendo como base os mapas, foram escolhidas algumas vias da rede consideradas mais importantes, segundo os critérios da tabela 21, para se perceber de uma forma global e abrangente o comportamento da evolução do tráfego na rede para cada cenário. A Figura 195, apresenta a localização dos vários pontos utilizados para realizar esta análise.

Tabela 21 - Pontos de análise – critérios de seleção

Ponto de Análise	Rua	Critério
1	EN 101 – Guimarães-Fafe (Variante)	Principal via da rede
2	Avenida da Universidade	Ligação ao campus da Universidade do Minho
3	Rua Cónego Dr. Manuel Faria	Ponto com elevada importância para a ligação do campus da Universidade do Minho ao centro da cidade
4	EN 101 – Braga-Guimarães	Ponto de elevada importância de entrada e saída da rede, em relação a Braga e Caldas das Taipas.
5	Alameda Dr. Alfredo Pimenta	Ponto de elevada importância para a ligação ao centro da cidade, estádio, e escola secundária Francisco de Holanda
6	Avenida Conde de Margaride	Principal via de acesso ao centro da cidade
7	Rua de São Torcato	Ponto de elevada importância de entrada e saída em relação à zona de São Torcato
8	Rua Padre António Caldas	Ponto de elevada importância de entrada e saída na cidade em relação à zona de Mesão Frio, Felgueiras, Fafe, Mondim de Bastos e Celorico de Bastos
9	Avenida D. João IV	Ponto de ligação do centro da cidade à Estação de Caminhos de Ferro
10	Rua Eduardo Manuel José de Almeida	Ponto de ligação da Zona de Vizela à Estação de Caminhos de Ferro e ao Centro da Cidade
11	EN 105 – Vizela-Guimarães	Ponto de elevada importância de entrada e saída na cidade em relação à zona de Vizela Faz a ligação em direção a Fafe e Felgueiras
12	Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Direção A11 – Guimarães)	Principal Ponto de Entrada na cidade, Guimarães Shopping e Hospital da Senhora da Oliveira
13	Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Direção Guimarães – A11)	Principal Ponto de saída da cidade, Guimarães Shopping e Hospital da Senhora da Oliveira

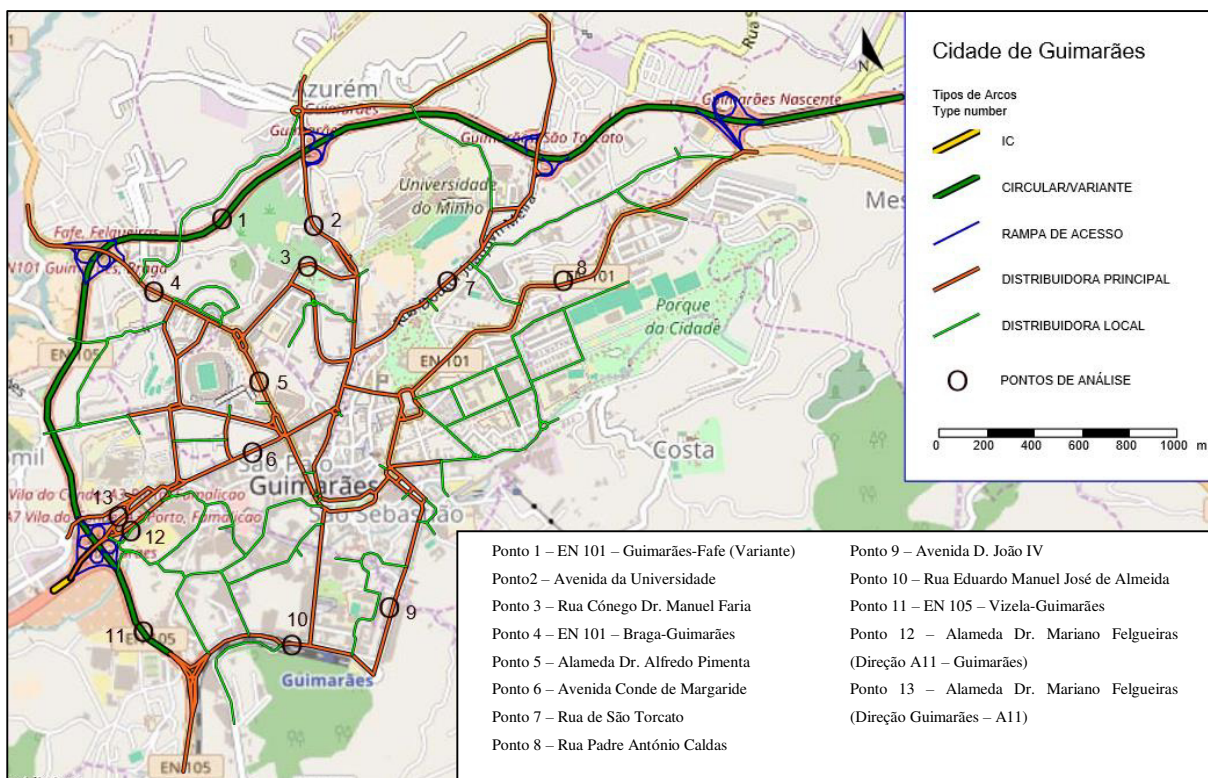


Figura 195 - Pontos de análise

A Tabela 22 e 23, permitem observar as variações sofridas em cada cenário em relação ao Cenário Base para a hora de ponta da manhã, através da comparação das variações sofridas nestes 13 pontos para os três cenários.

Tabela 22 - Comparação de resultados entre a rede inicial e os vários cenários – Hora de Ponta da Manhã

Hora de Ponta da Manhã												
Ponto	Cenário Base			Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/Capacidade (%)	Atraso (sec.)
1	2390	40	0	2049	34	0	2778	46	0	2370	40	0
2	886	74	10	748	63	8	776	65	9	735	61	8
3	868	73	32	877	73	33	899	75	34	899	75	34
4	1456	122	26	1346	121	26	1390	116	24	1342	112	23
5	659	28	4	667	28	4	970	41	7	784	33	5
6	494	29	4	563	32	4	173	10	1	196	12	1
7	664	56	12	528	44	9	638	53	14	717	60	16
8	1069	89	24	635	53	12	1175	98	29	627	53	12
9	483	40	12	1028	86	41	975	82	37	1580	132	78
10	715	60	8	842	70	10	968	81	12	1145	96	16
11	1800	30	0	1526	26	0	1774	30	0	1480	25	0
12	1860	155	18	1899	158	19	1788	149	17	1733	144	17
13	936	78	2	946	79	2	1142	95	3	945	79	2

Tabela 23 - Variação dos resultados na hora de ponta da manhã

Hora de Ponta da Manhã									
Pontos	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)
1	-341	-6	0	388	6	0	-20	0	0
2	-138	-11	-2	-110	-9	-1	-151	-13	-2
3	9	0	1	31	2	2	31	2	2
4	-110	-1	0	-66	-6	-2	-114	-10	-3
5	8	0	0	311	13	3	125	5	1
6	69	3	0	-321	-19	-3	-298	-17	-3
7	-136	-12	-3	-26	-3	2	53	4	4
8	-434	-36	-12	106	9	5	-442	-36	-12
9	545	46	29	492	42	25	1097	92	66
10	127	10	2	253	21	4	430	36	8
11	-274	-4	0	-26	0	0	-320	-5	0
12	39	3	1	-72	-6	-1	-127	-11	-1
13	10	1	0	206	17	1	9	1	0

As Tabelas 24 e 25, permitem observar as alterações sofridas nos três cenários em relação ao cenário base para a hora de ponta da tarde.

