



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



**Aplicação de Modelos de Análise de Tráfego em Ambiente
Real, incluindo a recolha de dados com recurso a Drone**

DANNILO GOBIRA DE ALMEIDA
(Licenciado em Engenharia Civil)

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em
Vias de Comunicação e Transportes

Orientador:

Doutor Paulo Matos Martins

Júri:

Presidente: Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Vogais:

Doutora Cármen de Jesus Geraldo Carvalheira
Doutor Paulo Matos Martins

Dezembro de 2022

*À Antónia Gobira dos Santos,
que algumas décadas atrás, no auge
da sua fé em Jeová, garantiu que
esse dia iria chegar...*

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada gostaria de externar a minha profunda gratidão para com todos aqueles que de alguma forma contribuíram e me apoiaram durante essa etapa singular da minha vida.

Faço questão de apresentar o devido e merecido destaque ao meu orientador, Professor Paulo Matos Martins, por todo apoio prestado, pela disponibilidade apresentada e pela dedicação investida perante as dúvidas, dificuldades e os demais contratempos que se fizeram presentes no meu caminho durante o este período do estágio académico. Agradeço ainda às professoras Maria da Graça Lopes, Maria Helena Gamboa e ao professor Vítor Simões pelos sábios e valorosos conselhos oferecidos a mim em delicados momentos que ocorreram durante o período da minha vida académica.

Quero agradecer também a cada um dos colaboradores da FJ.Consultores: Diogo Jardim, Francisco Faria, Ana Filipa e a Filipa Gomes, por me receberem de portas abertas, me fazendo sentir parte da estrutura da empresa e por disponibilizarem essa valiosa oportunidade de experiência profissional, na qual pude absorver conhecimentos de alto nível no que diz respeito a área de mobilidade e transporte.

Não poderia deixar de agradecer ao Dr. Pedro Santos da TIS.pt e à empresa PTV pelo acesso a uma licença académica ao software Vissim que foi empregue no desenvolvimento dos modelos apresentados no Cenário 1 e no Cenário 2. Assim como não poderia deixar de agradecer pela atenção do Professor José Alberto Rodrigues ao disponibilizar um dos projetos desenvolvidos no decorrer do programa de estágio Ciência Viva, que acontece todos os anos no ISEL, com um modelo do Edifício Ferreira Cardoso (Edifício C), que se encontra nas instalações dessa mesma entidade académica.

Agradeço ainda a todos os meus familiares, amigos e aos meus especiais colegas e companheiros de vida académica. Todos estes que me apoiaram durante esse capítulo da minha jornada pessoal, com destaque a dois nomes de suma importância: minha irmã de sangue, Ariany Gobira de Almeida e o meu irmão de vida, Paulo Sérgio Ferreira Varela... muito obrigado!

RESUMO

A aplicação de modelos nos estudos de tráfego urbano tem apresentado grande evolução. Esse facto está ligado a dois motivos principais: a dificuldade e o custo em concretizar experiências em escala real, assim como possíveis consequências em questões de segurança; e a capacidade que os modelos possuem para testar, comparar e avaliar alternativas, sem a necessidade de as mesmas serem concretizadas.

Este documento se faz presente para expor, descrever e refletir sobre as atividades e os estudos que foram realizados durante o período do estágio académico, que decorreu na empresa de consultoria FJ. Consultores, Lda., visando a futura conclusão do presente mestrado que se decorre e a transparência dos conhecimentos interiorizados.

Junto ao desenvolvimento desse relatório de estágio foi possível adicionar uma atividade de caráter investigativo, dividida em dois cenários distintos, cada um deles com duas etapas: a primeira etapa explora técnicas de recolha de dados com recurso ao drone adquirido pelo ISEL, no âmbito do protocolo com a empresa DatafromSky, que é empregue nas análises dos dados recolhidos, devido a ser especialista na aplicação de inteligência artificial para o desenvolvimento de técnicas inovadoras de análise de tráfego.

Na segunda etapa dessa atividade é desenvolvido um modelo de simulação, recorrendo ao software Vissim, pertencente ao grupo PTV, que se trata de um dos principais programas de simulação microscópica, apresentando um modelo realista e preciso em todos os seus detalhes, disponibilizando condições ideais para se estudar as condições de tráfego. Este software é uma referência, a nível mundial, na área da engenharia de tráfego e atualmente é utilizado nas universidades, no setor público e nas empresas de engenharia.

Por fim, acredita-se que o desenvolvimento do presente relatório alcança pontos importantes como: descrição e análise crítica das atividades, reflexão sobre as problemáticas apresentadas, transparência dos conhecimentos absorvidos e uma análise global e fidedigna para com este estágio académico.

PALAVRAS-CHAVE: modelo de simulação de tráfego; tráfego rodoviário; tráfego pedonal; DataFromSky; Vissim.

ABSTRACT

The application of models in urban traffic studies has shown great evolution. This fact is linked to two main reasons: the difficulty and cost of conducting full-scale experiments, as well as possible consequences in safety issues; and the ability that models have to test, compare and evaluate alternatives, without the need for them to be realized.

This document is presented to expose, describe, and reflect on the activities and studies that were carried out during the academic internship period, which took place at the consulting firm FJ. Consultores, Lda., aiming at the future conclusion of the present master's program and the transparency of the knowledge internalized.

Along with the development of this internship report, it was possible to add an activity of investigative nature, divided into two distinct scenarios, each of them with two stages: the first stage explores data collection techniques using the drone acquired by ISEL, under the protocol with the company DatafromSky, which is used in the analysis of the collected data, due to be a specialist in the application of artificial intelligence for the development of innovative techniques of traffic analysis.

In the second stage of this activity, a simulation model is developed, using the Vissim software, belonging to the PTV group, which is one of the main microscopic simulation programs, presenting a realistic and precise model in all its details, providing ideal conditions to study traffic conditions. This software is a worldwide reference in the area of traffic engineering and is currently used in universities, the public sector, and engineering companies.

Finally, it is believed that the development of this report achieves important points such as: description and critical analysis of the activities, reflection on the problems presented, transparency of the knowledge absorbed and a global and reliable analysis of this academic internship.

KEYWORDS: traffic simulation model; road traffic; pedestrian traffic; DataFromSky; vissim

ÍNDICE

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS.....	XX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XXII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO.....	2
1.3 OBJETIVO.....	2
1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	3
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	4
2 RECOLHA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	7
2.1 INTRODUÇÃO.....	7
2.2 LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS E TIPOLOGIAS DAS CONTAGENS.....	7
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS PARA RECOLHA DE DADOS.....	10
2.3.1 <i>Métodos intrusivos</i>	10
2.3.2 <i>Métodos não-intrusivos</i>	10
2.4 PERÍODO DE RECOLHA DOS DADOS.....	12
2.5 TRATAMENTO DE DADOS.....	13
2.5.1 <i>Classificação dos veículos e homogeneização do tráfego</i>	14
2.5.2 <i>Classificação dos movimentos e nível hierárquico</i>	15
2.5.3 <i>Volumes de tráfego</i>	17
2.5.4 <i>Tempo e Distância entre veículos</i>	19
2.5.5 <i>Débito</i>	20
2.5.6 <i>Fator de ponta horário</i>	21
2.5.7 <i>Velocidade individual e Velocidade Média</i>	21
2.5.8 <i>Concentração e Taxa de ocupação</i>	22
2.5.9 <i>Matriz origem/destino</i>	23
2.5.10 <i>Níveis de serviço</i>	24
2.6 DATAFROMSKY.....	25
2.6.1 <i>Aplicação em estudos de tráfego</i>	27
3 APLICAÇÃO DE MODELOS NA ANÁLISE DE TRÁFEGO.....	31
3.1 DEFINIÇÃO DE MODELO.....	31
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS.....	32
3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO.....	33
3.4 CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE TRÁFEGO.....	35
3.5 SIMULAÇÃO.....	35
3.5.1 <i>Simulação de eventos discretos</i>	37

3.5.2	<i>Simulação baseada em agentes</i>	37
3.6	MODELAÇÃO APLICADA EM TRÁFEGO RODOVIÁRIO.....	38
3.6.1	<i>Perspetiva histórica</i>	39
3.6.2	<i>Funções e objetivos</i>	40
3.6.3	<i>Modelo de Quatro Passos</i>	41
3.6.3.1	GERAÇÃO.....	42
3.6.3.2	DISTRIBUIÇÃO.....	42
3.6.3.3	REPARTIÇÃO MODAL.....	43
3.6.3.4	AFETAÇÃO DE TRÁFEGO.....	43
3.6.4	<i>Escala de aplicação dos modelos</i>	44
3.6.4.1	MODELOS ESTÁTICOS DE FLUXOS NOS ARCOS.....	44
3.6.4.2	MODELOS DINÂMICOS DE NÓS COM ESTRANGULAMENTO.....	44
3.6.4.3	MODELOS DE REDES.....	45
3.6.4.4	ZONAMENTO.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.6.5	<i>Níveis de escala de aplicação</i>	45
3.6.5.1	MICROSCÓPICA.....	46
3.6.5.2	MACROSCÓPICA.....	47
3.6.5.3	MESOSCÓPICA.....	47
3.7	VISSIM.....	48
3.8	APLICAÇÃO DE MODELOS NO ESTUDO DE TRÁFEGO PEDONAL.....	51
3.8.1	<i>Softwares para estudo de tráfego pedonal</i>	52
4	APRESENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DO ESTÁGIO	55
4.1	POLÍTICA DE PRIVACIDADE DOS DADOS.....	55
4.2	ATIVIDADE 1 – MODELO EM EXCEL.....	55
4.2.1	<i>Objetivos e desafio</i>	57
4.2.2	<i>Estrutura do modelo em Excel</i>	58
4.2.2.1	FOLHA POSTOS DE CONTAGEM.....	58
4.2.2.2	FOLHA POSTO Nº.....	59
4.2.2.3	FOLHA TOTAL.....	69
4.2.2.4	FOLHA TABELAS.....	72
4.2.3	<i>Síntese do Trabalho 1</i>	78
4.3	ATIVIDADE 2 – MODELO VISUM.....	79
4.3.1	<i>Cenário de estudo</i>	80
4.3.2	<i>Modelo de tráfego rodoviário</i>	81
4.3.2.1	AFETAÇÃO DO TRÁFEGO.....	87
4.3.2.2	TFLOWFUZZY.....	89
4.3.3	<i>Produto do estudo</i>	89
4.3.4	<i>Síntese do Trabalho 2</i>	90
4.4	ATIVIDADE 3 – ANÁLISE DATAFROMSKY E MODELO VISSIM.....	91
4.4.1	<i>Procedimentos em comum do DataFromSky</i>	91

4.4.1.1	RECOLHA DAS IMAGENS	92
4.4.1.2	TRATAMENTO DAS IMAGENS.....	93
4.4.1.3	GEORREFERENCIAÇÃO DAS IMAGENS.....	94
4.4.2	<i>Cenário 1</i>	96
4.4.2.1	ANÁLISES DO <i>DATAFROMSKY VIEWER</i>	97
4.4.2.2	MODELO VISSIM.....	104
4.4.3	<i>Cenário 2</i>	111
4.4.3.1	ANÁLISES DO <i>DATAFROMSKY VIEWER</i>	113
4.4.3.2	MODELO VISSIM.....	116
4.5	AVALIAÇÃO GLOBAL DO ESTÁGIO	117
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS SUBSEQUENTES	119
5.1	CONCLUSÕES.....	119
5.2	TRABALHOS SUBSEQUENTES.....	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - LOGOTIPO DA FJ. CONSULTORES (FJ. CONSULTORES, 2022).	3
FIGURA 1.2 - ORGANOGRAMA DA FJ. CONSULTORES	3
FIGURA 2.1 - POSICIONAMENTO DOS POSTOS DE CONTAGEM EM CORDÃO (ADAPTADO DE IMTT, 2011).	8
FIGURA 2.2 - POSICIONAMENTO DOS POSTOS DE CONTAGEM EM ECRÃS (ADAPTADO DE IMTT, 2011).	8
FIGURA 2.3 - POSICIONAMENTO DOS POSTOS DE CONTAGEM EM EIXOS (ADAPTADO DE IMTT, 2011).	8
FIGURA 2.4 - DEFINIÇÃO DOS MOVIMENTOS E OS NÍVEIS DE HIERARQUIA DE CADA UM DELES (ADAPTADO HCM, 2010).	16
FIGURA 2.5 - DIAGRAMA ESPAÇO-TEMPO (COSTA, 2008).	19
FIGURA 2.6 - DIAGRAMA COM TEMPO E DISTÂNCIA ENTRE VEÍCULOS (COSTA, 2008).	20
FIGURA 2.7 - LOGOTIPO DATAFROMSKY (DATAFROMSKY, 2022).	26
FIGURA 2.8 - ALGUNS DOS PRINCIPAIS PARCEIROS DA DATAFROMSKY EM 2019 (DATAFROMSKY, 2022).	26
FIGURA 2.9 - GATES E LANES UTILIZADOS NA CONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO (COSTA ET AL, 2021).	28
FIGURA 2.10 - ESTATÍSTICAS HEADWAYS (COSTA ET AL, 2021).	28
FIGURA 2.11 - MAPA DE CALOR (COSTA ET AL, 2021).	29
FIGURA 2.12 - RISCO DE COLISÃO ENTRE VEÍCULO E PEDESTRE (COSTA ET AL, 2021).	29
FIGURA 2.13 - ZONAS COM MAIORES ÍNDICES DE TRAVAGENS (COSTA ET AL, 2021).	29
FIGURA 3.1 - RELAÇÃO ENTRE SISTEMA DO MUNDO REAL E MODELO DE SIMULAÇÃO (ADAPTADO ANU, 1997).	32
FIGURA 3.2 - DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO (ADAPTADO DE TAVARES, 2003).	34
FIGURA 3.3 - ESTRUTURA DO MODELO DOS QUATRO PASSOS (ADAPTADO DE TAVARES, 2003).	42
FIGURA 3.4 - REPRESENTAÇÃO DE UM MODELO DE ARCO (MARTINS, 2021).	44
FIGURA 3.5 - REPRESENTAÇÃO DE UM MODELO DE NÓ (MARTINS, 2021).	45
FIGURA 3.6 - REPRESENTAÇÃO DE UM MODELO DE REDE (MARTINS, 2021).	45
FIGURA 3.7 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE ESCALAS DOS MODELOS (GROUP, 2017).	46
FIGURA 3.8 - MODELO DE ANÁLISE DE TRÁFEGO CONSTRUÍDO NO NÍVEL DE ESCALA DE APLICAÇÃO MICROSCÓPICA (ALMEIDA & LESSA, 2021).	47
FIGURA 3.9 - MODELO DE ANÁLISE DE TRÁFEGO CONSTRUÍDO EM NÍVEL DE ESCALA MACROSCÓPICA (ALMEIDA & LESSA, 2021).	48
FIGURA 3.10 - LOGOTIPO DO SOFTWARE VISSIM (MYPTV, 2022).	48
FIGURA 3.11 - LOGOTIPO DA PTV GROUP (MYPTV, 2022).	48
FIGURA 3.12 - MODELO DE CAR-FOLLOWING SEGUNDO WIEDEMANN, 1974. (PINHEIRO, 2018).	49
FIGURA 3.13 - DETALHES DOS MODELOS DE VIATURAS NO VISSIM (ALMEIDA & LESSA, 2021).	50
FIGURA 3.14 - INTERAÇÃO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO COM A MOBILIDADE ATIVA E COM O TRÁFEGO PEDONAL (ALMEIDA & LESSA, 2021).	51
FIGURA 3.15 - TRÁFEGO PEDONAL NA ALAMEDA DOM AFONSO HENRIQUES.	51
FIGURA 3.16 – EMBARQUE E DESEMBARQUES DE UTENTES EM UMA ESTAÇÃO METROPOLITANA DE LISBOA (CMJORNAL, 2018).	52
FIGURA 4.1 - EXEMPLO DE APRESENTAÇÃO DOS POSTO DE CONTAGEM DE UMA ZONA EM ESTUDO.	56
FIGURA 4.2 - EXEMPLO DE APRESENTAÇÃO DOS MOVIMENTOS POSSÍVEIS DE UMA INTERSEÇÃO.	57
FIGURA 4.3 - SOMATÓRIA DE CADA TIPOLOGIA DE VEÍCULO PARA CADA MOVIMENTO PRESENTES NO MODELO.	60