Tabela 24 - Comparação de resultados entre a rede e os vários cenários - Hora de Ponta da Tarde

Hora de Ponta da Tarde												
Pontos	Cenário Base			Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/ Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/ Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/ Capacidade (%)	Atraso (sec.)	Tráfego (u.v.e./h)	Rácio Volume/ Capacidade (%)	Atraso (sec.)
1	2305	38	0	2028	34	0	2519	42	0	2425	41	0
2	598	50	6	571	48	6	537	45	5	522	44	5
3	914	76	32	884	74	30	854	72	30	868	73	30
4	1015	85	14	978	82	13	1093	91	15	1097	92	15
5	1002	42	7	952	40	6	1523	64	13	1294	54	10
6	555	33	5	585	34	5	434	26	3	404	24	3
7	772	64	16	720	60	14	865	72	21	921	77	23
8	1068	89	24	749	63	14	1068	89	24	689	58	13
9	677	57	22	1031	86	41	939	78	37	1287	108	58
10	945	79	12	991	83	13	1327	111	35	1248	104	19
11	1887	32	0	1796	30	0	1863	31	0	1850	31	0
12	1783	149	17	1763	147	17	1690	141	16	1638	136	15
13	1531	128	4	1090	91	3	1630	136	3	1565	130	5

Tabela 25 - Variação dos resultados na hora de ponta da tarde

Hora de Ponta da Tarde									
Pontos	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Variação Rácio Volume/ Capacidade (%)	Variação atraso (sec.)
1	-277	-4	0	214	4	0	120	3	0
2	-27	-2	0	-61	-5	-1	-76	-6	-1
3	-30	-2	-2	-60	-4	-2	-46	-3	-2
4	-37	-3	-1	78	6	1	82	7	1
5	-50	-2	-1	521	22	6	292	12	3
6	30	1	0	-121	-7	-2	-151	-9	-2
7	-52	-4	-2	93	8	5	149	13	7
8	-319	-26	-10	0	0	0	-379	-31	-11
9	354	29	19	262	21	15	610	51	36
10	46	4	1	382	32	23	303	25	7
11	-91	-2	0	-24	-1	0	-37	-1	0
12	-20	-2	0	-93	-8	-1	-145	-13	-2
13	-441	-37	-1	99	8	-1	34	2	1

As Figuras 196, 197, 198, 199, 200 e 201, complementam as informações das tabelas 20, 21, 22 e 23 relação às variações do comportamento dos cenários em comparação com o cenário base, para as três variáveis, volumes de tráfego, rácio volume/capacidade e atraso médio.

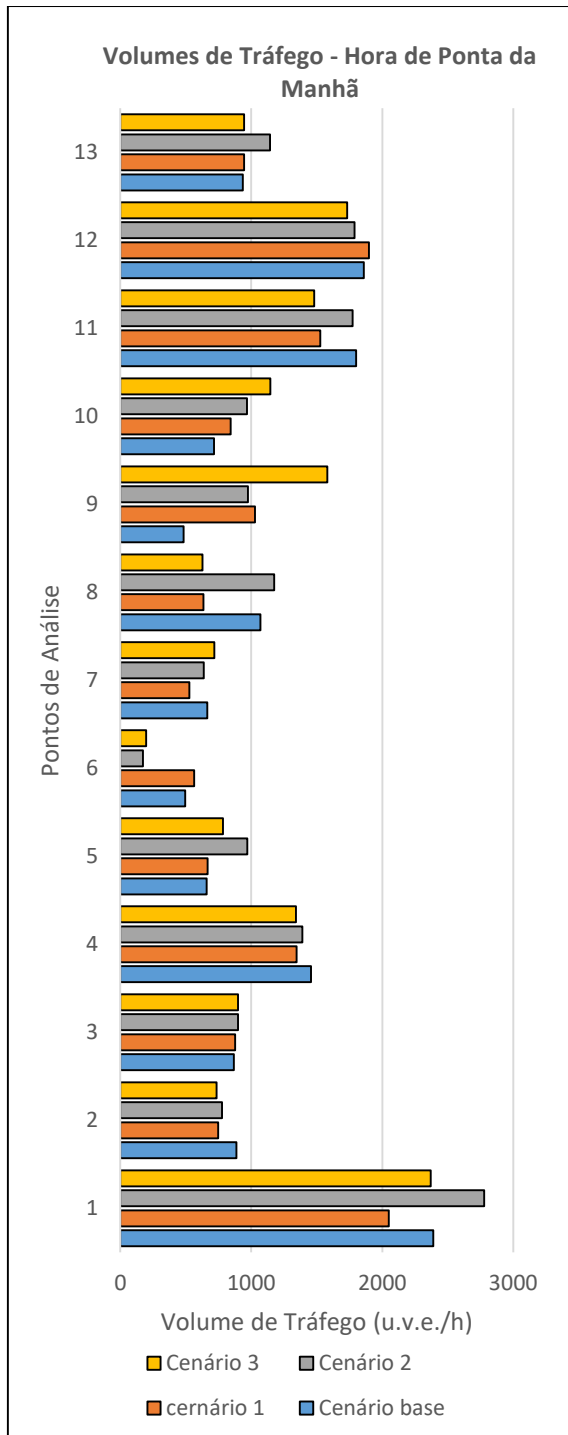


Figura 196 - Volumes de tráfego - hora de ponta da manhã

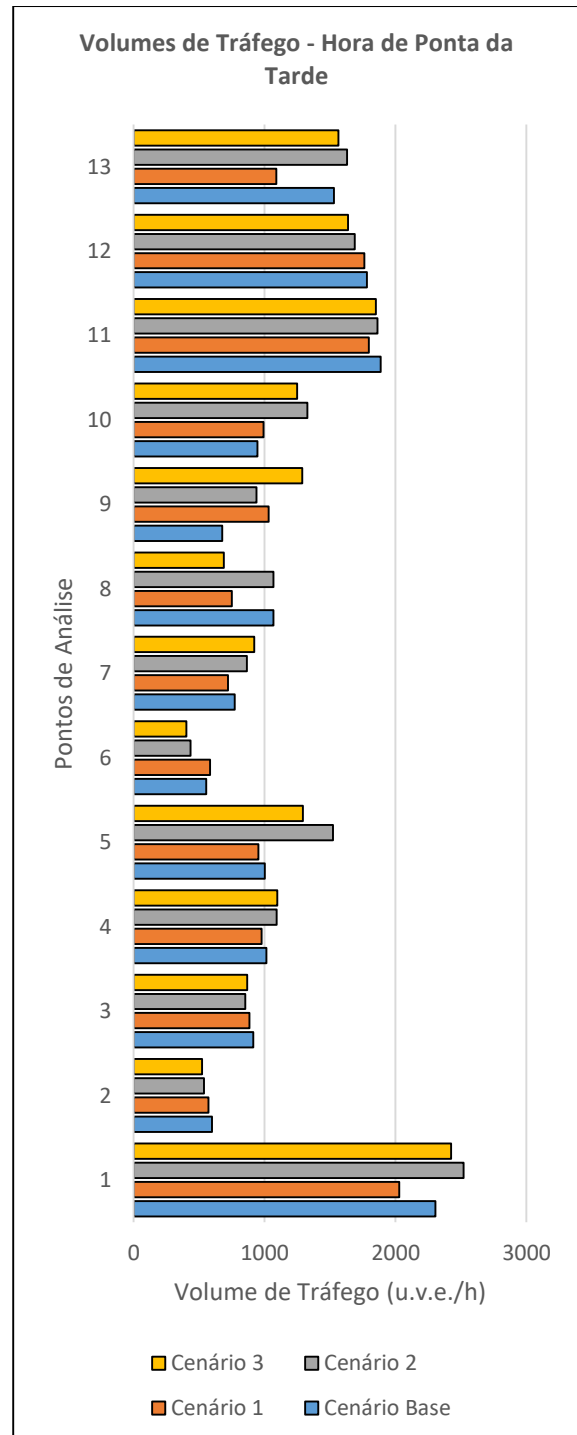


Figura 197 - Volumes de tráfego - hora de ponta da tarde

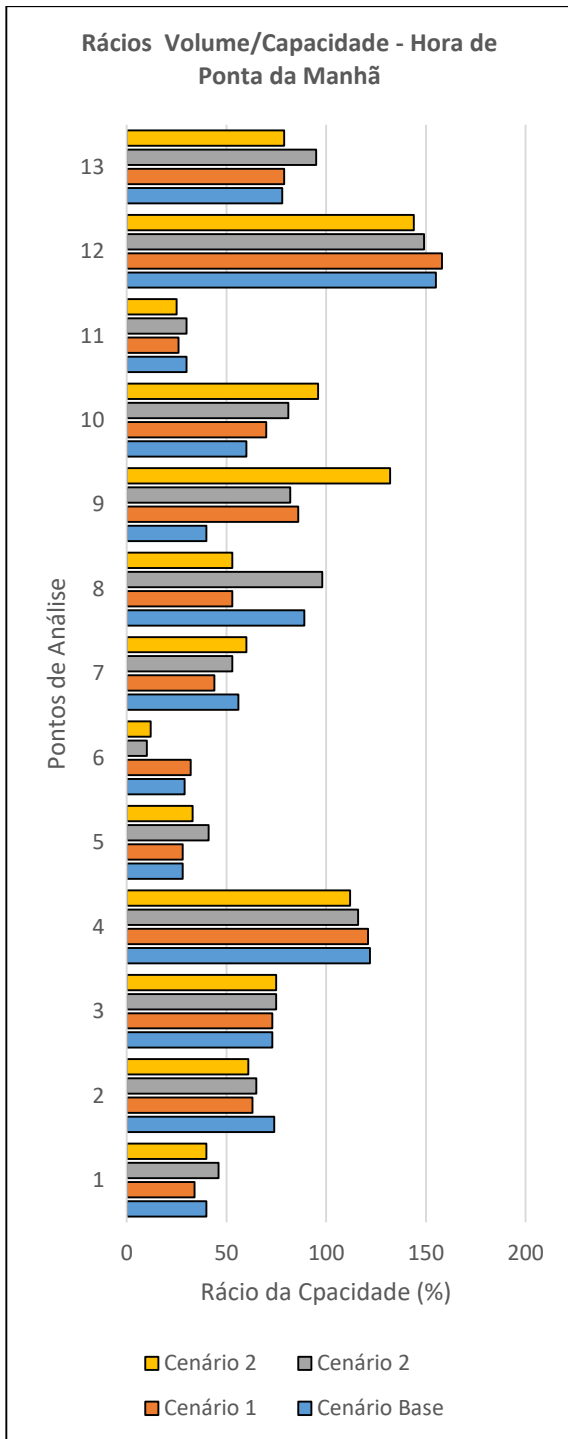


Figura 198 - Rácios Volume/Capacidade - hora de ponta da manhã

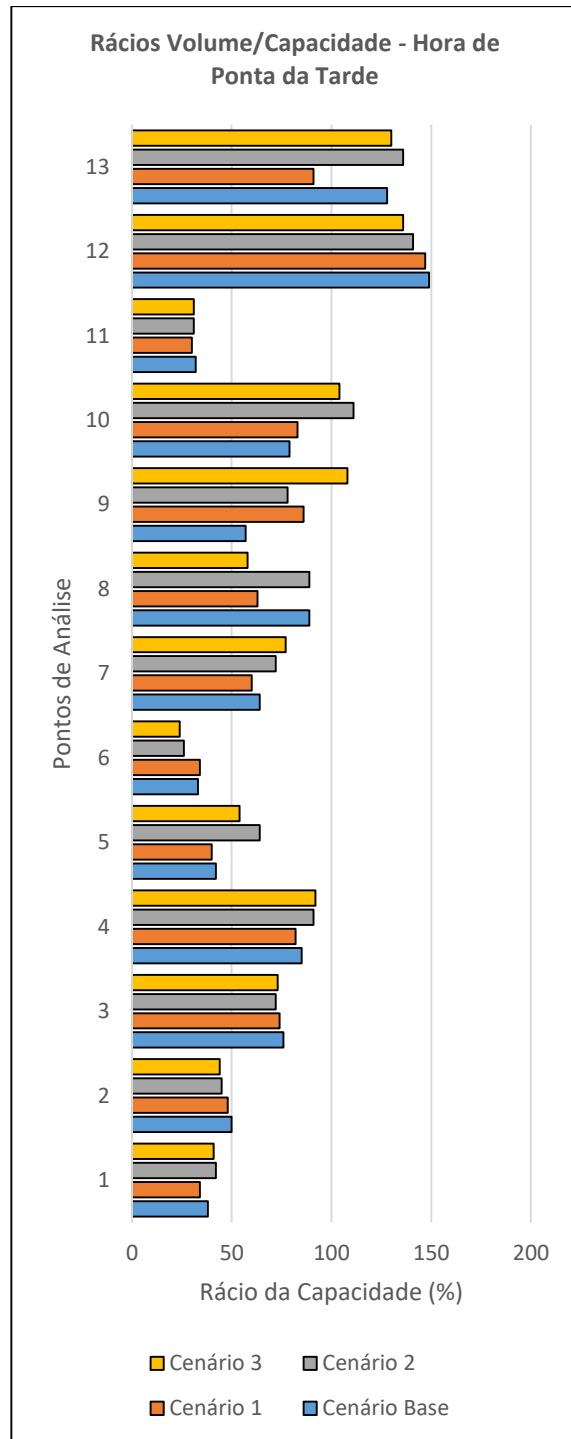


Figura 199 - Rácios Volume/Capacidade - hora de ponta da tarde

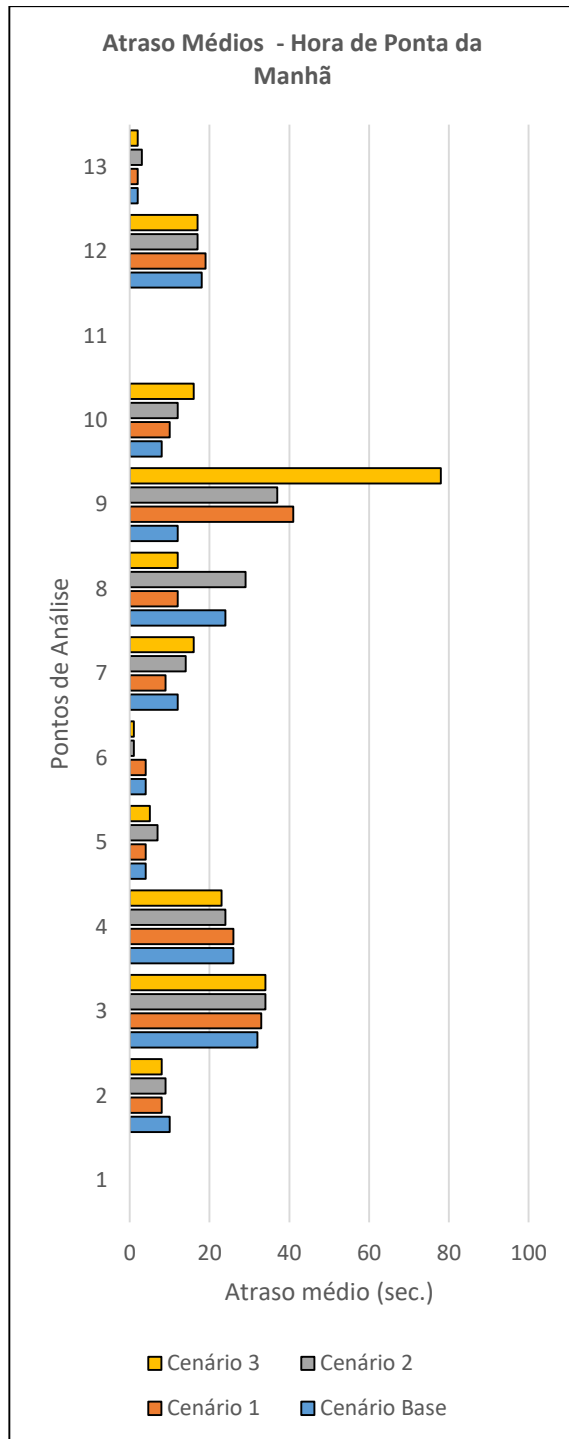


Figura 200 - Atrasos médios - hora de ponta da manhã

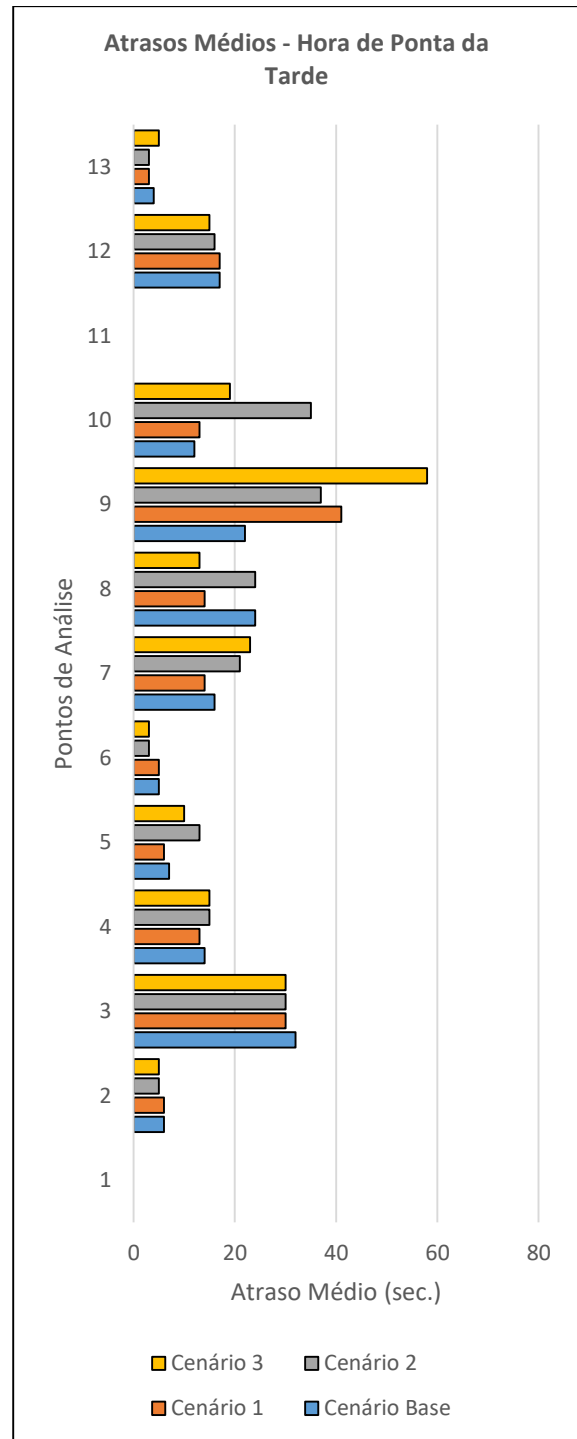


Figura 201 - Atrasos médios - hora de ponta da tarde

Todos os cenários apresentam alterações de fluxos de tráfego em comparação com a rede inicial. Apesar dos cenários serem criados para situações distintas, o cenário 3 pode ser comparado com os cenários 1 e 2, uma vez que, é uma junção das alterações efetuadas em cada um.

O Cenário 1, permitiu uma redução de volumes de tráfego na Rua Padre António Caldas – ponto 8 (cerca de 434 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e cerca de 319 u.v.e./h na hora de ponta da tarde) e a variante – EN 101- ponto 1 (cerca de 341 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e cerca de 277 u.v.e./h na hora de ponta da tarde) que era o que se pretendia, assim como possibilitou criar uma alternativa de deslocação entre a Zona de ligação a Fafe e Vizela, permitindo também uma ligação mais rápida ao centro da Cidade e à Estação de Caminhos de Ferro. A rua que sofreu maiores alterações foi a Avenida D. João IV – ponto 9 (um aumento de cerca de 545 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e cerca de 354 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), uma vez que faz uma ligação direta à nova via criada.