FIGURA 4.4 - TOTALIDADE DOS VEÍCULOS LIGEIOS E DOS VEÍCULOS PESADOS DE TODO O POSTO E A PERCENTAGEM DE VEÍCULOS PESADOS.	60
FIGURA 4.5 – FORMULA PARA HOMOGENEIZAÇÃO DO TRÁFEGO PRESENTE NO MODELO.	61
FIGURA 4.6 – QUADRO 1 COM A SOMATÓRIA DAS UVLE DE TODOS OS MOVIMENTOS NOS RESPECTIVOS DÉBITOS DE 15 MINUTOS....	61
FIGURA 4.7 – QUADRO 1 COM A REPETIÇÃO DAS SOMATÓRIAS DAS UVLE E OS REGISTOS DAS MESMAS MAIS A FÓRMULA UTILIZADA.	62
FIGURA 4.8 - COLUNA COM OS PERÍODOS DE RECOLHA E IDENTIFICAÇÃO DOS TURNOS.	62
FIGURA 4.9 - COLUNAS COM AS $\Sigma UVLE / H$, AS $\Sigma UVLE$ REPETIDAS E OS PERÍODOS DE RECOLHA DO QUADRO 2 PRESENTE NO MODELO.	63
FIGURA 4.10 - FÓRMULA UTILIZADA NO QUADRO 3, NA COLUNA UVLE, PARA ORGANIZAR DE FORMA DECRESCENTE OS VALORES DA COLUNA $\Sigma UVLE$, DO QUADRO 1.	64
FIGURA 4.11 - ESTRUTURA DA FÓRMULA UTILIZADA PARA APRESENTAR O INTERVALO DE RECOLHA DAS UVLE.	65
FIGURA 4.12 - LIGAÇÃO ENTRE O QUADRO 5 E O QUADRO 4.	68
FIGURA 4.13 - FÓRMULA UTILIZADA PARA APRESENTAR OS INTERVALOS DE 15 MINUTOS CONTIDOS DENTRO DA HP.	68
FIGURA 4.14 - ESTRUTURA DO QUADRO 7 ENCONTRADO NA FOLHA “TOTAL” DO MODELO.	70
FIGURA 4.15 - SOMATÓRIA TOTAL DOS VALORES ESPECÍFICOS DAS EXATAS TRÊS HORAS DO PERÍODO DAS CONTAGENS.	70
FIGURA 4.16 - QUADRO 9, COLUNA 9A E LINHA 9B.	71
FIGURA 4.17- ESTRUTURA BASE 1 ENCONTRADA NA FOLHA “TABELAS” PRESENTE NO MODELO.	73
FIGURA 4.18 - ESTRUTURA BASE 2 PRESENTE NO MODELO.	74
FIGURA 4.19 - LOGOTIPO DO SOFTWARE VISUM (MYPTV, 2022).	81
FIGURA 4.20 - INTERFACE GRÁFICA SOFTWARE VISUM.	82
FIGURA 4.21 – PROCESSO PARA ADIÇÃO DOS NÓS DA REDE EM ESTUDO.	82
FIGURA 4.22 – PROCESSO PARA ADIÇÃO DOS ARCOS DA REDE EM ESTUDO.	83
FIGURA 4.23 - PROCESSO DE CRIAÇÃO DAS ZONAS DE ANÁLISES DE TRÁFEGO (ZAT).	83
FIGURA 4.24 - CONECTOR LIGANDO O CENTROIDE DA ZAT NA EXTREMIDADE DA REDE.	83
FIGURA 4.25 - EXEMPLO DE UMA REDE COM TRÊS ZAT.	84
FIGURA 4.26 - ADIÇÃO DE UM SEGMENTO DE DEMANDA.	84
FIGURA 4.27 - PASSO FINAL PARA CRIAÇÃO DA MATRIZ O/D.	85
FIGURA 4.28 - VALORES ATRIBUÍDOS A MATRIZ O/D.	85
FIGURA 4.29 - VINCULAÇÃO DA MATRIZ AO SEGMENTO DE DEMANDA CRIADO.	86
FIGURA 4.30 - ATRIBUIÇÃO DA DEMANDA PARA A REDE RODOVIÁRIA EXISTENTE.	86
FIGURA 4.31 - EXEMPLO DE REDE E OS RESPECTIVOS DÉBITOS.	87
FIGURA 4.32 - PROCESSO TFLOWFUZZY.	89
FIGURA 4.33 - DISPOSITIVO MÓVEL INTEGRADO AO COMANDO DO DRONE (DATAFROMSKY, 2022).	92
FIGURA 4.34 - ANGULAÇÃO DA POSIÇÃO DO DRONE DURANTE A RECOLHA DAS IMAGENS (VIEWER, 2019).	93
FIGURA 4.35 - OPÇÕES DE SUBMISSÃO DAS IMAGENS (DATAFROMSKY, 2022).	94
FIGURA 4.36 - PROCESSO DE CARREGAMENTO DE VÍDEO PARA PLATAFORMA DA DATAFROMSKY (DATAFROMSKY, 2022).	94
FIGURA 4.37 - UNIDADES DE MEDIDA QUE O DATAFROMSKY VIEWER ASSUME POR DEFEITO.	95

FIGURA 4.38 - LOCALIZAÇÃO E AS COORDENADAS DOS QUATRO PONTOS UTILIZADOS PARA O GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS.	95
FIGURA 4.39 - UNIDADE DE MEDIA APÓS GEORREFERENCIAMENTO DA LOCALIZAÇÃO DA ANÁLISE.	95
FIGURA 4.40 - LOCALIZAÇÃO CENÁRIO 1.	96
FIGURA 4.41 - DEFINIÇÃO DOS MOVIMENTOS DO CENÁRIO 1.	97
FIGURA 4.42 - PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM <i>GATE</i> .	97
FIGURA 4.43 - CRIAÇÃO DE UMA <i>LANE</i> .	98
FIGURA 4.44 - CRIAÇÃO E OPÇÕES DE CARACTERIZAÇÃO DE UMA <i>ACTION REGION</i> .	98
FIGURA 4.45 - CENÁRIO 1 COM TODOS OS <i>GATES</i> , <i>LANES</i> E <i>ACTION REGION</i> NECESSÁRIOS PARA ANÁLISE DO TRÁFEGO LOCAL.	99
FIGURA 4.46 - MATRIZ O/D DO CENÁRIO 1.	100
FIGURA 4.47 – RESULTADOS DA ANÁLISE HEADWAY DO CENÁRIO 1 PARA O TEMPO MÁXIMO DE 5 SEGUNDOS.	101
FIGURA 4.48 - ALERTA DE VELOCIDADE MÁXIMA NA <i>ACTION REGION</i> .	102
FIGURA 4.49 - ALERTA DE VELOCIDADE MÁXIMA NA <i>ACTION REGION</i> .	102
FIGURA 4.50 - MAPA DE CALOR GERADO COM BASE NA VELOCIDADE DOS VEÍCULOS.	103
FIGURA 4.51 - ZONA DE TRAVAGEM COM POTENCIAL ALARMANTE.	103
FIGURA 4.52 - SEMELHANÇA A NÍVEL ESTRUTURAL ENTRE O MODELO (1) E A ZONA REAL EM ESTUDO (2).	104
FIGURA 4.53 - MODELAÇÃO DA RODOVIA (LINK) COM AUXÍLIO DO MAPS NO NETWORK (1) E SEM AUXÍLIO DO MAPS (2).	105
FIGURA 4.54 - OPÇÕES DE CARACTERÍSTICAS DO <i>LINK</i> A SER CRIADO.	106
FIGURA 4.55 - ATRIBUIÇÃO DO FLUXO “PEDESTRE” AO LINK 82.	106
FIGURA 4.56 – DADOS RETIRADOS DO DATAFROMSKY VIEWER PARA SEREM ADAPTADOS E POSTERIORMENTE ALIMENTAREM O MODELO VISSIM.	107
FIGURA 4.57 - DEFINIÇÃO DAS PRIORIDADES NAS ROTAS, DOS GRUPOS SEMAFÓRICOS E DAS ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME DE TRÁFEGO.	107
FIGURA 4.58 - APARÊNCIA FINAL OBTIDA DEVIDO A PRESENÇA DE TODOS ESSES ELEMENTOS NA REDE VIÁRIA REFERENTE AO CENÁRIO 1	108
FIGURA 4.59 - EDIFÍCIO FERREIRA CARDOSO, SITUADO NO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIAS DE LISBOA (AMARAL, 2015).	108
FIGURA 4.60 - DEFINIÇÃO DA “ <i>CONFLICT AREAS</i> ” E A REPRODUÇÃO DO TRÁFEGO NESSA ZONA.	109
FIGURA 4.61 - PROCESSO DE EDIÇÃO DO <i>SIGNAL CONTROL</i> .	109
FIGURA 4.62 - VALORES DA MATRIZ O/D EXTRAÍDOS DO VISSIM.	110
FIGURA 4.63 - NÍVEIS DE SERVIÇO RETIRADOS DO VISSIM.	111
FIGURA 4.64 - LOCALIZAÇÃO CENÁRIO 2.	112
FIGURA 4.65 - DEFINIÇÃO DOS MOVIMENTOS DO CENÁRIO 2.	113
FIGURA 4.66 – GEORREFERENCIAMENTO DO CENÁRIO 2.	113
FIGURA 4.67 - INCOERÊNCIAS NA CONTAGEM REALIZADA PELO DATAFROMSKY VIEWER.	114
FIGURA 4.68 - INCOERÊNCIA ENTRE A EDIÇÃO E O POSICIONAMENTO DAS ANOTAÇÕES.	114
FIGURA 4.69 - VARIAÇÃO NO POSICIONAMENTO DA MARCA “BUS” PRESENTE NO PAVIMENTO.	115
FIGURA 4.70 - SISTEMA DE “ <i>DRONE AMARRADO</i> ” (DATAFROMSKY, 2022).	116
FIGURA 4.71 - SOBREPOSIÇÃO NA CAPTURA DE IMAGENS, RECORRENDO A DRONES (DATAFROMSKY, 2022).	116

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - RELAÇÃO ENTRE TIPOLOGIA DE CONTAGENS E OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO.	9
TABELA 2.2 - PERÍODOS DE CONTAGEM EM FUNÇÃO DAS SUAS TIPOLOGIAS.	13
TABELA 2.3 - VALORES DE ET POR TIPO DE TERRENO.	15
TABELA 2.4 - MÉTODO DE CÁLCULO DOS VOLUMES CONFLITUANTES PARA OS DIFERENTES MOVIMENTOS NÃO PRIORITÁRIOS.	17
TABELA 2.5 - VALORES USUAIS DOS PARÂMETROS K1 E K2.	18
TABELA 2.6 - EXEMPLO DA RELAÇÃO VOLUMES DE TRÁFEGO E DÉBITOS.	21
TABELA 2.7 - FORMULAÇÃO GERAL DE UMA MATRIZ O/D.	24
TABELA 3.1- VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO.	36
TABELA 4.1 – APRESENTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PRESENTES NA FOLHA POSTOS DE CONTAGEM.	58
TABELA 4.2 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS INICIAIS DAS CONTAGENS DE TRÁFEGO PRESENTES NO MODELO.	59
TABELA 4.3 ESTRUTURA DO QUADRO 3 COM OS DÉBITOS DE 15 MINUTOS DE FORMA DECRESCENTE PARA OS DOIS TURNOS.	64
TABELA 4.4 – ESTRUTURA DO QUADRO 4 COM OS DÉBITOS DE 60 MINUTOS POSICIONADOS DE FORMA DECRESCENTE NOS DOIS TURNOS.	66
TABELA 4.5 - ESTRUTURA DO QUADRO 5 AUXILIAR ENCONTRADO NO MODELO.	67
TABELA 4.6 - ESTRUTURA DO QUADRO 5.	67
TABELA 4.7 - ESTRUTURA DO QUADRO 8 ENCONTRADO NO MODELO.	71
TABELA 4.8 - FÓRMULA PARA APRESENTAÇÃO DOS DÉBITOS CONTABILIZADOS NA HPM-DU E HPT-DU DOS POSTOS DE CONTAGEM E A PRIMEIRA LINHA DA TABELA 1.	73
TABELA 4.9 – TABELA 1B COM OS DÉBITOS CONTABILIZADOS EM UVLE NA HPM-DU E DA HPT-DU DE TODOS OS POSTOS.	74
TABELA 4.10 - FÓRMULA UTILIZADA PARA APRESENTAR OS DÉBITOS CONTABILIZADOS PARA AS DUAS TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS NA HPM-DU E A PRIMEIRA LINHA DA TABELA 2A COM OS POSTOS 1, 5, 9 E 13.	75
TABELA 4.11 - ESTRUTURA DA TABELA 2B COM OS DÉBITOS CONTABILIZADOS PARA AS DUAS TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS NA HPM-DU.	75
TABELA 4.12 - ESTRUTURA DA TABELA 3A COM OS DÉBITOS CONTABILIZADOS PARA AS DUAS TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS NA HPT-DU.	76
TABELA 4.13 - ESTRUTURA DA TABELA 3B COM OS DÉBITOS CONTABILIZADOS PARA AS DUAS TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS NA HPT-DU.	77
TABELA 4.14 - ESTRUTURA DA TABELA 5A COM A TOTALIDADE DOS VEÍCULOS, POR TIPOLOGIA, NA HP DA MANHÃ.	77
TABELA 4.15 - ESTRUTURA DA TABELA 5A COM A TOTALIDADE DOS VEÍCULOS, POR TIPOLOGIA, NA HP DA MANHÃ.	78
TABELA 4.16 - VALORES ADOTADOS PARA CUSTOS DE OPERAÇÃO PARA VEÍCULOS LIGEIOS E PESADOS.	88
TABELA 4.17 - VALORES ADOTADOS PARA CUSTOS DE TEMPO PARA VEÍCULOS LIGEIOS E PESADOS.	88
TABELA 4.18 - CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO PRESENTE NO CENÁRIO 1.	101
TABELA 4.19 COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS PARA MATRIZ O/D ENTRE O DATAFROMSKY VIEWER E O VISSIM.	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1 - UVLE CUMULATIVA DOS V15, COM O DÉBITO TOTAL DA HP (ORDENADAS A DIREITA) E AS UVLE POR MOVIMENTO (ORDENADAS A ESQUERDA).....	69
GRÁFICO 4.2 - UVLE CUMULATIVA, COM OS DÉBITOS TOTAIS DA ZONA EM ESTUDO (ORDENADAS A DIREITA) E AS UVLE DE CADA POSTO POR MOVIMENTO (ORDENADAS A ESQUERDA).	72
GRÁFICO 4.3 – GRÁFICO APRESENTADO NO RELATÓRIO COM A PERCENTAGEM DOS VEÍCULOS, POR TIPOLOGIA, NA HPM-DU.	77
GRÁFICO 4.4 – GRÁFICO APRESENTADO NO RELATÓRIO COM A PERCENTAGEM DOS VEÍCULOS, POR TIPOLOGIA, NA HPT-DU.....	78
GRÁFICO 4.5 - GRÁFICO COM VALORES DE ENTRADAS E SAÍDAS DE TODOS OS GATES E COM OS VALORES DAS ENTRADAS NOS GATES 9 E 11 E COM SAÍDAS APENAS NO GATE 12.	100

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Alfabeto romano

cp	Carros de passeio
E_T	Equivalente em carros de passeio de um veículo pesado no fluxo de tráfego
f_{HV}	Fator de ajuste para veículos pesados
h	Tempo entre veículos
\bar{h}	Valor médio do intervalo entre veículos
K_{px}	Kilo-pixels
N	Número de faixas de trânsito no sentido considerado
P_T	Proporção de SUT e TT na corrente de tráfego
P_x	Pixels
q	Débito
q_{ij}	Débito da corrente de tráfego que vai de uma origem i para um destino j
s	Distância entre veículos
\bar{s}	Valor médio da distância entre os veículos
T	Tempo de observação
t	Instante de passagem do veículo
u	Velocidade do veículo
u_s	Velocidade média em relação ao espaço
u_t	Velocidade média em relação ao tempo
V	Volume horário nas condições existente
V_p	Taxa de fluxo sob condições básicas equivalentes
V_{15}	Volume Para 15 Minutos
V_{p15}	Volume de Ponta Para 15 Minutos
x	distância à origem

Alfabeto grego

Φ	Taxa de ocupação
σ	Desvio padrão

Siglas

<i>ABMS</i>	<i>Agent-based modeling and simulation</i>
<i>ACV</i>	<i>Análise de ciclo de vida</i>
<i>CCDRN</i>	<i>Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte</i>
<i>CW</i>	<i>Continuous wave</i>
<i>DNIT</i>	<i>Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes</i>
<i>DU</i>	<i>Dia Útil</i>
<i>EU</i>	<i>Equilíbrio do utilizador</i>
<i>EUA</i>	<i>United States of America</i>
<i>FHP</i>	<i>Fator horário de pico</i>
<i>FMCW</i>	<i>Frequency Modulated Continuous Wave</i>
<i>FPH</i>	<i>Fator de ponta horário</i>
<i>GM</i>	<i>General Motors</i>
<i>HCM</i>	<i>Highway Capacity Manual</i>
<i>HP</i>	<i>Hora de Ponta</i>
<i>HPM</i>	<i>Hora de Ponta da Manhã</i>
<i>HPT</i>	<i>Hora de Ponta da Tarde</i>
<i>IMTT</i>	<i>Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres</i>
<i>INIR</i>	<i>Instituto de Infraestruturas Rodoviárias</i>
<i>IA</i>	<i>Inteligência Artificial</i>
<i>ITS</i>	<i>Intelligent Transport Systems</i>
<i>O/D</i>	<i>Origem / destino</i>
<i>OS</i>	<i>Ótimo Social ou Ótimo do Sistema</i>
<i>PPM</i>	<i>Período de Ponta da Manhã</i>
<i>PPT</i>	<i>Período de Ponta da Tarde</i>
<i>SUT</i>	<i>Caminhões Unitários</i>
<i>TMD</i>	<i>Tráfego Médio Diário</i>
<i>TMDA</i>	<i>Tráfego Médio Diário Anual</i>
<i>TI</i>	<i>Transporte Individual</i>
<i>TP</i>	<i>Transporte Público</i>
<i>TT</i>	<i>Reboques</i>
<i>UVL</i>	<i>Unidade de Veículos Ligeiros</i>
<i>UVLE</i>	<i>Unidade de Veículos Ligeiros Equivalentes</i>
<i>VHP</i>	<i>Volume Horário de Projeto</i>
<i>WIM</i>	<i>Weight in motion</i>
<i>ZAT</i>	<i>Zonas de Análise de Tráfego</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

Os modelos de simulação são cada vez mais empregues em diversas áreas, inclusive na área da engenharia de tráfego. Esse facto deve-se à existência de sistemas de grande complexidade, mas também aos avanços da engenharia de software e do hardware, fazendo com que os programas se tornem mais perceptíveis e disponibilizem uma maior fiabilidade.