Apesar das vantagens que o cenário 1 trás, não foi possível a redução do tráfego no centro da cidade, tendo este se mantido praticamente constante, como se pode verificar na Alameda Dr. Alfredo Pimenta – pontos 5 e Avenida Conde de Margaride – ponto 6, que permitem o acesso ao Centro Histórico. Verifica-se também uma diminuição do tráfego na hora de ponta da tarde na Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Direção Guimarães – A11) – ponto 13 (cerca de 441 u.v.e./h), que representa uma das principais saídas da cidade.

Os rácios volume/capacidade e os atrasos médios estão diretamente ligados aos volumes de tráfego. Nas ruas onde ocorreu uma maior variação dos rácios volume/capacidade, ocorreram também variações significativas nos atrasos médios. As ruas que sofreram mais alterações em relação a estas variáveis foram a Avenida D. João IV – ponto 9, que sofreu uma subida do rácio volume/capacidade (cerca de 46% na hora de ponta da manhã e 29% na hora de ponta da tarde) e do atraso médio (cerca de 29s na hora de ponta da manhã e 19s na hora de ponta da tarde) e, a Rua Padre António Caldas – ponto 8, que sofreu uma descida do rácio volume/capacidade (cerca de 36% na hora de ponta da manhã e 26% na hora de ponta da tarde) e do atraso médio (cerca de 12s na hora de ponta da manhã e 10s na hora de ponta da tarde), decorrente das variações dos volumes de tráfego sofridas.

Com o cenário 2 corresponde ao encerramento das ruas envolventes ao Centro Histórico, constatou-se que o volume de tráfego nas ruas envolventes aumentou, mas permitiu observar que nas ruas em que ocorreram subidas de volume, mas sem que esse valor se aproxime da sua capacidade, tendo-se verificado que as ruas que apresentaram maiores subidas foram: a Avenida D. João IV – ponto 9 (cerca de 492 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 262 na hora de ponta da tarde), a Rua Eduardo Manuel José de Almeida – ponto 10 (cerca de 253 na hora de ponta da manhã e 382 na hora de ponta da tarde) e Variante – EN101 – Ponto 1 (cerca de 214 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 388 u.v.e./h na hora de ponta da tarde).

Devido ao encerramento das ruas envolventes do Centro Histórico o acesso a este, pela zona norte e zona oeste da cidade tornou-se mais complicado, ocorrendo uma descida do volume nas ruas, Avenida da Universidade – Ponto 2 (cerca de 110 u.v.e./h na hora de ponta da tarde e 61 u.v.e./h na hora de ponta da manhã) Avenida Conde de Margaride – Ponto 6 (cerca de 321 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 121 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), tendo-se verificado um aumento do volume na Alameda Dr. Alfredo Pimenta – ponto 5 (cerca de 311 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 521 na hora de ponta da tarde), Rua Padre António Caldas – ponto 8 na hora de ponta da tarde (cerca de 106 u.v.e./h), Avenida D. João IV – ponto 9 e Eduardo Manuel José de Almeida – ponto 10, visto que o tráfego foi desviado para estas, uma vez que possibilitam um acesso mais rápido o centro da cidade.

Com o cenário 2 conclui-se que o encerramento de ruas sem criar alternativas, cria dificuldades de circulação na zona envolvente do Centro Histórico da cidade. Isto verifica-se através da variação dos rácios volume/capacidade e da variação dos atrasos médios.

As ruas que sofreram maiores subidas do rácio volume/capacidade e conseqüente aumento do atraso médio foram, a Alameda Dr. Alfredo Pimenta – ponto 5 (cerca de 13% e 3s na hora de ponta da manhã e 22% e 6s na hora de ponta da tarde), a Avenida D. João IV – ponto 9 (cerca de 42% e 25s na hora de ponta da manhã e 21% e 15s na hora de ponta da tarde) e a Rua Eduardo Manuel José de Almeida – ponto 10 (cerca de 21 % e 4s na hora de ponta da manhã e 32% e 23s na hora de ponta da tarde), na Alameda Dr. Mariano Felgueiras (direção Guimarães – A11) – ponto 1 ocorreu uma grande subida do rácio (cerca de 17% na hora de ponta da manhã e 8% na hora de ponta da tarde) sem se verificar grandes variações no atraso médio.

A rua onde ocorreu uma grande decida no rácio volume/capacidade, mas sem grande impacto no atraso médio foi a Avenida Conde Margaride – ponto 6 (cerca de 19% na hora de ponta da manhã e 7% na hora de ponta da tarde). Apesar destas variações, verifica-se uma melhor distribuição do tráfego ao nível da totalidade da rede.

Tentando resolver os problemas do cenário 2, criou-se o cenário 3, com isso conseguiu-se uma significativa redução do volume de tráfego na Rua Padre António Caldas – ponto 8 (cerca de 442 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 379 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), mas por outro lado ocorreu uma subida significativa na Avenida D. João IV – ponto 9 (cerca de 1097 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 610 u.v.e./h na hora de ponta da tarde).

Podendo-se concluir que, para este cenário, houve um desvio do tráfego de acesso ao centro da cidade da Rua Padre António Caldas – ponto 8 para a Avenida D. João IV – ponto 9. Ocorreram também outras variações dos volumes de tráfego, em que se verificou um aumento, nomeadamente nas ruas Variante – EN 101 – ponto 1 (cerca de 120 u.v.e./h na hora de ponta da tarde, Alameda Dr. Alfredo Pimenta – ponto 5 (cerca de 125 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 292 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), Rua de São Torcato – ponto 7 (cerca de 53 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 149 u.v.e./h na hora de ponta da tarde) e Rua Eduardo Manuel José de Almeida – ponto 10 (cerca de 430 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 303 u.v.e./h na hora de ponta da tarde). Por outro lado, constatou-se uma redução do volume nas ruas, Avenida da Universidade – ponto 2 (cerca de 151 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 76 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), Avenida Conde de Margaride – ponto 6 (cerca de 298 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 151 u.v.e./h na hora de ponta da tarde), EN 105 (Vizela – Guimarães) – ponto 11 (cerca de 320 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 37 u.v.e./h na hora de ponta da tarde) e Alameda Dr. Mariano Felgueiras (direção A11 – Guimarães) – ponto 12 (cerca de 127 u.v.e./h na hora de ponta da manhã e 145 u.v.e./h na hora de ponta da tarde).

Esta variação dos volumes de tráfego teve influência nas variações dos rácios volume/capacidade e dos atrasos médios, sendo que as ruas que sofreram maiores alterações foram, a Rua Padre António Caldas – ponto 8, que sofreu uma diminuição significativa do rácio volume/capacidade (cerca de 36 % na hora de ponta da manhã e 31% na hora de ponta da tarde) e atraso médio (cerca de 12s na hora de ponta da tarde e 11s na hora de ponta da manhã) e a Avenida D. João IV – ponto 9, que sofreu um aumento significativo do rácio volume/capacidade

(cerca de 92% na hora de ponta da manhã e 51% na hora de ponta da tarde) e do atraso médio (cerca de 66s na hora de ponta da manhã e 36s na hora de ponta da tarde).

Existem outras ruas que sofreram variações destas variáveis, sendo que as que sofreram um aumento do seu rácio volume/capacidade e do seu atraso médio foram a Alameda Dr. Alfredo Pimenta – ponto 5 na hora de ponta da tarde (cerca de 12 %), sendo que não sofreu alterações significativas no atraso médio, a Rua de São Torcato – ponto 7 na hora de ponta da tarde (cerca de 13% e 7s) e a Rua Eduardo Manuel José de Almeida – ponto 10 (cerca de 36% e 8s na hora de ponta da manhã e 25% e 7s na hora de ponta da tarde). Outras ruas que sofreram descidas no rácio volume/capacidade não tendo sofrido variações significativas do atraso médio foram, a Avenida Conde de Margaride – ponto 6 (cerca de 17% na hora de ponta da manhã e 9% na hora de ponta da tarde) e a Alameda Dr. Mariano Felgueira (direção A11 – Guimarães) – ponto 12 (cerca de 11% na hora de ponta da manhã e 13% na hora de ponta da tarde).

Posto isso, este cenário não é a melhor alternativa ao desvio do tráfego do centro da cidade, pois a Avenida D. João IV encontra-se numa zona residencial e comercial o que impossibilita fazer grandes alterações que possam melhorar o seu desempenho. Tendo esta rua também ligação direta ao centro da cidade.

A hora de ponta da manhã teve uma maior influência na análise dos cenários, pois é neste período que ocorrem as maiores variações dos fluxos de tráfego e maiores problemas na circulação do tráfego, como um maior rácio volume/capacidade e um maior atraso médio. Durante o período da tarde ocorre uma maior distribuição do tráfego durante todo o período.

Esta análise dos cenários permitiu observar como o tráfego varia dependendo das várias situações, permitindo criar novas alternativas e novos cenários de forma a melhorar o cenário base ou os cenários estudados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A modelação da rede de transporte individual teve como base o Modelo de Quatro Passos descrito no capítulo 2, onde foram apresentadas as fases do modelo, nomeadamente a geração/atração de viagens, distribuição de viagens, repartição modal e afetação. Neste estudo de caso apenas se incidiu no passo da afetação, uma vez que se está apenas a trabalhar com um único modo de transporte, logo não há repartição modal, e não se gerou a matriz de procura ou matriz Origem – Destino (OD) na fase inicial do estudo. É de salientar que a matriz OD final que será utilizada para realizar a afetação do tráfego à rede foi criada com o auxílio da ferramenta *TFlowFuzzy* e com o desenvolvimento de um processo de calibração proceder ao desenvolvimento e uma aplicação prática que se apresenta no estudo de caso. De seguida são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado durante esta dissertação e as dificuldades decorrentes da aplicação do estudo de caso em causa.