A principal característica dos modelos está na possibilidade de testarem várias soluções, antes que as mesmas sejam implantadas no sistema real. Isto é possível, uma vez que os mesmos fornecem dados, que após análise, permitem ao utilizador tirar informações sobre os prováveis impactos que aquela solução terá nas condições de operação do sistema.

De uma forma genérica, os modelos consistem na aproximação e representação das diferentes componentes de um sistema real, tornando deste modo possível a experimentação e a análise, sem correr os riscos inerentes às experiências realizadas num ambiente real (Tavares, 2003).

Em relação a aplicação de modelos na análise de tráfego, para fazer o estudo de um ambiente real, engloba ter em conta e parametrizar, da forma mais fidedigna possível, todas as características físicas e dinâmicas que se fazem presentes naquele ambiente, assim como as suas variáveis. Quanto maior for o grau de exigência aplicado durante a modelação destes sistemas maior será a sua fiabilidade.

Para realizar a introdução dos dados de tráfego dentro do modelo é necessário que estes dados sejam recolhidos em campo. Essa fase de recolha também representa um ponto-chave no processo de modelação, uma vez que os resultados obtidos da(s) análise(s) terão por base esses dados, e com isso chegamos a outro ponto presente no título deste relatório: recolha dos dados através de drone, que será combinado com o tratamento das imagens recorrendo ao software DataFromSky.

1.2 Motivação

A motivação que leva ao desenvolvimento do presente relatório está ligada ao dinamismo e a versatilidade que se fazem presentes durante o desenvolvimento de um estudo de tráfego ligado a um determinado sistema. As particularidades e as características presentes em cada estudo tornam cada projeto uma solução única, o que desafia e estimula uma evolução pessoal a cada novo trabalho. Acrescido a isso temos a importância que há em termos boas condições de tráfego em nosso quotidiano, uma vez que direta ou indiretamente, essas condições acabam por causar grande influência em todos nós.

Outro ponto que reforçou a escolha, e já foi mencionado anteriormente, é a importância dos modelos na atualidade. Os modelos de simulação são cada vez mais empregues em diversas áreas, esse fato está ligado à existência de sistemas com alto nível de complexidade e aos avanços da engenharia de software e do hardware, tornando os programas mais perceptíveis e aumentando a fiabilidade dos mesmos.

A oportunidade de desenvolver um estágio académico trouxe outras vantagens, como: o contato com o ambiente empresarial e os respetivos processos funcionais e organizacionais, solidificar os conhecimentos adquiridos no percurso académico, absorver novos conhecimentos, ter um primeiro contato com a realidade do mercado de trabalho, entre outros.

Essa junção de fatores foram os pilares que sustentaram a escolha e o desenvolvimento do tema elaborado sob a forma de estágio, que culmina como trabalho final de mestrado no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, na área de especialização em Vias de Comunicações e Transportes, no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

1.3 Objetivo

No desenvolvimento do presente relatório de estágio, está previsto a adoção de modelos para análise de tráfego em ambiente real, juntamente com a aplicação de uma abordagem inovadora de recolha dos dados com recurso a drone e o tratamento das imagens recorrendo a inteligência artificial, no âmbito do protocolo entre o ISEL e a empresa DatafromSky. Serão também desenvolvidas técnicas convencionais de processamento de contagens de tráfego, com o intuito da maior familiarização com o tema, bem como a consolidação, das componentes práticas e teóricas, dos diversos trabalhos e atividades realizados no contexto académico, como estudos de tráfego, leitura de relatórios sobre impacto de tráfego e transportes, planeamento de mobilidade, e soluções de rede, entre outras atividades que estão ligadas à engenharia de tráfego e que se fazem parte da realidade do dia a dia da empresa Fj. Consultores.

Durante o desenvolvimento do estágio está previsto ainda que se alcance a perceção, ou as noções básicas, de uma experiência profissional dentro da realidade do atual mercado de trabalho direcionado a área de transportes, assim como o funcionamento das engrenagens que colocam uma empresa em constante funcionamento.

Por fim, estima-se que seja possível alcançar pontos importantes como: descrição e análise crítica das atividades desenvolvidas, transparência dos conhecimentos absorvidos e uma análise global e fidedigna através deste estágio acadêmico.

1.4 Apresentação da Empresa

O estágio acadêmico decorreu na empresa Francisco & Diogo, Lda. (FJ. Consultores) e teve a duração de três meses. Esta empresa disponibiliza serviços de consultoria e projetos de estudo, validação e gestão de soluções de acessibilidade, de mobilidade, de transportes e de planeamento. A empresa está constituída como um gabinete de estudos e projetos, combinando uma disponibilização full-service com prestação de serviços sustentados pelos pilares da competência, do rigor, da inovação e da sustentabilidade, buscando assim como objetivo final uma maior satisfação possível para os seus clientes, bem como uma melhoria no que toca a qualidade de vida da população e do meio ambiente. A figura 1.1 apresenta o logotipo da FJ. Consultores:



Figura 1.1 - Logotipo da FJ. Consultores (FJ. consultores, 2022).

A empresa foi fundada em janeiro de 2021, sendo formada inicialmente pelos dois sócios da mesma. Ambos trouxeram uma grande experiência profissional na área de tráfego rodoviário, acessibilidades, mobilidade, entre outras especialidades que se fazem presentes no contexto do estudo de tráfego rodoviário, o que certamente contribuiu para que, mesmo sendo relativamente recente, a FJ. Consultores se apresentasse desde o início como uma empresa com grande credibilidade no mercado.

De forma a suprir as necessidades causadas pela adjudicação de novos trabalhos, oito meses após a fundação da FJ. Consultores, houve a necessidade de expandir a equipe técnica, passando de dois para quatro colaboradores. A figura 1.2 apresenta o organograma referente a estrutura atual da FJ. Consultores:

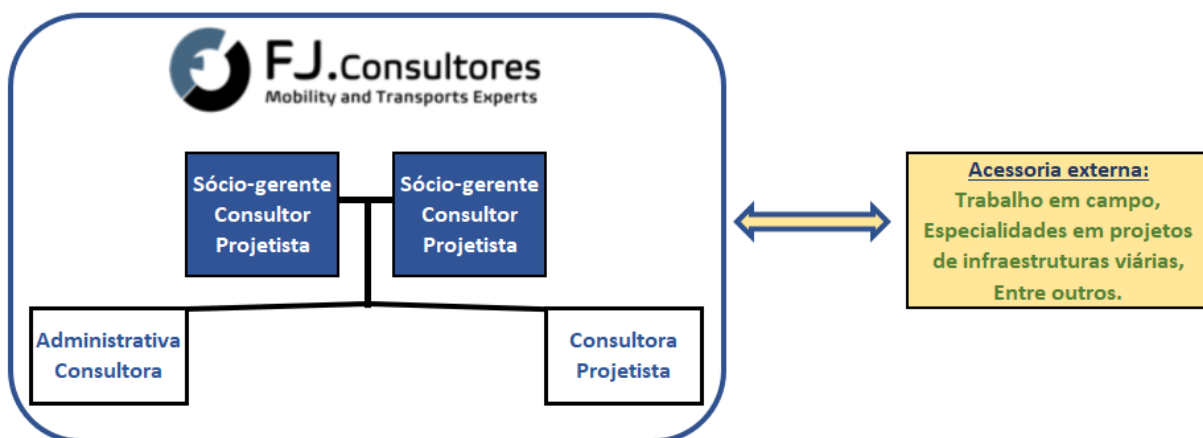


Figura 1.2 - Organograma da FJ. Consultores .

A FJ. Consultores se constitui como um gabinete de projetos e estudos, disponibilizando serviços de consultoria para analisar, gerir e validar soluções ligadas a acessibilidade, mobilidade, transportes e planeamento. A seguir temos alguns exemplos das áreas de especialidades onde a FJ. Consultores desenvolve seus serviços:

- **Acessibilidade, impacto e procura de tráfego e transportes:** Geralmente associados à construção ou requalificação de geradores de viagens, estes estudos visam, respectivamente, justificar a sua necessidade e dimensionamento e garantir uma boa acessibilidade;
- **Estudos de oferta e procura e ordenamento do estacionamento:** O estacionamento é considerado uma das principais ferramentas de gestão da mobilidade, pelo que o estudo da sua oferta, estratégia de *pricing* e necessidades funcionais e regulamentares se trata de uma área de foco;
- **Estudos e planos de logística urbana:** Viagens associadas ao abastecimento e as operações de cargas e descargas, no seio dos centros urbanos, necessitam de um planeamento ao nível de gestão da operação de forma a não causar perturbações no desempenho do sistema.
- **Transportes coletivos, planeamento de redes e mobilidade ativa:** Estudo e planeamento dos transportes coletivos e da mobilidade ativa promove um contributo para a descarbonização da mobilidade, favorecendo opções de deslocação mais sustentáveis;
- **Planos de mobilidade, deslocações urbanas e mobilidade empresarial:** O Planeamento da mobilidade urbana e da mobilidade empresarial é uma abordagem estratégica que tenta responder as necessidades de mobilidade das pessoas;
- **Estudo de layout e projeto rodoviário e ciclável. Planeamento urbano:** Definir projetos dos canais viários e cicláveis em áreas urbanas exige um grande nível de experiência na área de projetos de tráfego.

1.5 Estrutura do Documento

O relatório está estruturado em seis capítulos. Para disponibilizar uma modesta contextualização com cada um dos capítulos subsequentes, será apresentada a seguir uma pequena prévia sobre cada um deles:

- 1º **Capítulo** – Esse capítulo, foi destinado a efetuar uma introdução ao trabalho, fazer o enquadramento do tema e delinear a motivação e os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do resultado do estágio. O capítulo inclui ainda uma pequena apresentação da empresa onde o estágio foi desenvolvido;
- 2º **Capítulo** – O segundo capítulo apresenta a fase de recolha e tratamento dos dados, onde é obtida toda informação que vai servir para alimentar os modelos. Começando por como é obtido essa informação, quais os métodos a serem aplicados, qual o período de duração de uma recolha de dados e que outras ciências devem ser tidas em conta nessa etapa. Posteriormente

aparece a fase de tratamento das contagens de tráfego e as informações que podem ser extraídas diretamente delas, como classificação dos veículos, tempo entre veículos, débito, velocidade média, matriz O/D, níveis de serviço, entre outras. No fim do capítulo é feita uma breve apresentação do software DataFromSky, o software que permite efetuar a automatização das contagens de tráfego com recurso a inteligência artificial aplicada à análise de filmagens por drone;

3º Capítulo – Neste terceiro capítulo efetua-se contextualização de forma generalizada, sobre os modelos e a aplicação destes nos estudos relacionados com o tráfego rodoviário e o pedonal. Esse capítulo compreende o estudo da classificação destes modelos, como são desenvolvidos, as etapas a serem percorridas para a conclusão deles, quais as vantagens e desvantagens de recorrer à simulações de tráfego. No fim do capítulo é feita uma apresentação do outro software utilizado, o Vissim;

4º Capítulo – No quarto capítulo é feita a apresentação dos trabalhos desenvolvidos durante o estágio e das metodologias que foram empregues no período de desenvolvimento do mesmo, incluindo uma análise pessoal dessa oportunidade em si e dos conhecimentos absorvidos. No capítulo é dado especial enfoque à recolha e tratamento de dados com recurso a drone e ao software DataFromSky. Por fim, a partir dos dados da análise do DataFromSky faz-se a construção de dois modelos de tráfego (cenário 1 e 2) com nível de escala de aplicação microscópica, recorrendo ao software Vissim, pertencente a PTV GROUP;

5º Capítulo – No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões finais em relação ao desenvolvimento do estágio académico: percepção alcançada da realidade profissional, as noções básicas de um estudo de tráfego real, ter a noção de uma experiência profissional dentro da realidade do atual mercado de trabalho direcionado à área de transportes. Por fim são apresentadas algumas sugestões para possíveis trabalhos subsequentes no segmento dos assuntos que foram abordados nesse estágio.

2 RECOLHA E TRATAMENTO DOS DADOS

2.1 Introdução

O papel desempenhado pela recolha e pelo tratamento dos dados apresenta extrema importância, uma vez que qualquer estudo começa pela recolha de dados, e o tratamento dos mesmos possui diversas finalidades: previsões de tráfego, análise de congestionamentos, estudos de planeamento, ordenamento do território, manutenção da pavimentação, emissões de gases, entre outras. Esse momento é crucial também para garantir a qualidade dos resultados que serão gerados pelo modelo.

As contagens permitem quantificar os débitos de tráfego totais, identificando as tipologias de veículos ou os peões que circulam. Neste caso, a definição clara dos objetivos que se pretende alcançar é um requisito indispensável para o êxito da recolha e tratamento dos dados, constituindo a etapa inicial do processo que irá condicionar as fases seguintes.

Para obter um melhor entendimento sobre o desenvolvimento da fase de recolha de dados, no âmbito de um estudo de tráfego, é necessário analisar e compreender as várias etapas que compõe a mesma: como são localizados os postos de contagem, quais são as tipologias de contagens e os seus métodos de execução, os períodos de recolha de dados e as informações iniciais que podem ser obtidas com o tratamento desses dados, como: matriz O/D, níveis de serviço, tipologias de veículos, débitos, volumes, entre outros. O início dessa etapa começa pela localização dos postos de contagem e as tipologias de contagem.

2.2 Localização dos Postos e Tipologias das Contagens

Os postos de contagens ficam situados ao longo da rede rodoviária e nas suas principais interseções. O estudo da área para escolha da localização dos postos de contagens deve ser realizado tendo como base dois critérios principais: o perímetro e as análises pretendidas (IMTT, 2011). Com base nesses fatores é definido o posicionamento dos postos. A seguir temos a descrição dos posicionamentos possíveis.

- **Cordões** – É habitual recorrer as contagens em cordões, quando se pretende quantificar os volumes de tráfego de entrada e saída de um determinado perímetro. As contagens em cordões, permitem (quando efetuadas em vários cordões) a identificação do tráfego de origem e destino e de atravessamento num determinado perímetro, quando combinado com a geração de tráfego do perímetro em causa. A figura 2.1 exemplifica o posicionamento desses postos.

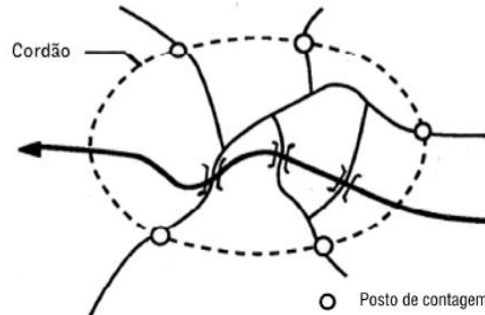


Figura 2.1 - Posicionamento dos postos de contagem em cordão (adaptado de IMTT, 2011).

- **Ecrãs** – Por norma é aplicada este posicionamento para contagens quando o alvo pretendido é a quantificação dos volumes de tráfego de penetração de acordo com uma determinada orientação. A figura 2.2 permite observar um exemplo;

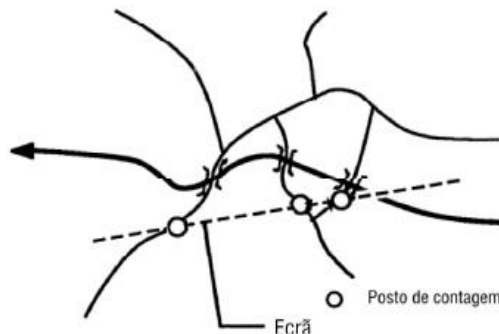


Figura 2.2 - Posicionamento dos postos de contagem em Ecrãs (adaptado de IMTT, 2011).

- **Eixos** – Geralmente essa opção é selecionada quando o objetivo pretendido é quantificar os volumes de tráfego ao longo de eixos, incluindo as suas variações de tráfego (diário, semanal, mensal e anual) ou os volumes de dimensionamento de uma interseção ou de um eixo. Esse posicionamento é apresentado na figura 2.3.

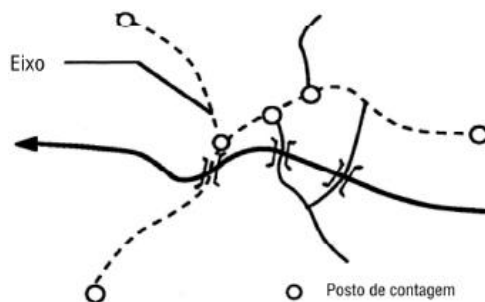


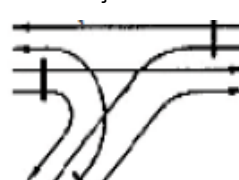


Figura 2.3 - Posicionamento dos postos de contagem em Eixos (adaptado de IMTT, 2011).

A recolha tradicional dos dados pode ser desenvolvida de duas formas: **contagem direcional em secção** ou **contagem direcional na intersecção**. As contagens podem ser efetuadas através de levantamentos manuais, levantamento automático ou o levantamento por matrícula. A tabela 2.1 apresenta de forma mais perceptível a ligação entre as tipologias de contagens, as formas de obtenção de informação e os resultados possíveis.

Tabela 2.1 - Relação entre tipologia de contagens e obtenção de informação.

Tipologias de contagens	Obtenção de informação	Resultados possíveis
Contagem direcional em secção 	Levantamento manual	<ul style="list-style-type: none"> • Número de veículos por sentido, por categoria; • Número de veículos por via (dois sentidos), por categoria; • Variação de tráfego ao longo de determinados períodos (diário); • Taxa de ocupação dos veículos.
	Levantamento automático	<ul style="list-style-type: none"> • Número de veículos por sentido, por categoria; • Número de veículos por via (dois sentidos), por categoria; • Variação de tráfego diário, semanal, mensal ou anual; • Velocidade de circulação.
	Levantamento por matrículas	<ul style="list-style-type: none"> • Para os resultados obtidos com levantamento automático acrescem os fluxos de tráfego por itinerário. Relativamente a esses, será necessário efetuar as contagens em várias secções sequenciais. 
Contagem direcional Na intersecção 	Levantamento manual	<ul style="list-style-type: none"> • Número de veículos por movimento nas intersecções com segregação das diversas categorias.

Fonte: adaptado IMTT (2011).

De forma corrente, é possível dizer que o método de recolha através das observações em campo e levantamentos manuais apresentado como o mais utilizado em estudos de tráfego com finalidades específicas, como o estudo de tráfego para a implantação de empreendimento comercial, por exemplo, e os métodos automatizados para contagens correntes e constantes, como é o caso de uma praça de portagem.

2.3 Classificação dos Métodos para Recolha de Dados

Os diversos métodos de recolha de dados, utilizados para contagem de veículos, podem ser divididos em dois grupos distintos: métodos intrusivos e métodos não-intrusivos (Leduc, 2008). Esses métodos, assim como a forma de registo das contagens serão apresentados e desenvolvidos a seguir.

2.3.1 MÉTODOS INTRUSIVOS

De forma generalizada, métodos intrusivos implicam o emprego de dispositivos que fazem o registo dos dados e um sensor implantado na via de tráfego (Mimbela & Klein, 2000). A seguir temos alguns exemplos de métodos intrusivos:

- **Tubos pneumáticos** – Os tubos pneumáticos são tubos ociosos construídos a base de borracha e são instalados nas faixas de rodagem, perpendicularmente ao fluxo de tráfego. O seu funcionamento está baseado na compressão que lhe é aplicado durante a passagem de um eixo dos veículos, isso faz com que force ar através do comutador, este por sua vez se fecha e envia um sinal para o sistema de registo de dados;
- **Laços indutivos** – Este método é constituído por um fio implantado na faixa de rodagem, dentro de um corte superficial feito no pavimento, um circuito de excitação e deteção e um cabo que transmite o sinal até um dispositivo eletrónico que é implantado na berma. O funcionamento dos laços indutivos está ligado em transmitir uma corrente elétrica de baixa frequência pelo pavimento, assim, quando ocorre a passagem de um veículo, o metal presente neste veículo faz com que a indutância do laço diminua, o que gera um aumento na frequência de oscilação do excitador;
- **Detetores magnéticos** – Os detetores magnéticos possuem o mesmo princípio de deteção dos laços indutivos, havendo pequenas diferenças nos mecanismos físicos que os constituem;
- **Cabos de fibra ótica** – Em relação aos cabos de fibra ótica, o funcionamento destes está ligado a compressão causada no cabo devida a passagem dos pneus dos veículos, o que causa uma redução na quantidade de luz que atravessa a secção do cabo. A medição da intensidade da luz é feita por um detetor que transmite a informação da quantidade de eixos que passam sobre o cabo;
- **Sistemas WIM** – Este método tem como base a utilização de sensores que detetam e registam o peso por eixo e o peso bruto dos veículos. A sua apresentação em planta consiste em dois detetores tipo laço indutivo e uma caixa para registo das informações.

2.3.2 MÉTODOS NÃO-INTRUSIVOS

Os métodos não-intrusivos não implicam a presença de qualquer sensor na via de tráfego, o que causa menos transtornos e perturbações em casos de avarias, substituições ou instalações, pois estes ficam

posicionados por cima ou nas laterais da faixa de rodagem (Mimbela & Klein, 2000). A seguir temos alguns exemplos de métodos não-intrusivos:

- **Deteção por imagens de vídeo** – O processo de recolha de imagens de vídeos por câmaras necessita do auxílio de um computador para transformar as imagens em dados de tráfego e existem duas formas possíveis de análise: através de um software que interprete as imagens, como é o caso do DataFromSky, que será utilizado nos trabalhos apresentados nesse relatório de estágio, ou por meio de uma contagem manual recorrendo ao controle da velocidade das imagens recolhidas;
- **Radares micro-ondas** – Os sensores com base em radares micro-ondas se desenvolvem na transmissão de radiação micro-ondas de baixa energia para uma zona específica do pavimento e fazem uma análise do sinal refletido. Para esses sensores existem dois tipos de equipamentos: um equipamento que transmite ondas contínuas (CW) – Doppler waveforms; e outro que envia ondas contínuas em frequências modeladas (FMCW);
- **Deteção laser** – Os equipamentos de deteção com base na tecnologia laser trabalham no espectro eletromagnético numa zona próxima dos infravermelhos e consistem na transmissão ótica de dois feixes de diodo pulsado laser. Quando se dá a passagem de um veículo, o feixe de luz é interrompido e desta forma consegue-se detetar a presença de um veículo num dado local;
- **Sistemas de infravermelhos** – Essa tipologia de sistema pode ser dividida em duas classes: passivos e ativos. A diferença entre eles está no facto de os sistemas passivos detetarem as alterações de energia provocadas nos comprimentos de onda emitidos pelos objetos na faixa de rodagem, enquanto os sistemas ativos funcionam através da emissão de um feixe de radiação infravermelha de baixa energia, com a medição do tempo de retorno desse mesmo feixe. As câmaras de infravermelhos detetam variações de energia que podem ser exibidas como imagens e desta forma consegue-se converter a informação recebida em volume e velocidade de veículos;
- **Sistemas acústicos passivos** – Os sistemas acústicos funcionam com base no reconhecimento das passagens de veículos e a velocidades dos mesmos através da energia acústica que eles geram. Isso é possível devido à produção de som causada pelo contato dos pneus com o pavimento, permitindo a deteção dos veículos;
- **Sistemas de ultrassons** – A base dos sistemas de ultrassons é o princípio da emissão de ondas de pressão de energia sonora e na medição da quantidade refletida dessa mesma energia. Estes sistemas podem ser agrupados em *Ultrasonic pulse detectors* e *Ultrasonic Doppler*. O primeiro sistema consiste na emissão de dois impulsos de energia a partir de ângulos de incidência conhecidos e dado que se sabe a distância entre os dois feixes apenas é necessário obter o tempo que um veículo demora a percorrer essa distância para a obtenção da sua velocidade. O

segundo tipo utiliza o princípio de doppler com a emissão de um sinal de ultrassom contínuo e averigua a mudança na frequência do sinal que é recebido pela reflexão nos veículos;

- **Recolha de dados manual** – Este é o método pioneiro utilizado nos estudos de tráfego. A recolha manual é pode ser desenvolvida de duas formas: a primeira, e mais convencional, consiste na mobilização de meios humanos para os locais a serem estudados, para assim poder ser recolhida as informações relativas ao tráfego daquele local; a segunda forma, já mencionada anteriormente e menos utilizada no processo manual, é o recolhimento de imagens de vídeo no local de estudos e o tratamento dessas imagens por uma ou mais pessoas recorrendo ao controle da velocidade de reprodução do vídeo e assim retirar os dados da gravação.

Entre as formas de recolha de dados que foram apresentadas três delas foram aplicadas durante o desenvolvimento do estágio: recolha de dados de forma manual através de uma equipa no local de estudo, recolha de dados manual recorrendo a imagens de vídeo e por fim o tratamento de imagens com recurso a um software com inteligência artificial (IA) para converter as imagens em dados de tráfego rodoviário. No estágio foi utilizado o sistema de aquisição de dados DataFromSky (<https://datafromsky.com/>).

No capítulo 4, no desenvolvimento da atividade 3, apresenta-se uma análise efetuada com recurso ao sistema DataFromSky: na primeira etapa foi efetuada, a recolha de dados com recurso a filmagem com drone, e posteriormente, na segunda etapa, o tratamento dessas imagens fazendo uso do sistema IA que a aplicação Viewer disponibiliza. No capítulo 3 é feita uma apresentação introdutória desta ferramenta.

2.4 Período de Recolha dos Dados

Assim como foi referido sobre a localização dos postos de contagens, os períodos distintos que são empregues para realização da recolha dos dados, variam de acordo com as análises pretendidas e os seus objetivos, podendo assim ser realizadas num único dia, em vários dias, durante semanas ou até mesmo por períodos de meses (IMTT, 2011).

De forma corrente, a determinação dos dias para execução dessa etapa, procura evitar efeitos de enviesamento e, conseqüentemente, as recolhas de dados devem ser desenvolvidas em dias úteis do meio da semana: terça-feira, quarta-feira ou quinta-feira, para as amostras representarem de forma mais fidedigna os períodos habituais de escoamento do tráfego. Por outro lado, quando as análises incidem em locais turísticos ou outros eventos específicos, nesses casos, a recolha dever ser realizada no período de maior procura.

Em geral, as contagens em secção ou direcionais na intersecção são realizadas num único dia. Todavia, para efeito de confirmação dos valores obtidos num mesmo posto, podem decorrer por vários dias, semanas ou meses. A tabela 2.2 apresenta uma relação generalizada dos períodos de contagem em função das suas tipologias.

Tabela 2.2 - Períodos de contagem em função das suas tipologias.

Contagens direcionais em secções	<ul style="list-style-type: none"> • Durante 16 horas (das 6h às 22h); • 24 horas.
Contagens direcionais nas intersecções	<ul style="list-style-type: none"> • Em períodos do dia que há maior procura, tendo, normalmente, uma duração de três horas, no período da manhã e no período da tarde. Vale ressaltar novamente que esse período pode variar em função das características do local em estudo. Exemplo: - Período de ponta da manhã (PPM), entre as 7h e as 10h; - Período de ponta da tarde (PPT), entre as 17h e as 20h.

Fonte: adaptado de IMTT (2011).

2.5 Tratamento de Dados

Devido a não existir regulamentação técnica portuguesa ou europeia para enquadrar as especificidades da realização de estudos de tráfego, têm sido utilizadas várias diretrizes para o tratamento dos dados relacionados com os mesmos. Estas são originadas em documentos nacionais ou internacionais que reúnem conhecimentos embasados por fundamentos teóricos e experiências práticas, sendo este ponto de partida para a implementação dos estudos de tráfego. Como referência nacional é possível mencionar os seguintes documentos:

- Acessibilidades, mobilidade e transportes nos planos municipais de ordenamento do território, que pertence ao Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT);
- Guia Acessibilidade e Mobilidade, lançado pelo Instituto de Infraestruturas Rodoviárias (INIR);
- Manual de planeamento das acessibilidades e da gestão viária, publicado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRN).

A nível nacional existe ainda outras instituições que disponibilizam documentos técnicos de interesse, como a própria Infraestruturas de Portugal (IP). A variedade de manuais, empregues nos estudos de tráfego, é também vasta a nível internacional onde muitos países possuem regulamentação própria, como é o caso do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), no Brasil. Porém existe um manual que é considerado unanimemente como uma referência a nível internacional em todo o mundo, inclusive pelas instituições mencionadas anteriormente: o *Highway Capacity Manual* (HCM).

O HCM trata-se de uma publicação da Transportation Research Board da National Academies of Science dos Estados Unidos da América. Teve sua primeira publicação nos anos 50, sendo o primeiro documento técnico a tratar os conceitos de capacidade das infraestruturas de transporte e desde a sua primeira versão até a atualidade, foram publicadas seis edições com procedimentos melhorados e atualizados. A última edição foi publicada em 2016, sendo conhecida como HCM 7th edition (Samboni, 2020).

O tratamento dos dados que serão apresentados no relatório têm como base, maioritariamente, o Manual de Planeamento da CCDRN, tendo este por sua vez sido desenvolvido através da adaptação do HCM 2000 para Portugal.

Após efetuar a etapa de recolha e tratamento de dados, inicia-se a aplicação dos resultados obtidos, que vão desde o estudo da procura na fase de planeamento, projeto, exploração e manutenção das infraestruturas viárias, até à avaliação de medidas segundo critérios de eficiência, segurança rodoviária e impactos ambientais, processo de calibração e validação dos modelos e o acompanhamento, assim como a fiscalização das medidas de gestão e controlo de tráfego (Costa, 2008).

Com tantas opções de literatura e a grande variedade de tipos de estudos de tráfego, os objetivos das análises devem estar permanentemente presentes no planeamento dos estudos. Entre esses objetivos está a caracterização das correntes de tráfego, que se traduzem por veículos com deslocações durante um período, num determinado sentido, ao longo de um percurso.

As caracterizações das correntes de tráfego podem ser obtidas com estudos que, além de contagens, se baseiam também no modo como os veículos se distribuem ao longo do espaço e do tempo, assim como na forma como o escoamento do tráfego é feito.

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS E HOMOGENEIZAÇÃO DO TRÁFEGO

A fase inicial de tratamento dos dados parte da classificação dos veículos contabilizados, ou seja, a distinção entre eles. De acordo com o que já foi mencionado anteriormente, as contagens de tráfego englobam todos os tipos de veículos: bicicletas, motocicletas, triciclos, carroças, monociclos, automóveis ligeiros, automóveis pesados, etc. Por esse motivo a grande maioria das análises desenvolvidas adotam uma unidade veicular padrão, para a qual os outros veículos são convertidos, esse processo é denominado de homogeneização do tráfego e dá origem à “unidade de veículo ligeiro equivalente” - *uvle* (Silva, 2001).

Correntemente, os estudos desenvolvidos, empregam várias formas de homogeneização do tráfego. Entre elas a mais simples e habitual é a consideração de que um veículo pesado é equivalente a dois veículos ligeiros, devido às perturbações que são originadas ao nível da rede rodoviária. O HCM apresenta metodologias de homogeneização de tráfego mais complexas que incluem vários fatores de ajustamento, incluindo as características do terreno e outras. Na equação 2.1 apresenta-se a equação de homogeneização proposta no HCM 2000 para troços correntes de autoestrada:

$$v_p = \frac{V}{FHP \times N \times F_{hv}} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Em que:

v_p = taxa de fluxo sob condições básicas equivalentes (*uvle/h/via*);

V = volume horário nas condições existente, na hora e sentido de ponta (*veic/h*);

FHP = fator horário de ponta;

N = número de vias no sentido considerado;

f_{HV} = fator de ajustamento para veículos pesados.

Nas rodovias com vias múltiplas, o *FHP* varia entre 0,75 e 0,95. Sendo empregues valores mais baixos em condições de volumes inferiores e valores mais altos em condições de horário de ponta. Já o coeficiente f_{HV} é obtido através da equação 2.2:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Em que:

f_{HV} = fator de ajuste de veículos pesados;

P_T = proporção de veículos pesados na corrente de tráfego;

E_T = fator de equivalência para os veículos pesados no fluxo de tráfego.

Os veículos categorizados como camiões unitários se abreviam por “*SUT*” e os reboque “*TT*”. Os autocarros e veículos pesados de recreio (roulottes, caravanas, etc., ou com motor próprio e pequenos trailers para barcos, veículos para terrenos diversos, ou outros itens) são considerados como *SUT*.

Os valores de E_T são obtidos de acordo com a tabela 2.3 apresentada a seguir:

Tabela 2.3 - Valores de ET por tipo de terreno.