5.1. Dificuldades

Como foi referido no capítulo 1, um dos principais objetivos desta dissertação consistia na modelação e avaliação do comportamento de uma rede viária para o transporte individual, isto é, que não contemple a especificidade de outros modos de transportes (modos suaves e transportes coletivos) através da utilização de um software especializado (PTV Visum), que é líder de mercado na área da modelação de tráfego.

A seleção do software PTV Visum teve em consideração as vantagens associadas à simplicidade de utilização, permitindo ao utilizador compreender facilmente a informação acerca do seu funcionamento. Porém, como qualquer software, este requereu um longo período de aprendizagem e conhecimento teórico para uma melhor aplicação, uma vez que os conteúdos analisados não fazem parte de qualquer unidade curricular do plano de estudos do curso de Engenharia Civil.

A rede dedicada ao transporte individual foi desenhada diretamente no PTV Visum, tendo por base o traçado sobre um mapa disponibilizado no mesmo, que permitiu ultrapassar problemas relacionados com a importação de redes em outros formatos, como por exemplo, *shapefiles* de um SIG ou ficheiros de CAD. Este desenho pressupôs a realização de um estudo prévio sobre variáveis a introduzir na rede, como velocidades mínimas e máximas e capacidades dos arcos e das viagens, que foram carregados durante o desenho dos vários elementos da rede (nós,

arcos e viragens). A construção e desenho da rede foi um exigente processo de aprendizagem, pois apesar da bibliografia consultada sobre a utilização do software, verificou-se que muita da informação adquirida teve por base um conhecimento empírico associado à utilização do PTV Visum nomeadamente, através da realização de “afinações” no modelo no que respeita a cruzamentos, viragens, número de vias e sentidos de tráfego. Apesar do tempo despendido na construção do modelo, este foi bastante enriquecedor para um melhor conhecimento do software.

Terminado o desenho e “afinação” da rede, encontrou-se outro obstáculo na fase inicial do tratamento da informação, no que respeita à importação dos dados de tráfego para o modelo, em que esta, pode ser feita através de vários processos, tais como, base de dados, folha de cálculo ou, de forma mais lenta, morosa e sujeita a erros de carregamento, através da inserção direta dos dados no modelo. Depois de várias tentativas e falhas na importação dos dados através de uma folha de cálculo, optou-se pela inserção direta no software, manualmente. O reduzido número de postos de contagem foi um dos principais fatores que permitiram e tornaram viável a adoção desta forma de introdução dos dados no software, que se verificou ao nível das viragens de forma a tornar o modelo mais rigoroso em termos de modelação da realidade.

Por outro lado, importa realçar que para se avaliar o funcionamento é necessário conhecer as cargas de tráfego nos vários eixos e interseções da rede, devendo, por isso, ser definida uma matriz Origem-Destino (OD) que permita realizar o passo da afetação do tráfego à rede.

Assim, após a importação dos dados das contagens de tráfego, é necessário criar uma matriz OD inicial, para uma primeira afetação do tráfego à rede. Quando não se dispõe dessa matriz, conclui-se que é necessário arbitrar uma matriz inicial de valor unitário, que é a tipicamente utilizada noutros software de modelação de tráfego.

O ajustamento da matriz OD inicial assenta no procedimento de cálculo com base na bibliografia analisada, tendo surgido um problema relacionado com os dados *output* da nova matriz OD, tendo-se verificado que os valores gerados eram muito irrealistas, na ordem dos milhares de milhão de viagens entre as zonas. Este foi um dos obstáculos mais complicado de ultrapassar, onde se verificou de novo, a falta de conhecimentos efetivos na utilização do software e no conhecimento da área de estudo, pois descobrir a origem e quais os passos

necessários para a resolução do mesmo implicou um longo período de tempo, comparativamente com os outros passos da modelação.

O problema foi resolvido através da consulta de especialistas na área da modelação e transportes, tendo sido sugerida e adotada uma matriz OD inicial com valores mais levados, pelo que se optou por um valor de 10.

A construção da matriz OD final para cada período implicou um processo de calibração muito moroso, pois, para os valores modelados serem validados os valores do parâmetro GEH tinham que cumprir os critérios descritos no ponto 3.7.3 do capítulo 3. Teoricamente todas as fases do processo de calibração são de fácil compreensão, mas a sua aplicação requer alguma experiência, nomeadamente, no que diz respeito a que as alterações a serem efetuadas na rede, de forma a calibrar o modelo, sejam as mais adequadas.

5.2. Conclusões

Assim, após a calibração e validação dos valores modelados que resultou na criação da matriz OD final, conclui-se um dos principais objetivos desta dissertação. No entanto, não foi possível validar as matrizes OD finais devido, sobretudo, há falta de informação relacionadas com contagens noutros pontos da rede e da não existência de uma matriz OD inicial. Apesar disso, tendo em conta os valores obtidos e o conhecimento da área do estudo de caso, pode-se concluir que os resultados satisfatórios.

Concluída a construção do modelo da rede viária afetada, procedeu-se à análise do comportamento e desempenho da rede associada ao transporte individual, recorrendo à caracterização e respetiva discussão dos resultados para as variáveis, volume de tráfego, rácio do volume-capacidade, atraso médio e acessibilidade a determinados pontos de interesse da área de estudo (Hospital da Senhora da Oliveira, Universidade do Minho – Campus de Azurém, Central de Camionagem e Estação de Caminhos de Ferro). Após esta análise conclui-se que o período que contém valores mais elevados é a hora de ponta da manhã, em que as ruas que apresentara maiores problemas de circulação, ao nível da rede distribuidora principal (rede modelada), apresentara rácios de volume/capacidade muito elevados, que originam atrasos médios significativos são:

- EN 101, com ligação a Braga, a Rua de São Gonçalo que faz a ligação entre os Estádio D. Afonso Henriques e a Alameda Dr. Alfredo Pimenta;
- Alameda S. Dâmaso que faz a ligação entre a praça do Toural e o Largo da República do Brasil;
- Rua Cónego Dr. Manuel Faria que faz a ligação entre a PSP e a Avenida da Universidade;
- Alameda Dr. Mariano Felgueiras que tem ligação à A11, EN105 direção Vizela e EN 101 direção Fafe;
- Rua Padre António Caldas que faz a ligação do centro Histórico da cidade à EN 101 direção Fafe;
- Rua de Santo António e a Rua Capitão Alfredo Guimarães.

Como a rede distribuidora local faz a ligação a todas as zonas (conectores), é através desta que as viagens vão entrar e sair destas, originando assim volumes elevados de tráfego nos arcos que fazem ligação aos conectores, logo estes valores não podem ser tidos em conta. De forma a modelar a rede distribuidora local, foi necessário construir a rede de acessos locais, de modo a esta fazer a ligação às zonas (conectores).