Equivalente de veículos ligeiros	Tipo de Terreno	
	Plano	Ondulado
E_T	2,0	3,0

Fonte: adaptado TRB (2016).

Correntemente, durante a fase de tratamento das contagens, é calculada a percentagem de veículos pesados que estiveram presentes, uma vez que estes tendem a causar mais perturbações no tráfego, como vimos anteriormente. Esse valor é obtido através da equação 2.3, apresentada a seguir:

$$\%Pes = \frac{\sum veic.Pes}{\sum veic.Pes + \sum veic.Lig} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Em que:

$\%Pes$ – Percentagem de veículos pesados;

$\sum veic.Pes$ – Totalidade de veículos pesados do posto de contagem;

$\sum veic.Lig$ – Totalidade de veículos ligeiros do posto de contagem.

2.5.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS E NÍVEL HIERÁRQUICO

A título de exemplo apresenta-se o tratamento preconizado pelo manual HCM para as interseções prioritárias nas quais uma via de hierarquia (geralmente) superior é atravessada por outra via de menor hierarquia.

Os movimentos possíveis para a interseção são representados por números e traduzem os destinos possíveis para os veículos e os peões que circulam na mesma. Devido à existência de conflitos nas intersecções prioritárias, são definidos os movimentos com e sem prioridade, havendo ramos que perdem a prioridade em relação outros, evitando assim que os veículos avancem de uma forma desordenada.

Os níveis de hierarquia dos movimentos de uma interseção variam do nível 1 ao nível 4. A seguir serão definidos de forma mais elaborada e exemplificados na figura 2.4:

- **Nível 1** – são os movimentos de atravessamento na rua principal e as viragens à direita da rua principal;
- **Nível 2** – esses movimentos se baseiam nas viragens à esquerda da rua principal e as viragens à direita da rua secundária;
- **Nível 3** – os movimentos de nível 3 se traduzem no atravessamento na rua secundária (para as intersecções de 4 ramos) e as viragens à esquerda da rua secundária (em intersecções de apenas 3 ramos);
- **Nível 4** – são as viragens à esquerda da rua secundária (em intersecções de 4 ramos).

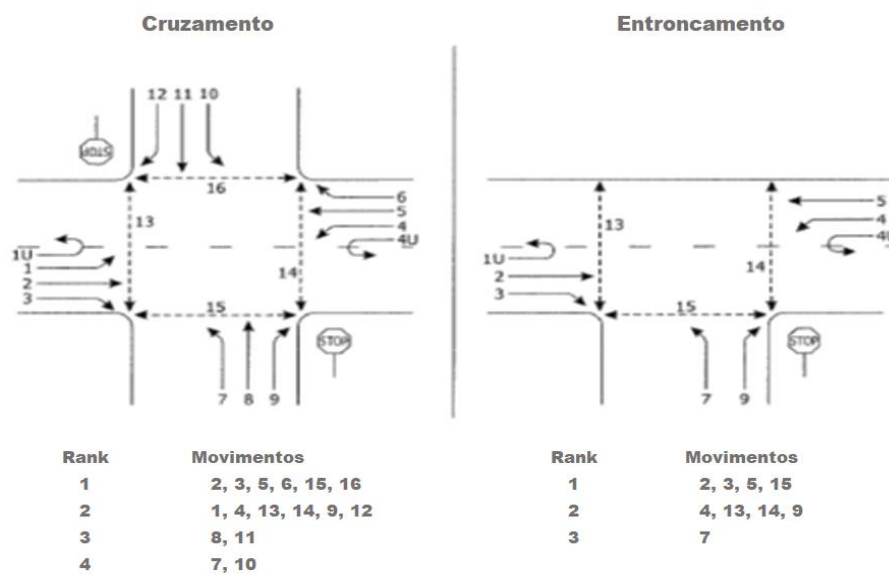
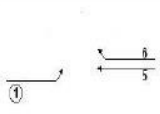
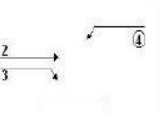
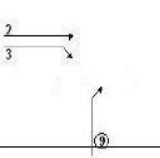
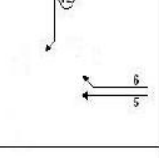
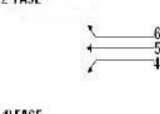
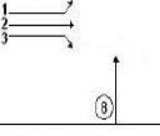
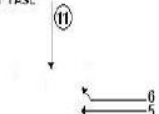
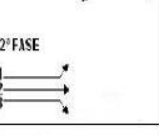
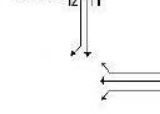
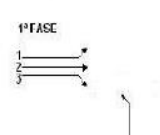
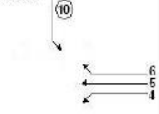
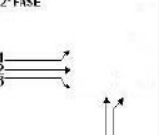


Figura 2.4 - Definição dos movimentos e os níveis de hierarquia de cada um deles (adaptado HCM, 2010).

Os movimentos das intersecções prioritárias enfrentam pontos de conflito. Esses pontos de conflito são denominados de divergências, convergências, atravessamentos e entrecruzamentos. Para os movimentos não prioritários, ou seja, todos os movimentos exceto os de nível 1, é necessário calcular os volumes conflituantes. Os volumes conflituantes revelam a combinação de todos os volumes que interferem com um dado movimento tendo em conta o peso relativo de cada um. Na tabela 2.4, apresentada a seguir, é possível observar o desenvolvimento dos cálculos dos volumes conflituantes de cada movimento.

Tabela 2.4 - Método de cálculo dos volumes conflitantes para os diferentes movimentos não prioritários.

	MOVIMENTOS CONFLITUANTES		VOLUMES CONFLITUANTES
Viragem à esquerda da via prioritária ($v_{c,1}$; $v_{c,4}$)			$v_{c,1} = v_3 + v_6^{(3)}$ $v_{c,4} = v_2 + v_3^{(3)}$
Viragem à direita da via secundária ($v_{c,9}$; $v_{c,12}$)			$v_{c,9} = \frac{v_2^{(2)}}{N} + 0.5v_3^{(1)}$ $v_{c,12} = \frac{v_5^{(2)}}{N} + 0.5v_6^{(1)}$
Atravessamentos ($v_{c,8}$; $v_{c,11}$) ^(*)	<p>2ª FASE</p>  <p>1ª FASE</p> 	<p>1ª FASE</p>  <p>2ª FASE</p> 	<p>1ª Fase</p> $v_{c,8} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3^{(2)}$ $v_{c,11} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6^{(1)}$ <p>2ª Fase</p> $v_{c,8} = 2v_4 + v_5 + v_6^{(3)}$ $v_{c,11} = 2v_1 + v_2 + v_3^{(3)}$
Viragem à esquerda da via secundária ($v_{c,7}$; $v_{c,10}$) ^(*)	<p>2ª FASE</p>  <p>1ª FASE</p> 	<p>1ª FASE</p>  <p>2ª FASE</p> 	<p>1ª Fase</p> $v_{c,7} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3^{(1)}$ $v_{c,10} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6^{(1)}$ <p>2ª Fase</p> $v_{c,7} = 2v_4 + \frac{v_5}{N} + 0.5v_6^{(6)} + 0.5v_{12}^{(4,5)} + 0.5v_{11}$ $v_{c,10} = 2v_1 + \frac{v_2}{N} + 0.5v_3^{(6)} + 0.5v_9^{(4,5)} + 0.5v_8$

Fonte: adaptado HCM (2010).

2.5.3 VOLUMES DE TRÁFEGO

- Volume horário de projeto** – Esse instrumento de análise é procurado ainda em fase de planeamento para traduzir uma ideia da procura que terá a estrada. O volume horário de projeto (VHP) corresponde ao volume da 30ª hora de ponta, ou seja, o volume horário que é excedido 29 vezes durante o ano (Costa & Macedo, 2008a). Geralmente é calculado através do tráfego médio diário anual, como é possível observar na fórmula 2.4.

$$VHP = TMDA \times k_1 \times k_2 \tag{Eq. 2.4}$$

Em que:

VHP – Volume horário de projeto (veic./h);

TMDA – Tráfego médio diário anual (veic./dia);

k_1 – Fração do TMDA que ocorre na hora de ponta;

k_2 – Fração do tráfego da hora de ponta correspondente ao sentido mais carregado.

Os valores usuais de k_1 e k_2 são apresentados na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Valores usuais dos parâmetros k_1 e k_2 .

Tipologia das estradas	k_1	k_2
Rural	0,15 – 0,25	0,65 – 0,80
Suburbana	0,12 – 0,15	0,55 – 0,65
Urbana:	Via radial	0,07 – 0,12
	Via circular	0,07 – 0,12

Fonte: Adaptado Costa & Macedo (2008a).

- **Tráfego médio diário anual** – O tráfego médio diário anual (TMDA) corresponde à média anual dos volumes de tráfego medidos num determinado local durante 365 dias. A equação 2.5 permite observar como é feito o cálculo do TMDA (Martins, 2021a).

$$TMDA = \frac{\sum veic_{.365}}{365} \quad Eq. 2.5$$

Em que:

$\sum veic_{.365}$ – Soma da totalidade dos veículos durante 365 dias.

- **Tráfego médio diário** – O tráfego médio diário (TMD) representa uma média diária de veículos obtida durante um período diário de recolha, geralmente semanal (7 dias) ou mensal (30 dias). A equação 2.6 apresenta o cálculo do tráfego médio diário.

$$TMD = \frac{\sum veic_{.x}}{x} \quad Eq. 2.6$$

Em que:

X – Período diário de recolha.

- **Período de ponta da manhã** – O período de ponta da manhã (PPM) se trata do período com maior fluxo de tráfego durante a manhã, tendo, geralmente, uma duração de 3 horas e sendo contabilizado em intervalos de 15 em 15 minutos (IMTT, 2011).
- **Período de ponta da tarde** – O período de ponta da tarde (PPT) se trata do período com maior fluxo de tráfego durante a tarde, tendo, geralmente, uma duração de 3 horas e sendo contabilizado em intervalos de 15 em 15 minutos (IMTT, 2011).
- **Hora de ponta da manhã** – A hora de ponta da manhã (HPM) é a hora com maior fluxo de tráfego durante o período da manhã, sendo contabilizada em intervalos de 15 em 15 minutos (Martins, 2021a).

- **Hora de ponta da tarde** – A hora de ponta da tarde (HPT) é a hora com maior fluxo de tráfego durante e o período da tarde, sendo contabilizada em intervalos de 15 em 15 minutos (Martins, 2021a).
- **Volume de ponta para 15 minutos** – O volume de ponta para 15 minutos (V_{p15}) representa os quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro do período da hora de ponta, podendo ser obtido para o turno da manhã e/ou para o turno da tarde (Martins, 2021a).

2.5.4 TEMPO E DISTÂNCIA ENTRE VEÍCULOS

O tempo entre veículos (h) se trata do intervalo de tempo, que é registado num local específico, que decorre entre o tempo de passagem de cada um dos veículos de ordem $i-1$ e i . Normalmente, é utilizado como ponto de referência o para-choques ou a roda dianteira (Costa, 2008). A seguir é possível observar a equação 2.7 apresentando o cálculo do tempo entre veículos e a figura 2.5 apresenta o diagrama espaço-tempo.

$$h_{i+1} = t_{i+1} - t_i \quad \text{Eq. 2.7}$$

Em que:

h_{i+1} – Tempo entre veículos do veículo $i+1$;

t_i, t_{i+1} – Instante de passagem do veículo $i, i+1$.

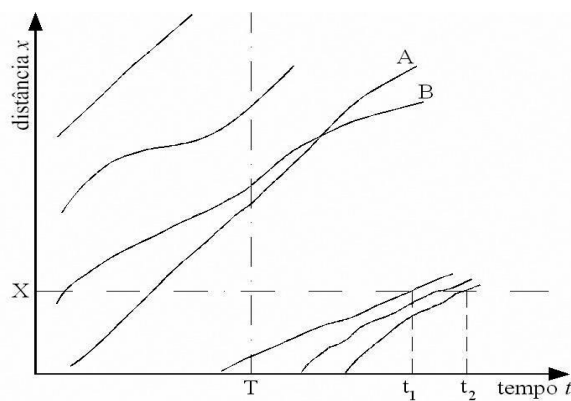


Figura 2.5 - Diagrama espaço-tempo (Costa, 2008).

Já a distância entre veículos representa o comprimento, medido em um instante de tempo, de dois veículos de ordem $i-1$ e i . Assim como no ponto anterior, para realizar o cálculo da distância entre veículos (s) assume-se como ponto de referência em cada automóvel o para-choque ou a roda dianteira (Costa, 2008). Na equação 2.8 é apresentado o cálculo da distância entre veículos e na figura 2.6 é possível observar o diagrama com a relação entre o tempo e a distância dos veículos.

$$s_{i+1} = x_i - x_{i+1} \quad \text{Eq. 2.8}$$

Em que:

s_{i+1} – Distância entre veículos associada ao veículo $i+1$;

x_i, x_{i+1} – Distância à origem do veículo $i, i+1$.

A seguir, na equação 2.9, é possível observar como é realizado o desenvolvimento da relação entre as variáveis s e h :

$$s_{i+1} = h_{i+1} \times u_{i+1} \quad \text{Eq. 2.9}$$

Onde:

u_{i+1} – Velocidade do veículo $i+1$ durante o tempo h_{i+1} .

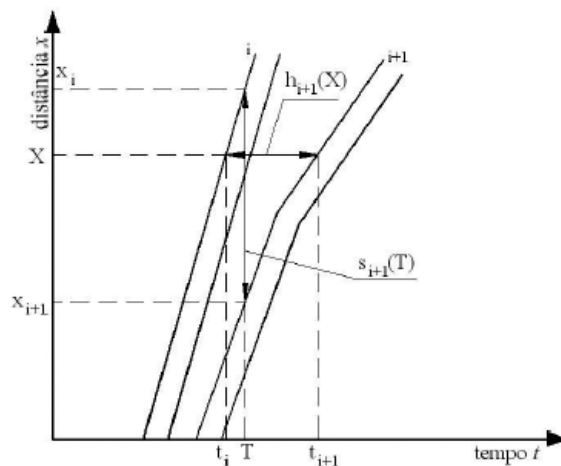


Figura 2.6 - Diagrama com tempo e distância entre veículos (Costa, 2008).

2.5.5 DÉBITO

A variável, apresentada por Costa (2008) como débito, representa a distribuição dos veículos no tempo, sendo definida pelo número de veículos que passam em uma secção durante um certo intervalo de tempo, geralmente é apresentado em veic/h .

Assumindo $n(t_1, t_2, x)$ como o número de veículos que passam na secção x no período t_2-t_1 , é possível observar, na equação 2.10, como o débito pode ser calculado.

$$q(t_1, t_2, x) = \frac{n(t_1, t_2, x)}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq. 2.10}$$

A equação 2.11 apresenta a relação existente entre o débito e o valor médio do intervalo entre os veículos (\bar{h}).

$$q = \frac{1}{\bar{h}} \quad \text{Eq. 2.11}$$

O período de tempo de observação para determinar o valor de q , geralmente, é inferior a uma hora, sendo utilizado de forma corrente, e aconselhável, o intervalo de 15 minutos. O valor obtido corresponde ao volume de

tráfego escoado durante uma hora, assumindo que o escoamento permanece constante. A tabela 2.6 exemplifica a relação entre volume de tráfego e débito.

Tabela 2.6 - Exemplo da relação volumes de tráfego e débitos.

Intervalo de tempo (hh:mm)	Volume de tráfego (veíc./15min)	Débito (veíc./h)
10:00 – 10:15	300	1200
10:15 – 10:30	400	1600
10:30 – 10:45	320	1280
10:45 – 11:00	280	1120
Total	1300	

Fonte: Adaptado Costa (2008).

No exemplo apresentado o volume total é de 1300 veic/h, já o débito oscila entre 1200 e 1600 veic/h no período de observação de uma hora.

2.5.6 FATOR DE PONTA HORÁRIO

Em estudos relacionados com a capacidade e os níveis de serviço, o Fator de Ponta Horária (FPH) é obtido através da relação entre o volume horário e o débito de ponta. A equação 2.12, com base na tabela 2.5, exemplifica essa relação para um volume horário de 60 minutos e um débito de 15 minutos, ou seja, com o período de observação quatro vezes maior que o tempo do débito.

$$FPH = \frac{V_{60}}{4 \times V_{15}} \quad \text{Eq. 2.12}$$

Substituindo os valores, para o intervalo das 10:15 – 10:30, temos:

$$FPH = \frac{1300}{4 \times 400} = 0,812$$

Destaca-se que, correntemente, o valor do FPH está compreendido entre 0,75 e 0,95, sendo que em teoria ele pode variar de 0.25 até 1,00.

2.5.7 VELOCIDADE INDIVIDUAL E VELOCIDADE MÉDIA

Uma das variáveis mais importantes dos estudos de tráfego é a velocidade individual de cada veículo. Essa variável é traduzida por uma distância percorrida em um determinado tempo e a partir do seu conhecimento obtém-se informações que permitem desenvolver estudos económicos, análises ligadas a segurança, estimativas dos consumos de combustível e das emissões de poluentes, entre outras (Costa, 2008).

Em relação a velocidade média, existem dois conceitos diferentes dessa variável: a velocidade média em relação ao espaço percorrido e a velocidade média em função do tempo de deslocação (Costa, 2008).

A velocidade média em relação ao espaço (u_s) percorrido corresponde, num dado instante, à média ponderada pelas concentrações das velocidades dos veículos observadas em um determinado percurso da estrada. Essa variável pode ser calculada pela equação 2.13 apresentada a seguir:

$$u_s = \frac{\sum k_i \times u_i}{\sum k_i} \quad \text{Eq. 2.13}$$

Já a velocidade média em relação ao tempo (u_t) corresponde a média das velocidades dos veículos que passam numa secção durante um certo intervalo de tempo. A equação 2.14, apresentada a seguir, demonstra como essa variável é obtida.

$$u_t = \frac{\sum q_i \times u_i}{\sum q_i} \quad \text{Eq. 2.14}$$

2.5.8 CONCENTRAÇÃO E TAXA DE OCUPAÇÃO

A concentração se trata da repartição dos veículos no espaço e reflete a liberdade de manobra dos condutores, sendo possível medir através do número de veículos por unidade de comprimento (Costa, 2008). Dessa forma, a concentração em um instante t de um troço de estrada compreendido entre x_1 e x_2 é obtida pela equação 2.15 apresentada a seguir:

$$k(x_1, x_2, t) = \frac{n(x_1, x_2, t)}{x_2 - x_1} \quad \text{Eq. 2.15}$$

A equação 2.16 apresenta a relação existente entre a concentração e o valor médio da distância entre os veículos (\bar{s}).

$$k = \frac{1}{\bar{s}} \quad \text{Eq. 2.16}$$

Já a taxa de ocupação é obtida através de espiras eletromagnéticas, que ficam enterradas no pavimento, e conseguem medir o tempo que uma zona de deteção se encontra ocupada devido a presença de veículos, representando assim à percentagem de tempo que o sensor se encontra ativado devido a passagens sucessivas de veículos (Costa, 2008). A equação 2.17, apresentada a seguir, demonstra como é calculada a taxa de ocupação.

$$\Phi = \frac{\sum t_i}{T} \times 100 \quad \text{Eq. 2.17}$$

Em que:

Φ – Taxa de ocupação;

t_i – Tempo em que o sensor está ativado pela passagem do veículo i ;

T – Tempo de observação.

Convenientemente, destaca-se a relação entre o débito, a velocidade e a concentração, que é possível observar em uma corrente de tráfego com débito q , decomposto em n correntes de tráfego elementares i , onde os veículos deslocam-se à mesma velocidade u_i . O débito e a concentração destas correntes de tráfego i são, respetivamente, q_i e k_i (Costa, 2008). Dessa forma a metodologia de cálculo do débito total da corrente de tráfego pode ser observado na equação 2.18.

$$q = \sum q_i \quad \text{Eq. 2.18}$$

Na equação 2.19 podemos observar o cálculo da concentração.

$$k = \sum k_i \quad \text{Eq. 2.19}$$

Mantendo o raciocínio para correntes de tráfego elementares i podemos concluir a seguinte relação, que é apresentada a seguir, na equação 2.20:

$$q_i = k_i \times u_i \quad \text{Eq. 2.20}$$

Recordando a equação 2.10, que apresenta o cálculo da velocidade média no espaço, é possível chegar a relação apresentada a seguir, na equação 2.21:

$$u_s = \frac{q}{k} \quad \text{Eq. 2.21}$$

Essa relação é definida como relação fundamental das correntes de tráfego e permite determinar qualquer uma das variáveis, partindo do princípio que se conheça o valor das outras duas (Martins, 2021a).

2.5.9 MATRIZ ORIGEM/DESTINO

Para realizar o estudo de uma interseção ou de uma rede viária é indispensável ter a percepção de como ocorre a repartição direcional do tráfego, ou seja, os débitos relacionados a todos os movimentos, ou os destinos, possíveis apresentados em forma matricial, usualmente denominada como matriz Origem/Destino (Matriz O/D).

Existem muitos métodos que permitem a obtenção dos dados de origem e destino dos veículos, porém o mais corrente é o método das matrículas. Neste método é feito o registo das matrículas e posteriormente são confrontados os dados registados, identificando os pares de matrículas iguais e fazendo assim a correspondência de cada par com uma viagem realizada entre uma origem e um destino.

Na formulação geral de uma matriz O/D, considerando uma interseção ou uma rede, com n ramos de entrada e saída, se designa por q_{ij} o débito da corrente de tráfego que vai de uma origem i para um destino j , já Q_i

e Q_j são os débitos totais de i e de j (Costa, 2008). A tabela 2.7 exemplifica essa formulação geral com uma matriz quadrada 5x5.

Tabela 2.7 - Formulação geral de uma matriz O/D

Destino Origem	D1	D2	D3	D4	D5	Σ
O1	0	q_{12}	q_{13}	q_{14}	q_{15}	Q_1
O2	q_{21}	0	q_{23}	q_{24}	q_{25}	Q_2
O3	q_{31}	q_{32}	0	q_{34}	q_{35}	Q_3
O4	q_{41}	q_{42}	q_{43}	0	q_{45}	Q_4
O5	q_{51}	q_{52}	q_{53}	q_{54}	0	Q_5
Σ	Q'_1	Q'_2	Q'_3	Q'_4	Q_5	$\Sigma Q = \Sigma Q'$

Fonte: Elaboração própria.

2.5.10 NÍVEIS DE SERVIÇO

Os condutores costumam recorrer a um conjunto de indicadores para realizar caracterização do serviço que a estrada lhes oferece, como por exemplo: segurança, comodidade, demoras e paragens, velocidade (ou tempo) de percurso, restrições à liberdade de manobra dos condutores, custo, etc. Dessa forma o dimensionamento da infraestrutura é realizado levando em conta o desempenho que se prevê que essa infraestrutura possa oferecer aos condutores, garantindo a esses certas condições de circulação, que terão níveis de exigências diferentes de acordo com a importância que se pretenda atribuir à estrada em estudo (Costa & Macedo, 2008b).

O HCM define 6 níveis de serviço, representados pelas letras de A a F, que identifica desde um regime de escoamento livre com excelentes condições de circulação, representado por A, até situações de congestionamento e geração de filas, esse nível de serviço é representado pela letra F. A seguir é feita uma descrição mais detalhada sobre cada um desses níveis de serviço, segundo Samboni, 2020:

- **Nível A** – Representa uma condição de fluxo completamente livre. A condução particular de cada um praticamente não é afetada pela presença de outros veículos, sendo condicionada apenas em função das características físicas da via. Pequenas perturbações no fluxo são absorvidas sem que ocorra qualquer variação na velocidade média da corrente de tráfego;
- **Nível B** – Condição de fluxo livre, todavia, a presença dos outros veículos se torna perceptível. Possui a mesma velocidade que foi observada para o nível A, porém os motoristas têm uma liberdade de manobra ligeiramente inferior. Pequenas perturbações ainda são facilmente absorvidas, embora a deterioração no local do evento se torna perceptível;

- **Nível C** – A influência da densidade do tráfego passa a ser marcante e a possibilidade de manobra dentro da corrente de tráfego é afetada pela presença de outros veículos. Qualquer pequena perturbação na corrente de tráfego causa sérias deterioração do nível de serviço, sendo que filas se formarão a montante de perturbações maiores;
- **Nível D** – As oportunidades de manobra são extremamente restringidas devido ao maior volume de tráfego e a velocidade média do fluxo se torna reduzida. Apenas perturbações pequenas podem ser absorvidas sem que haja formação de filas e constrangimento no nível de serviço;
- **Nível E** – Representa uma operação próxima ou no limite da capacidade, com o fluxo instável. A densidade do tráfego é variável, em função da velocidade da via, e os veículos circulam com o mínimo espaçamento capaz de manter a corrente de tráfego uniforme. Perturbações no tráfego podem ser facilmente dissipadas, geralmente levando à formação de congestionamento;
- **Nível F** – Representa fluxo forçado ou interrompido e ocorre quando a demanda projetada para a infraestrutura viária é superior à capacidade ofertada. Embora a operação no ponto no qual há restrição de capacidade ocorra no limite do nível “E”, filas se formam à montante da via, com operação instável e alternância de movimento e paradas. Vale notar que o nível “F” pode ser usado para descrever o ponto no qual se inicia a formação do congestionamento, bem como a condição operacional da fila que se forma à montante.

A classificação dos níveis de serviço apresentada é válida para troços correntes de autoestradas e estradas multivias. No entanto, o mesmo conceito é aplicado, com as devidas adaptações, aos restantes tipos de infraestruturas rodoviárias como as estradas de 2 vias ou as interseções, entre outras. Independente da estrada, o nível de serviço sempre é determinado tendo em conta o período de ponta máxima de 15 minutos da hora de ponta, porém os critérios são diferentes para cada uma delas.

2.6 DataFromSky

No decorrer do estágio foi desenvolvida uma atividade de pendor mais investigativo que correspondeu à utilização do sistema DatafromSky, que faz recurso a filmagens com drone e recolha de dados com base em técnicas de inteligência artificial aplicadas ao tratamento das imagens recolhidas, como já foi referido no capítulo anterior.

Dado o carácter inovador e o relevo da utilização do sistema DatafromSky no presente trabalho, efetua-se uma breve descrição do mesmo. Na secção 4.4 do relatório (correspondente à apresentação da atividade 3) descreve-se de forma detalhada a utilização prática do software e as vantagens e dificuldades da sua aplicação como alternativa aos métodos tradicionais de recolha e tratamento de dados de tráfego. Os levantamentos efetuados de tráfego efetuados foram possíveis devido à colaboração direta do ISEL no âmbito do protocolo académico que detém com a empresa DataFromSky, o que permitiu a utilização deste sistema no âmbito do TFM.

A metodologia utilizada divide-se em duas etapas: a primeira etapa corresponde à recolha de dados com utilização de drones para filmagem e posterior criação/recolha de dados através do sistema de IA do DataFromSky. A segunda etapa consiste na análise operacional dos dados de tráfego no software DataFromSky Viewer e a construção de modelos de microssimulação de tráfego com base no software Vissim da PTV, que será apresentado no capítulo 3 e utilizado no capítulo 4.

Como já foi mencionado, o sistema DataFromSky é uma poderosa ferramenta de análise. A sua equipe técnica é formada por profissionais que são especialistas em IA e visão computacional, tendo como alvo as soluções de ponta para as cidades do futuro. Esta abordagem tecnologicamente muito avançada permitiu à empresa desenvolver uma lista extensa de parceiros ao redor do mundo, estando presente em mais de 50 países. A seguir, na figura 2.7, podemos observar o logotipo da DataFromSky:



Figura 2.7 - Logotipo DataFromSky (datafromsky, 2022)

A plataforma de análises da DataFromSky disponibiliza uma lista considerável de serviços tecnológicos inovadores. Para uma melhor percepção dos principais desenvolvimentos, apresentam-se alguns marcos fundamentais na evolução da sua plataforma (datafromsky, 2022):

- 2013 – Surge a empresa DataFromSky fazendo uso de imagens obtidas a partir de drones para realizar análises de tráfego;
- 2017 – Avanço dos seus serviços com ParkingDetection, uma plataforma de estacionamento inteligente com base em visão computacional, reconhecimento de placas de matrícula e deteção de ocupação;
- 2019 – Evolução na sua lista de parceiros, incluindo instituições e programas académicos, assim como empresas de grande reconhecimento a nível mundial, para realização de análises de tráfego com grandes dimensões e grande complexidade, chegando a fazer uso de 10 drones, em simultâneo. Apresentam-se alguns dos parceiros de referência da DataFromSky na figura 2.8:



Figura 2.8 - Alguns dos principais parceiros da DataFromSky em 2019 (datafromsky, 2022).

- 2020 – Grande passo nos estudos de tráfego passando a ser possível análise de vídeo em tempo real, permitindo inclusive que qualquer pessoa faça as análises;
- 2021 – Apresentação de uma potente unidade de processamento para implementação de vigilância e monitoramento em tempo real, combinando as tecnologias de drone amarrado com análise de vídeo;
- 2022 – Desenvolvimento de outro grande passo em relação a análise de vídeo, recorrendo ao sensoriamento colaborativo para controle dinâmico de tráfego e recolha de dados.

2.6.1 APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE TRÁFEGO

Em relação aos estudos de tráfego, o DataFromSky Viewer se apresenta como um software único para análises posteriores de vídeos, com interpretação avançada e visualização de dados de tráfego, capazes de medir características de fluxo em qualquer ponto ou região necessária analisando todas as trajetórias naquele local. A sua plataforma recorre a um sistema complexo para extrair, de forma totalmente automatizada, dados de tráfego precisos, fazendo uso de métodos de IA (VIEWER, 2019).

O DataFromSky disponibiliza opções para duas tipologias de tratamento das imagens registadas consoante a forma de recolha das mesmas: o modo DFS AERIAL e o modo DFS LIGHT. O modo AERIAL foi concebido para a gravação de vídeo a partir de alturas mais elevadas utilizando drones. Isto significa que os objetos são menores e o ângulo de visão é maior. É suposto utilizar dados georreferenciados, ou seja, ligando o cenário em estudo com o mapa com utilização de unidades reais: metros, pés e etc. (VIEWER, 2019).

Já o modo LIGHT foi concebido para analisar imagens filmadas a partir de uma altura menor, tais como câmaras de trânsito. Os objetos filmados são muito maiores e as imagens não são georreferenciadas, ou seja, as posições individuais da trajetória estão apenas na imagem, expressa em pixels, (VIEWER, 2019).

Como é possível perceber, as fronteiras de aplicação do sistema DataFromSky na área de engenharia de tráfego são bastante extensas. Entre todos os serviços de análise que são disponibilizados no repertório da ferramenta, referem-se a título de exemplo algumas das principais, que também serão apresentados na atividade final do capítulo 4:

- **Recolha de imagens** – Esta primeira etapa é a base para o desenvolvimento das técnicas de recolha de dados com recurso a câmaras instaladas em drone ou camaras fixas junto às infraestruturas;
- **Contagem e caracterização do tráfego** – O DataFromSky fornece uma análise completa e fiável do tráfego em estudo, discriminando de forma detalhada as ações dos objetos presentes nas imagens recolhidas. Essa caracterização da contagem pode ser definida para zonas específicas e dessa forma construir uma matriz O/D. Esse tipo de análise depende da criação

de Gates e Lanes que são responsáveis por contabilizar os objetos em movimento nas imagens, como é possível observar na figura 2.9.

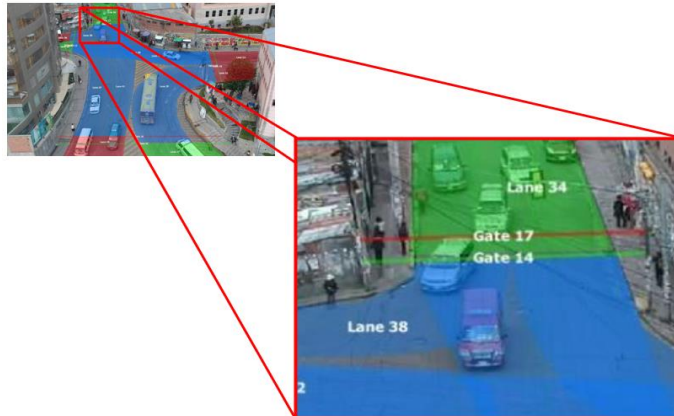


Figura 2.9 - Gates e Lanes utilizados na contagem e caracterização do tráfego (Costa et al, 2021).

- **Classificação dos objetos** – O software Viewer disponibiliza a classificação dos diferentes objetos como: Car, Medium Vehicle, Heavy Vehicle, Bus, Motorcycle, Bicycle e pedestrian. Independente da classificação dos objetos, em termos de análise e caracterização do tráfego, o processo de registo é igual assim como os dados obtidos para cada um dos diferentes objetos presentes na área de estudo: trajetória, velocidade, aceleração, entre outros;
- **Statistics Headways** – O DataFromSky disponibiliza análises do tipo headways que conseguem fornecer o valor médio do intervalo de tempo e o espaço entre os veículos que constituem o tráfego em estudo (Overall), o desvio padrão deste valor (sigma) e o número de eventos registados para o cálculo apresentado (num of samples). É possível observar a forma de apresentação dessas informações na figura 2.10.

```
Headway Statistics
--
Overall: 1.46454 (sigma = 0.982827, num of samples = 139)

Gate "Gate 12": 1.20954 (sigma = 0.857842, num of samples = 16)
Gate "Gate 13": 1.53765 (sigma = 0.773942, num of samples = 12)
Gate "Gate 14": 1.38234 (sigma = 1.05325, num of samples = 21)
Gate "Gate 15": 1.33467 (sigma = 0.961757, num of samples = 22)
Gate "Gate 16": 1.97324 (sigma = 1.11605, num of samples = 29)
Gate "Gate 17": Not enough data samples
Gate "Gate 18": 1.21047 (sigma = 0.926523, num of samples = 36)
Gate "Gate 20": 2.1021 (sigma = 0.800802, num of samples = 2)
```

Figura 2.10 - Estatísticas Headways (Costa et al, 2021).