Em relação à acessibilidade, conclui-se que a Estação de Caminhos-de-ferro é a que apresenta maiores tempos médios de viagem em relação aos quatro pontos de interesse definidos para a rede, isto deve ao facto das estradas utilizadas para fazer uma viagem deste ponto para os outros encontrarem com os maiores rácios de volume-capacidade e consequentemente maiores atrasos médios. Uma vez realizada esta análise conclui-se mais um dos principais objetivos desta dissertação.

Por último, estudaram-se possíveis futuras intervenções na rede para demonstrar o interesse da potencial aplicabilidade do modelo criado, a partir de cenários, onde foram avaliadas as variações sofridas nos fluxos de tráfego resultantes das alterações preconizadas para cada cenário em relação ao cenário base/rede inicial., tendo sido criados três cenários para esse efeito.

O cenário 1 corresponde à criação de uma nova via sob a forma de variante localizada na encosta do monte da Penha, que liga a zona da Estação de Caminhos-de-ferro (Guimarães Sul – Vizela) e a zona de Mesão Frio (Guimarães Norte – Fafe), em que o principal objetivo é aliviar a pressão

do tráfego na Rua Padre António Caldas e na Variante – EN 101. Este objetivo foi atingido, resultando num aumento do tráfego na Avenida D. João IV e na Rua Eduardo Manuel José de Almeida. Mas, este aumento não condicionou a circulação do tráfego, pois os valores dos rácios volume/capacidade e do atraso médio não condicionam a boa circulação do tráfego automóvel, sendo possível concluir que este cenário obteve bons resultados comparativamente ao cenário base (rede inicial), podendo ser uma hipótese de implementação no futuro.

O cenário 2 corresponde à hipótese de encerramento ao tráfego automóvel de algumas ruas em torno do Centro Histórico, de forma a melhorar o acesso pedonal aos pontos emblemáticos e históricos da cidade. Esse encerramento consiste em ligar de forma pedonal o castelo de Guimarães, os Passos dos Duques de Bragança, a Praça do Toural, o Jardim Público da Alameda e o convento de São Francisco ao Centro Histórico, criando na zona histórica uma maior área unicamente pedonal.

Deste modo, para o aumento desta área foram encerradas ao tráfego automóvel as seguintes ruas, na zona norte do centro histórico, a Rua Serpa Pinto, Rua Agostinho Barbosa e Largo Martins Sarmiento e na zona sul, as Ruas do Largo do Toural, Alameda de S. Dâmaso e Rua de Santo António. Este encerramento implicou a alteração de sentidos de tráfego na Rua Paio Galvão, em parte do Largo do Toural e na Avenida D. Afonso Henriques, de forma a não criar dificuldades de circulação na rede. Com esta alteração verificou-se um aumento dos volumes de tráfego, rácios do volume-capacidade e atrasos médios nas ruas envolventes a esta nova “alargada” área pedonal do centro histórico, em que as ruas que apresentam maiores subidas de volumes de tráfego e conseqüente rácio volume/capacidade e atraso médio são a Avenida D. João IV e a Rua Eduardo Manuel José de Almeida, pois neste cenário tornam-se ruas de elevada importância para a circulação do tráfego automóvel na ligação ao centro da cidade. Por consequência, ocorreu uma descida do volume de tráfego, rácio volume/capacidade e atraso médio na Avenida da Universidade, Rua Cónego Dr. Manuel Faria e EN 101 – Braga – Guimarães e Alameda Dr. Alfredo Pimenta. Estas variações acentuaram-se mais no período referente à hora de ponta da tarde.

Analisando as variações dos fluxos de tráfego ocorridas neste cenário, conclui-se que a rede apresenta maiores problemas na zona envolvente à área do encerramento das ruas, tendo-se verificado um constrangimento no escoamento dos fluxos de tráfego em toda a rede.

Já, o cenário 3 tenta minimizar o impacto na circulação do tráfego devido às condições impostas com a implementação do cenário 2 e condicionar as vantagens do cenário 1. Mas, esta solução resultou num aumento significativo do volume de tráfego, rácio do volume/capacidade e atraso médio na Rua Eduardo Manuel José de Almeida e Avenida D. João IV, formando-se nestas ruas problemas ainda maiores aos observados no cenário 2. Pois, para além, de estas serem vias com elevada importância para garantir bons níveis de acesso do tráfego automóvel ao centro da cidade, também passam a ser as principais ligações à nova ligação. A vantagem que este cenário tem em relação ao cenário 2, é o facto da Rua Padre António Caldas passar a apresentar boas condições de circulação, com a descida acentuada do seu volume de tráfego, rácio do volume/capacidade e atraso médio. Não se notando no cenário 3 mais alterações com elevada relevância em relação ao cenário 2.

Este cenário apresenta bons resultados, exceto nas ruas, Rua Eduardo Manuel José de Almeida e Avenida D. João IV, que por sua vez atravessam e servem zonas comerciais e residenciais, onde existem grandes fluxos de tráfego pedonal, podendo criar problemas na sua reabilitação de forma a melhorar as suas condições de circulação. Com esta análise conclui-se que este cenário também levanta alguns problemas de circulação e não resolve completamente os impactos da implementação do segundo cenário, permitindo concluir que terão de ser propostas outras alterações que tornem mais eficientes o funcionamento da rede quando se pretenda fechar o centro histórico de Guimarães ao trânsito.

Com esta análise dos cenários conclui-se que o cenário que apresenta melhores resultados para a circulação do tráfego automóvel é o cenário 1. Por outro lado, o cenário 3, com as devidas alterações na ligação a Mesão Frio, poderá apresentar melhores resultados do que os registados, se forem corrigidas as ligações à rede distribuidora. Feita esta análise, conclui-se o quarto e último objetivo desta dissertação, que demonstra a necessidade do desenvolvimento de modelos de tráfego para redes viárias com diferentes tipos de modos de transporte, sobretudo para testar hipóteses de intervenções e avaliar se o alcance territorial do impacto é maior do que a simples intervenção.

5.3. Perspetivas futuras

Este modelo apesar de se tratar de um exercício técnico-científico pode ser usado para a exploração de novas ferramentas no PTV Visum ou até ser adotado pela Câmara Municipal de Guimarães para futuros estudos, com as devidas alterações e incorporação de mais dados.

O desenvolvimento deste estudo permitiu a identificar alguns trabalhos que podem vir a ser realizados futuramente ao nível da utilização de software de modelação de transportes, nomeadamente:

- A exploração do modelo de quatro passos na sua totalidade, ou seja, aplicação das várias fases do modelo para o estudo de redes de transportes;
- O estudo de modelos de transportes integrando outros modelos de afetação, nomeadamente o Estocástico, “Tudo ou Nada”, etc.;
- O estudo de redes onde sejam integrados vários modos de transportes, permitindo analisar a sua interação, como a interação do transporte individual e do transporte coletivo;
- O estudo de redes com uma hierarquização viária composta por um largo número de tipos de via, ou seja, integrando autoestradas, IP’s, IC,s, vias rápidas e distribuidoras principais;
- A exportação de dados da rede a software de microssimulação, em concreto o PTV Vissim, que permite o estudo de cruzamentos e de pequenas redes, bem como a sua incorporação direta no PTV Visum;
- Cálculo de outras variáveis de comportamento e desempenho para além das que foram estudadas neste trabalho, como a velocidade média e custo dos veículos;
- A atualização e validação de modelos já existentes para o estudo do melhoramento de zonas problemáticas de uma cidade ou de uma área mais abrangente como um distrito ou a nível regional;

A modelação de tráfego dispõe de vários software para a sua execução que, pela fiabilidade dos resultados, pela apresentação gráfica, facilidade de utilização e compreensão das ferramentas, possui inúmeras capacidades que poderão ser alvo de trabalhos futuros, como:

- O estudo da interação de vários sistemas de transporte (transporte individual, transporte coletivo, pedonal);
- Estudo de redes de transportes coletivos;
- Estudo de emissões de poluentes;
- Aplicação a uma rede de grande dimensão como rede de autoestradas de um país;

- Cálculo de gastos dos utentes, como custos de portagens, custos de viagem, despesas com o veículo.