- **Mapas de calor** - O software Viewer permite também apresentar mapas de calor a partir das análises de tráfego realizadas. Estes mapas, trabalham de forma a sobrepor as informações obtidas, permitindo assim obter mapas de calor para quatro tipos de sobreposições: tempo de espera, velocidade, aceleração total, e densidade dos objetos. Dessa forma obtém-se uma rápida percepção do dinamismo presente no tráfego presente na interseção em estudo. Na figura 2.11 podemos observar um mapa de calor obtido com base na sobreposição entre a velocidade média, a aceleração média e o tempo de espera.



Figura 2.11 - Mapa de calor (Costa et al, 2021).

- Análise de segurança** – De acordo com a trajetória e a velocidade, em particular, de cada “objeto”, o Viewer realiza de forma detalhada análises de segurança para o tráfego em estudo, podendo fornecer duas categorias de resultados distintas: identificação de pontos de risco de colisão e zonas de travagem acentuada. Na figura 2.12 vamos observar a análise realizada, indicando o risco de colisão em função de cada objeto e da velocidade dos mesmos.

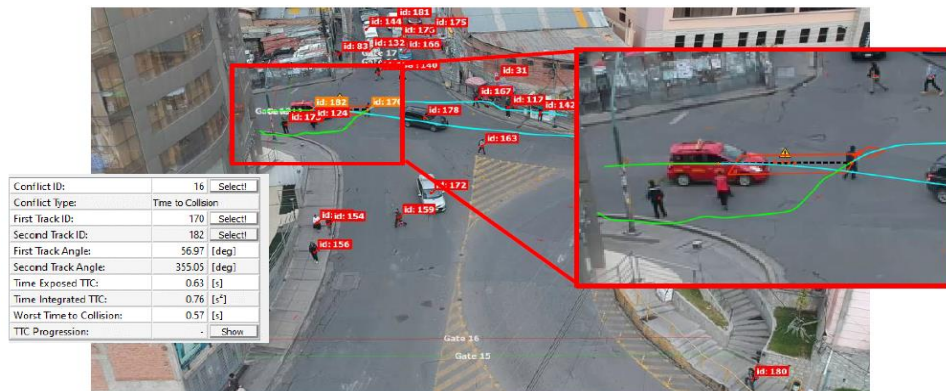


Figura 2.12 - Risco de colisão entre veículo e pedestre (Costa et al, 2021).

Já na figura 2.13 é possível observar o resultado de uma análise para as zonas de travagem, que indica os locais com maior índice de ocorrência das travagens.



Figura 2.13 - Zonas com maiores índices de travagens (Costa et al, 2021).

Na secção 4.4 serão apresentadas duas análises detalhadas. A primeira utilizando uma filmagem pequena, de 5 minutos, e a segunda uma filmagem de 60 minutos, que irá representar a HP de um estudo de tráfego.

3 APLICAÇÃO DE MODELOS NA ANÁLISE DE TRÁFEGO

3.1 Definição de Modelo

Um modelo nada mais é que uma representação simplificada de uma parte do mundo real que se concentra em determinados elementos considerados importantes de um ponto de vista particular. Os modelos são, portanto, específicos a nível de uma problemática e de um ponto de vista. Uma definição tão abrangente nos dá margem para incorporar modelos físicos e analíticos (Ortúzar e Willumsen, 1990).

Outra menção a se ter em conta é a de KAMAN (1996), definindo um modelo como uma aproximação, representação ou idealização de determinadas características, comportamento, funcionamento, entre outras particularidades de um processo, conceito ou sistema do mundo real. Ele menciona ainda o fato de ser possível associar a utilização de modelos a praticamente todas as atividades que se desenvolvem no nosso mundo. Trata-se de um conceito que tanto pode significar a representação em escala reduzida de uma ponte, a simulação em computador da ação do vento numa estrutura ou mesmo uma formulação matemática da dinâmica dos veículos numa estrada. Todavia, existe um aspeto transversal a todos estes modelos: são uma representação idealizada e mais ou menos simplificada da realidade.

Um modelo alcançaria a sua perfeição quando fosse capaz de refletir e caracterizar todas as particularidades do sistema que motivou a sua criação e o qual ele representa, toda via, como a sua própria definição transparece, isso não é possível, pois como se sabe um modelo nada mais é do que uma aproximação de um determinado sistema e dos elementos que o constitui. Isso torna possível realizar experiências e análises, sem a necessidade de executar os projetos no sistema real. A figura 3.1 apresentada a seguir evidencia a relação entre um sistema do mundo real e os modelos de simulação.

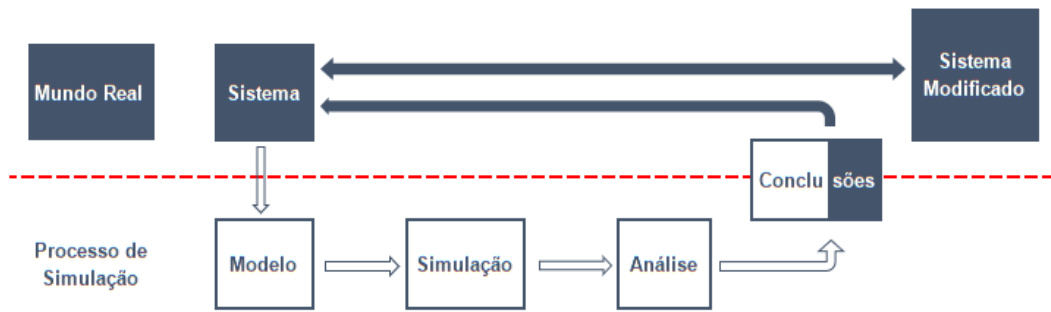


Figura 3.1 - Relação entre sistema do mundo real e modelo de simulação (adaptado Anu, 1997).

3.2 Classificação dos Modelos

De acordo com Tavares (2003) existe uma vasta lista de variedades de modelos para afetação de tráfego, o que dá margem para muitos critérios de classificação, podendo ser segundo um certo número de atributos, tanto no que diz respeito à simulação do tráfego, como à escolha de caminhos. A seguir serão listadas algumas formas de classificação dos modelos para simulação de tráfego, segundo este autor:

- **Sem ou com restrições de capacidade** – Essa primeira forma de classificação que o autor menciona transparece o cálculo dos tempos de viagem, ou seja, se as velocidades ao longo dos arcos, bem como os atrasos nas interseções são independentes do tráfego ou se, de forma contrária, os efeitos causados pelo carregamento da rede são tidos em conta;
- **Estáticos ou dinâmicos** - Os modelos estáticos assumem que a procura se trata de uma constante ao longo do período temporal em análise, já os modelos dinâmicos assumem que a procura pode ser uma variável. Os modelos dinâmicos podem ainda ser divididos em dois grupos: contínuos ou discretos. Os modelos classificados como contínuos se caracterizam por haver uma mudança contínua, com solicitações contínuas no estado do tráfego ao longo do tempo. Já nos modelos discretos, as mudanças de estado do sistema ocorrem de uma forma descontínua, com intervalos de tempo discretos;
- **Determinísticos ou estocásticos** - No que se refere a descrição das variáveis de funcionamento que caracterizam as condições operacionais de uma rede, como velocidade, intervalos críticos, etc., os modelos determinísticos consideram estas variáveis como constantes, enquanto os estocásticos podem refletir a natureza aleatória e probabilística das mesmas;
- **Analíticos ou por simulação** - Por último, no que concerne ao modo de operação dos modelos, podem-se distinguir os matemáticos em que as relações entre as diversas variáveis do sistema são definidas analiticamente por um conjunto de equações e os que são caracterizados pelo recurso à simulação. De uma forma geral, os métodos analíticos estão associados aos modelos macroscópicos e os baseados em simulação ligados aos microscópicos.

Rodrigues (1996) menciona que os modelos analíticos, por serem construídos com base em princípios matemáticos e físicos, acabam por disponibilizar soluções ótimas para o sistema ou pelo menos soluções credíveis e aceitáveis. A principal vantagem destes modelos está na fácil acessibilidade das suas ferramentas bem como o manuseio das mesmas, como é o caso do Excel, por exemplo.

Tavares (2003) menciona também a classificação dos modelos tendo em conta o nível de detalhe dos mesmos, podendo ser caracterizados como: microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos. Essa forma de classificação dos modelos, convenientemente, é apresentada de forma mais elaborada nos níveis de escala de aplicação.

Ainda tendo em conta a simulação de tráfego, outra forma de classificação, é apresentada Hoogendoorn e Bovy (2001). Estes autores consideram que os modelos de tráfego podem ser classificados de acordo com a sua escala de aplicação: redes, arcos ou nós. Essa forma de classificação, também de forma mais conveniente, é apresentada com maior detalhe posteriormente.

Retornando a Tavares (2003), este autor menciona também a possibilidade de fazer distinção entre os modelos tendo em conta a escolha de caminhos, podendo ser distinguidos de acordo com os seguintes atributos:

- **Determinísticos ou estocásticos** – Os métodos determinísticos assumem que todos os utilizadores têm a mesma percepção dos custos de viagem, enquanto os métodos estocásticos permitem diferentes percepções, geralmente através da associação de uma distribuição de custos aos arcos;
- **Equilíbrio do utilizador ou do sistema** – As duas diferentes definições de equilíbrio refletem a otimização do processo de afetação, em que no equilíbrio do utilizador, o objetivo é minimizar o custo de cada utilizador (aplicação do equilíbrio determinístico ou estocástico) e no equilíbrio de sistema o objetivo é o de prever a distribuição das viagens de modo que o custo total da rede seja minimizado.

3.3 Desenvolvimento de um Modelo

Tavares (2003) faz menção sobre o objetivo primordial de um modelo: simular o sistema real. Obviamente que são previstos limites que minimizem os erros admissíveis, de modo que a aplicação do modelo seja útil para a realização de previsões/avaliações de uma rede. Para que o modelo alcance esse objetivo primordial ele precisa passar por duas etapas indispensáveis: calibração e validação.

A construção de um modelo engloba relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades, ou objetos de interesse do sistema. Uma vez construído e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande quantidade de questões sobre o sistema, inclusive alterações futuras que possam ser necessárias de se realizar no seu formato inicial (Ledermann e Kinalski, 2012).

Para 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 modo que os resultados reproduzam a realidade, dentro de um dado intervalo de erro fixado.

Martins (2018) chama a atenção para a calibração dos modelos, afirmando que essa etapa deve ser desenvolvida com base em observações e análises de dados reais, com o intuito que haja uma adesão à finalidade proposta para qual o modelo está previsto ser aplicado.

No que diz respeito a validação, Tavares (2003) destaca que usualmente a fase de validação dos modelos está nos resultados finais quando o aconselhável seria realizar uma validação a cada passo que fosse finalizado durante o processo de desenvolvimento do modelo.

Ainda em relação à validação dos modelos, vale apenas destacar que esta não pode ser alcançada a cem por cento. Rao, Owen & Goldsam (1998), no seguimento do que foi mencionado por Tavares neste primeiro parágrafo, mencionam que nenhum modelo de simulação é desenvolvido para alcançar uma verdade plena, mas sim o maior ponto de aproximação possível.

Convenientemente, Martins (2018) relembra uma frase célebre atribuída a George Box (1976, p.792): “All models are wrong”. Esta frase está relacionada com a definição das abordagens mais corretas para o desenvolvimento do método científico, nomeadamente através da utilização de modelos experimentais. A ideia é destacar a inexistência de modelos perfeitos e por isso conterem sempre algum tipo de erro.

Retornando a Tavares (2003), ele afirma que o desenvolvimento de um modelo, depois ter sido formulado e definido o objetivo, é constituído basicamente em quatro passos:

- **Construção** – Esse passo engloba à conceptualização do modelo em si, assim como a recolha de dados, estruturação do sistema e a verificação dessa estruturação;
- **Calibração** – Trata-se de um “ajustamento” dos valores das variáveis de forma que os critérios de fiabilidade sejam alcançados;
- **Validação** – É a verificação da potencialidade do modelo para aferir os critérios de fiabilidade. Essa etapa obriga a constantes reanálises das fases anteriores;
- **Aplicação** – Estando o modelo já validado ele é submetido ao processo de experiências e análises de resultados.

A seguir temos a figura 3.2 com uma apresentação das etapas de desenvolvimento de um modelo:



Figura 3.2 - Desenvolvimento de um modelo (adaptado de Tavares, 2003).

3.4 Constituição de um Sistema de Tráfego

De acordo com Schimdt & Taylor (1970) um sistema pode ser definido como uma coleção de entidades, pessoas ou máquinas que interagem entre si seguindo alguma regra lógica. No âmbito da simulação, um sistema é uma junção de vários elementos interligados que formam um todo, de forma organizada, e que vão ser simulados. É a partir da observação do sistema que é criado o modelo da simulação (Anu, 1997).

Tendo em conta os sistemas relacionados com o tráfego, que são reconstituídos pelos modelos, Silva (2002) menciona que estes sistemas são compostos por três tipologias de elementos: o usuário, o veículo e a via. Convém destacar a existem de autores que também classificam esses elementos como: o operador, o veículo e a infraestrutura:

- **O utilizador** – O autor aponta como utilizadores os ocupantes dos veículos guiando-os ou não, e os peões, principalmente. Uma abordagem mais ampla incluiria também as demais pessoas que de alguma forma são afetadas pela operação do tráfego. Assim, por exemplo, seriam utilizadores de um sistema de tráfego os moradores de uma área residencial atravessada por uma via que produz ruído e poluição do ar. Todavia destaca-se uma atenção especial aos condutores, que são os utilizadores mais ativos do sistema;
- **O veículo** – Segundo Silva (2002) os sistemas de tráfego englobam todos os tipos de veículos, como por exemplo: automóveis ligeiros, automóveis pesados, triciclos, bicicletas, carroças, elétricos, etc. Todavia, perante essa vasta gama de tipologia dos veículos, a complexidade dos estudos do tráfego seria ainda maior se tivesse em conta a particularidade de cada veículo. Por esse motivo a grande maioria dos estudos de tráfego adota uma unidade veicular padrão, para a qual os outros veículos são convertidos, esse processo é denominado de homogeneização do tráfego. Correntemente a unidade veicular padrão é o veículo ligeiro, representado pela sigla “uvi” - Unidade de Veículos Ligeiros equivalente;
- **A via** – Esse último elemento que o autor aponta na constituição dos sistemas de tráfego, representa o espaço canal que é destinado a circulação. Um conjunto englobando todas as vias de uma região, é designado por sistema viário e assume como funções básicas garantir a mobilidade e acessibilidade dos utilizadores.

3.5 Simulação

De acordo com Hillier & Lieberman (2005) a simulação é nada mais, nada menos, que uma técnica para desenvolver experiências amostrais no modelo de um sistema. Sendo essas experiências feitas no modelo, ao invés de no próprio sistema real, porque é mais conveniente, tanto por questões de segurança como por questões financeiras, e menos dispendioso.

Segundo Ehrlich (1985) a simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise de desempenho de um sistema ou processo, através da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, do modo mais fiel possível, as características do sistema original. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como os diversos fatores irão afetar o desempenho do sistema.

Silva (1998) definiu simular como a reprodução do funcionamento de um sistema, recorrendo a um modelo que permite testar algumas hipóteses sobre o valor de variáveis controladas e dessa forma melhorar o desempenho do sistema em estudo.

Macal & North (2005) afirmam que recorrer as ferramentas de simulação se torna cada vez mais necessário, pois vivemos num mundo cada vez mais complexo, tornando-se assim indispensável a oportunidade de estudar e analisar o comportamento dos sistemas que o constituem.

Alguns autores relatam que nem sempre se justifica recorrer aos modelos de simulação, uma vez que as abordagens analíticas podem ser satisfatórias para o problema em questão. Isso dá origem a uma questão: quando são os modelos de simulação viáveis ou não? May (1990) descreve uma lista de vantagens e desvantagens dos modelos de simulação que são apresentadas na tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1- Vantagens e desvantagens dos modelos de simulação.