Permite também estudos de mobilidade da população, o que é um bom auxiliar para estudos de sustentabilidade.

Por último, será igualmente importante no futuro explorar a importação de vários tipos de dados, como mapas e dados de tráfego a partir de ficheiros de outros software e incorpora-los no PTV Visum, como por exemplo *shapefiles* (ArcGIS), *DWG* (AutoCAD), permitindo também a exportação para os mesmos. Este possui vários tipos de mapas como o *OpenStreetMap* e fotografia aérea que permita ter uma maior perceção da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, C. E. P., 2010. *Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego*. Brasil. em http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelos_tradicionais.pdf, acessado em abril de 2016.
- Colella, D. A. T. & Demarchi, S. H., 2005. *Calibração da Curva Fluxo-velocidade do Simulador INTEGRATION a partir de Tempos de Percurso em Vias Urbanas*. Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife, Pe, v-2, p. 1058-1069
- Costa, A. H. P., 2008. *Correntes de Tráfego*. Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária, cap. 2. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Duarte, M. R., 2013. *Caracterização do desempenho das redes rodoviárias com base em modelos de afetação de tráfego. Aplicação à Rede Rodoviária Nacional*. Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Vias de Comunicação e Transportes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Figueiredo, L. M. B., 2005. *Sistemas Inteligentes de Transporte*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Figueiredo, M. F., 2013. *Avaliação do Efeito da Variação de Parâmetros de Calibração na Qualidade dos Resultados de Estudos de Simulação de Tráfego*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Filho, J. V. C., 1995. *A modelagem de Perdas em Problemas de Transporte*. Teoria e Evidência Econômica, Ano 3, N. 6, pp. 43-55. Brasil
- Freitas, L. M., 2015. *Modelagem da demanda por transportes por meio de um modelo de escolha discreta: uma aplicação ao município de armação dos búzios*. Projeto de Graduação para a Obtenção do Título de Engenheiro, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Formação Básica em PTV Visum e Vissim, 2015. Folhas de Apoio, TIS - Consultores em Transportes Inovação e Sistemas, S.A.

Geroliminis, N. & Daganzo, C. F., 2007. *Macroscopic traffic modeling in cities.* Presentation 86th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.

Green, J., Hussain, K., Lonnisdís, L., Kibuuka, C., Vorotović, V., Barton, G., Earl, T., Little, B., Robinson, J., Singh, M., Taylor, A., Adams, N., Piper, T., Cheetham, N., Cotton, S., Dye, J., Johnson, L., Lee, J., Line, C., Miller, S., Turton, P., Binning, J., Carrignon, D., Cottman, N., Ghosh, S., Hall, M., Hooper, D., Nökel, K., 2010. *Traffic Modelling Guidelines.* TfL Traffic Manager and Network Performance Best Practice. Thirst edition, Transport for London, U.K.

HMSO – Her Majesty’s Stationery Office, 1991. *Traffic appraisal in urban areas.* Design Manual for Roads and Bridges, Traffic appraisal of road schemes, Vol. 12, Section 1, Part 1.

Lee, M. & Yoo, S., 2016. *The role of transportation sectors in the Korean national economy: An input-output analysis.* Transportation Research Part A, Vol. 93, pp 13-23.

Lemes, D. C. S. S., 2005. *Geração e análise do cenário futuro como um instrumento do planejamento urbano e de transportes.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

Loureiro, C. F. G., Matos, A. R. P., Bertoncini, B. V., 2011. *Abordagem Bayesiana na Estimção de Matrizes de Origem e Destino Sintéticas em Redes de Transportes.* XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. ANPET, Belo Horizonte, Brasil.

Macedo, E.L., 2004. *Noções de Topografia para Projetos Rodoviários.* Brasil;

Machado, J. P. A., 2004. *Sistemas Inteligentes de Tráfego: Modelação Simulação.* Projeto de Licenciatura em Engenharia Informática, Instituto Superior de Engenharia do Porto

- Maia, F. V. B., 2007. *Calibração e validação de modelos de meso e microssimulação do tráfego para a avaliação de intervenções tático-operacionais na malha viária urbana*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Martins, A. P., Barros, F. R., Pereira, J. L. M. B., Trinta, Z. A., Oliveira, A. C., Coelho, A. E. R., Ramos, A. M., Rosa, C. L. M., Martins, F. O., Stuckert, G. L., Silva, M. D., Barbosa, J. C. M., Nigri, E. S., Filho, A. M. S., Costa, E. S., Pereira, D. A., 2006. *Manual de estudos de tráfego*. Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Brasil.
- Martins, P. M., 2009. Folhas de Apoio da Unidade Curricular de Dimensionamento de sistemas de Transportes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- NSW Government, 2013. *Traffic Modelling Guidelines*. First Version, Transport Roads & Maritime Services, Australia.
- Ortuzar, J. D., Willumsen, L. G., 2011; *Modelling Transport*, Fourth edition, John Wiley & Sons, Lda, West Sussex, U.K.
- PTV Group, 2015. *PTV Visum 15 Manual*, 2015. PTV AG, Karlsruhe, Germany.
- PTV Group, 2016. *Transport strategy and transport modelling with PTV Visum*. em <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-visum/>, acessido em outubro de 2016.
- Peixoto, A. G., 2013. *Método para a construção de uma matriz de origem e destino utilizando algoritmo para localização de trechos para a realização das pesquisas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Ramos, A. F. F., 2008. *Proposta de medidas para melhoria da mobilidade em transporte rodoviário urbano – o caso do Barreiro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

- Ramos, A., Neto, L., 2012. *Afetação e calibração de um modelo de tráfego*. Trabalho Prático N.2, Unidade Curricular de Técnicas de Apoio ao Planeamento de Transportes, Mestrado em Planeamento e Operação de Transportes, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Silva, J. A., 2007. *Os Modelos de Transportes e Usos do Solo – O Modelo de Lowry*. Folhas de Apoio da Unidade Curricular de Transportes Ambiente e Usos do Solo, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa.
- Souza, D. D. de M. R., 2007; *Estimação Sintética de Matrizes Origem/Destino a partir de Contagens Volumétricas em Áreas com Controle do Tráfego em Tempo Real com o Auxílio do Queensod*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil;
- Tavares, J. P., 2003. *Aplicabilidade e robustez de modelos de afetação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Tavares, J. P., Bastos, A. & Moura, F., 2016. *Modelos no Âmbito dos Transportes*. Folhas de Apoio da Unidade Curricular de Modelação de Sistemas de Transportes, Mestrado Integrado em Engenharia de Sistemas de Transportes, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Vasconcelos, A. L. P., 2004. *Modelos de atribuição e simulação de tráfego. O impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Viegas, J. M., 2014. Folhas de Apoio da Unidade Curricular de Transportes, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Viegas, J. M., 2000. *A utilização de modelos matemáticos para a estimação de procura de transportes*. Lisboa;

Vilarinho, C. A. T., 2008. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

ANEXOS