Vantagens	Desvantagens
Estudam do sistema em tempo real, acelerado ou desacelerado.	Só apresentam viabilidade quando o sistema avaliado é profundamente compreendido
Conseguem avaliar a importância relativa das variáveis no processo e como elas se relacionam.	O analista deve sempre considerar outros recursos de análise alternativos, pois é possível haver alternativas mais fáceis para resolver o problema.
Avaliam os efeitos decorrentes de mudanças na operação de um sistema.	Exige um profundo entendimento, além dos dados e parâmetros de saída, dos processos de estimação intermediários, sendo indispensável conhecer as limitações e hipóteses dos modelos.
Analizam situações novas ou inexistentes.	Consumo excessivo de tempo e recursos financeiros.
Quantificam os padrões referenciais para comparação de cenários alternativos.	Não disponibilizam uma percepção clara e instantânea, por isso são difíceis de serem utilizados por utilizadores que não sejam seus os autores. Isso torna indispensável uma documentação detalhada e clara sobre o modelo.
Possibilita a avaliação no modo "off-line", em alternativa à prática de tentativa e erro "on-line".	Esses modelos necessitam de dados e informações que podem ser de difícil acesso.
Estudam experimentos sobre sistemas inseguros sem oferecer risco aos utilizadores.	A aplicação de modelos de simulação requer domínio sobre uma ampla variedade de conhecimentos que inclui: teoria de fluxo, programação e operação computacional, probabilidade, estatística, e tomada de decisão.

Disponibilizam informações com sequência temporal e espacial e não apenas valores médios e variâncias.	Geralmente apresentam alguma dificuldade nas fases de calibração e validação. Qualquer deficiência nessas etapas torna o modelo inútil.
--	---

Fonte: **Elaboração própria.**

De acordo com Ledermann e Kinalski (2012), as simulações realizadas pelos modelos desenvolvem, durante um período de tempo, operações ou atividades de um sistema que pode ou não existir no mundo real. Essas simulações que são desenvolvidas pelo modelo permitem que o comportamento desse sistema possa ser estudado, independente de existir ou não.

Entende-se então que um modelo é capaz de gerar uma simulação, que possui um tempo limitado de desenvolvimento, e pode ser utilizado tanto como ferramenta de análise para prever o comportamento de um sistema, independente desse sistema ser real ou não, bem como o seu comportamento perante possíveis mudanças que possam ser efetuadas no futuro.

No que diz respeito aos modelos de simulação para o estudo do tráfego rodoviário é possível destacar dois grupos: **Simulação de Eventos Discretos** e **Simulação Baseada em Agentes**.

3.5.1 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

No que diz respeito as simulações de eventos discretos, Carson (2005) menciona que um sistema representado por esta metodologia, se trata de um sistema cujo estado vai sofrendo mudanças em momentos discretos no tempo, ou seja, a variação no estado das variáveis não acontece de forma contínua. Nesse tipo de modelação, o tempo representa um componente crítico, pois cada vez que acontece um evento de tempo ocorre também uma mudança no estado do sistema.

Já Martins, (2018) menciona que esse tipo de simulação, como o próprio nome o indica, desenvolve interações que permitem obter uma estimativa ou uma previsão das opções de escolha individual dos utilizadores do sistema, perante um conjunto discreto de alternativas possíveis.

3.5.2 SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES

A modelação e simulação baseadas em agentes, na designação anglo-saxónica Agent Based Modeling and Simulation, trata de uma abordagem para as simulações desenvolvidas por modelos que representam um sistema. O avanço desta tecnologia reflete-se no domínio da simulação, ampliando a sua aplicação, que vai desde o comportamento dos agentes de modelação no mercado de ações, cadeias de suprimentos e mercados consumidores, até prever a propagação de epidemias, atenuantes e ameaças de bio-guerra ou o entendimento dos possíveis fatores responsáveis pela queda de uma civilização antiga (Macal & North, 2005).

Jennings (2000) apresenta o ponto de vista da ciência da computação sobre “agentes” que estão presentes nas simulações. Ele destaca que estes devem apresentar características autónomas de comportamento, o que requer a participação e realização de atividades por parte dos mesmos, ao invés de serem simples componentes puramente passivos.

Já Macal & North (2005) acreditam que a definição de “agente” deva permanecer reservada especificamente para os componentes que sejam capazes de apresentar comportamentos variáveis e reações responsivas perante o dinamismo do ambiente que constitui o presente sistema. Estes autores informam ainda que durante a prática de modelação os agentes devem apresentar as seguintes propriedades e atributos:

- Um agente deve ser autónomo e possuir auto direção, podendo funcionar de forma independente em seu ambiente e na sua interação com outros agentes, geralmente numa faixa limitada de situações;
- Um agente é um indivíduo identificável e discreto com um conjunto de características, atributos e comportamentos, bem como capacidade de decisão;
- Os agentes devem ser associáveis, interagindo com os outros agentes. Eles devem apresentar um protocolo de interação, como contenção de espaço, prevenção de colisão, reconhecimento de agentes, comunicação, influência e outros mecanismos de interação;

3.6 Modelação Aplicada em Tráfego Rodoviário

Como se sabe, na presente sociedade em que estamos inseridos, o tráfego existente tem uma importância económica e social significativa, pois sempre estamos em constante movimento devido aos compromissos que temos: trabalho, saúde, educação, lazer, entre outros. Com tantas deslocações a serem realizadas é sempre uma mais—valia a obtenção de algumas informações relevantes, como por exemplo: qual o caminho mais curto, ou ainda o caminho menos utilizado, qual caminho com menor custo, quais as condições de mobilidades permitidas pelas alternativas possíveis e outras informações que facilitem o processo de escolha e, consequentemente, as deslocações. Perante essas incógnitas torna-se fundamental estudar o comportamento do tráfego rodoviário através de modelos.

Relacionando o tráfego rodoviário com tudo o que já foi abordado neste capítulo, é possível formar o conceito de que a modelação aplicada em análise de tráfego consiste em estruturar, em forma de modelo, uma aproximação de um sistema, incluindo a sua estrutura viária e o comportamento dos agentes intervenientes e as suas demais características. Este conceito torna possível tentar prever o comportamento da interação entre todas essas peças que constituem o sistema. Em geral, estes modelos são compostos por três classes de “agentes”: o sistema viário, os veículos e os seus utilizadores.

Martins (2018) destaca a presença da componente comportamental que se apresenta nos modelos aplicados na engenharia de tráfego assumindo a forma de condutores e peões. Estes, além de simularem interações uns com os outros, apresentam também interação com a infraestrutura, tudo isso ao mesmo tempo que realizam as suas trajetórias individuais ao longo da rodovia.

May (1990) chama a atenção para a possibilidade de os modelos de tráfego rodoviário serem mal elaborados se não houver um devido esforço e dedicação durante o processo de modelação, necessário ao compromisso da busca da máxima representatividade da realidade.

Os modelos devem refletir o mais próximo possível o sistema real ou o projeto pretendido, sendo necessária a compreensão do sistema de tráfego rodoviário como um todo. De outra forma, os modelos de análise de tráfego não serão capazes de auxiliarem na busca para uma possível melhoria e aperfeiçoamento do sistema em causa.

Quando se trata de modelação, em detrimento ao cunho operacional existe uma caracterização prévia de qual a melhor maneira para se representar a realidade e como o modelo escolhido se adequa as variáveis disponíveis. Essas e outras relações estão intrínsecas na escolha do modelo representativo de uma análise de mobilidade, da relação do uso do solo com a acessibilidade, ou ainda da interação entre uso do solo e o sistema de transporte (Sousa, 2016).

Fazendo uso de uma abordagem mais direta, é possível dizer que os modelos de tráfego fazem a reprodução do comportamento da estrutura do sistema ao qual ele representa. Com a reprodução da rede viária e os seus integrantes o modelo passa a ser capaz de analisar diversos cenários possíveis para assim dar resposta a questões prementes sobre tempos de deslocação, velocidades, distâncias, atrasos, entre outros.

3.6.1 PERSPETIVA HISTÓRICA

Por meio de Adams (1936) é possível obter conhecimento sobre o surgimento das primeiras investigações relacionadas com o tema dos “fluxos de tráfego”, que tiveram origem em meados dos anos 30 do século passado. Os estudos científicos desenvolvidos fundamentavam-se em teorias de probabilidade, na tentativa de caracterizar o tráfego viário, e em modelos matemáticos que tentavam obter possíveis relações entre o volume de tráfego e as velocidades praticadas.

Entre as várias áreas que apresentaram grande desenvolvimento logo depois da segunda guerra mundial temos a indústria automotiva, que estava diretamente relacionada com o aumento do sistema viário. Essa realidade obrigou à elaboração de mais pesquisas sobre tráfego, abordando também a teoria de filas de espera. Neste cenário foi apresentado um modelo que relacionava os veículos que constituíam o fluxo de tráfego com as partículas presentes num fluido (Hoogendoorn e Bovy, 2001).

Tavares (2003) faz menção sobre o início do desenvolvimento da modelação sobre oferta/procura, tendo origem na década de 50, servindo como uma base inicial para construção do planeamento relacionado as infraestruturas rodoviárias que seriam responsáveis por uma futura evolução na ligação entre as zonas urbanas nos EUA.

Martins (2018) relata que no fim da década de 50, existia um corpo de ideias e de teorias na área da economia do bem-estar, relativamente consolidadas, que estavam à espera de serem aplicadas em abordagens relacionadas a sistemas de transportes, mais especificamente no contexto da tarifação eficiente da utilização das vias, designada por tarifação do congestionamento.

Permanecendo no contexto histórico entre os anos 50 e os anos 60, temos outro grande avanço relacionado com a engenharia de transportes: o surgimento de três artigos que abordavam desenvolvimentos sobre os modelos de arcos, os modelos de nós e os modelos de redes. Estes modelos, posteriormente, viriam a

ser apontados como os três principais tipos de modelos presentes nos estudos relacionados ao tráfego rodoviário Martins (2018).

Encontramos outra menção relevante, esta feita por Silva e Tyler (2002), que nos transporta para os anos 60, mais especificamente para os bastidores da companhia General Motors, onde foram realizadas várias experiências que relacionavam a variação da velocidade de um veículo com o comportamento de outro suposto veículo que transitava à sua frente. Este evento destaca-se por estar ligado ao início do estudo da interação entre os veículos presentes num sistema, o que deu mais tarde origem a grande parte das teorias de Microsimulação.

3.6.2 FUNÇÕES E OBJETIVOS

Tavares (2003) acredita que por consequência das suas características, os estudos do tráfego formam uma realidade onde a utilização de modelos desempenha um papel de suma importância, uma vez que estes se apresentam como importantes ferramentas de apoio, basicamente por dois principais motivos:

1. A dificuldade e o custo em concretizar experiências em escala real, assim como possíveis consequências em relação às questões de segurança;
2. A capacidade que os modelos possuem para testar, comparar e avaliar alternativas, sem a necessidade de as mesmas serem concretizadas.

Este autor reforça o seu raciocínio fazendo a análise da complexidade que há durante a execução de um processo de planeamento urbano, sendo que esta complexidade é cada vez maior devido as características estáticas, como uso dos solos, novas estruturas, entre outras e também pelas características dinâmicas: controle de tráfego, direcionamento dos condutores, portagens, etc. Todos esses fatores podem ser conjugados pelos modelos, de forma a construir um ponto de partida ou mesmo uma solução.

Cardoso (2010) afirma que o planeamento de transportes tem como finalidade conseguir estimar padrões de fluxos das viagens de pessoas e dos veículos, para que assim seja possível nortear as possibilidades e as direções dos futuros investimentos que serão aplicados nos Sistemas de Transportes e nas redes rodoviárias, estimando que futuramente sejam cumpridas às necessidades.

O autor continua o seguimento do seu raciocínio explicando que os modelos tentam realizar essa previsão das futuras necessidades. Com isso, as pesquisas relacionadas com os problemas presentes dentro da área de transportes passam a ser desenvolvidas recorrendo a modelos que têm como objetivo a representação das características de uma nova realidade.

Um modelo que representa um determinado sistema pode desenvolver diversas funções e ter várias finalidades. Martins (2018) menciona que os modelos desenvolvidos no contexto da engenharia de tráfego rodoviário simulam um conjunto de parâmetros da infraestrutura e do ambiente em que está inserido, tecnologias de congestionamento, condições físicas de mobilidade, bem como o comportamento do sistema permitindo assim estimar o seu funcionamento como um todo, estimar tempos de viagens, prever atrasos possíveis no processo de deslocação, entre outros.

Martins (2021b) relata a existência de pesquisas, aplicados em modelos de estudo de tráfego, relacionados com **1º Princípio de Wardrop**. Este princípio se traduz numa busca constante pelo equilíbrio de tráfego através do espalhamento dos utilizadores por toda a rede viária. Quando é obtido esse estado de equilíbrio no tráfego rodoviário denomina-se como **Equilíbrio do Utilizador (EU)**.

O **2º Princípio de Wardrop** visa o alcance do **Ótimo Social ou Ótimo do Sistema (OS)** que os modelos tentam atingir através de “regras” que buscam a otimização das redes viárias. Essa otimização se traduz na minimização dos custos e pode ser aplicado ao sistema de transportes em função de fatores como as portagens, o comprimento do percurso, o fluxo, as condições estruturais das vias, entre outros (Martins, 2021b).

Em síntese, podemos concretizar a ideia de que, em geral, os modelos desenvolvidos no âmbito da engenharia de tráfego são bastante viáveis para o estudo e o desenvolvimento de melhores condições para os sistemas que estes representam, independente de serem sistemas existentes ou de ainda se encontrarem em fase de projeto.

3.6.3 MODELO DE QUATRO PASSOS

Um modelo que apresenta grande destaque nas análises globais de planeamento do tráfego rodoviário é o “Modelo de Quatro Passos”. Esse modelo clássico apresenta grande empregabilidade, sendo aplicado em várias tipologias de análises, como o funcionamento de redes de transportes, impactos causados por empreendimentos, caracterização do funcionamento de malhas urbanas, consequências de alterações num sistema, entre outros. Em resumo, a sua finalidade é prever a utilização futura do sistema de transportes através de recursos matemáticos, computacionais e comportamentais.

De acordo com Viegas (2000) a finalidade desses modelos é explicar um conjunto das viagens de passageiros realizadas em aglomerações urbanas, com base em variáveis facilmente quantificáveis para cada uma das zonas em que essas áreas são subdivididas. Neste modelo, os dados do ano-base, inclusive variáveis socioeconômicas da população, são utilizados para estimar o número total de produção e atração de viagens em cada zona da área em estudo (Cardoso, 2010).

Martins (2021b) relata que a nomenclatura “Modelo de Quatro Passos” tem embasamento no facto dos procedimentos tradicionais deste modelo serem estruturados, precisamente, em quatro passos: Geração, Distribuição, Repartição Modal e Afetação. Cada um desses passos é apresentado na figura 3.3:

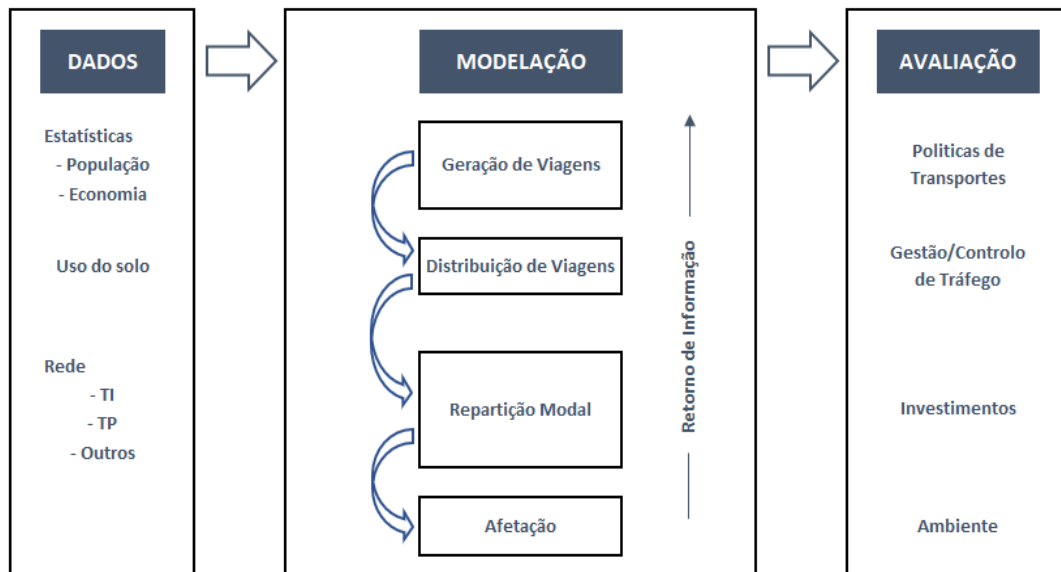


Figura 3.3 - Estrutura do Modelo dos Quatro Passos (adaptado de Tavares, 2003).

A seguir é apresentado cada um dos quatro passos da modelação de forma sucinta.

3.6.3.1 Geração

O primeiro passo do modelo é a “Geração”. É nessa etapa que se estima quantas viagens são iniciadas e/ou concluídas em cada zona, em função dos usos de solos (tipicamente 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) (Vigas, 2000).

A modelação para a previsão de geração de viagens depende essencialmente da quantidade e da qualidade dos dados e da forma estrutural dos modelos. Estes dados são obtidos através das relações observadas entre as características das viagens e informações sobre a situação socioeconômica da população (Cardoso, 2010).

De acordo com Ortúzar e Willumsen (1990) são os seguintes fatores que influenciam na produção de viagens: rendimento das famílias, propriedade de automóvel, estrutura do agregado familiar, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, acessibilidade, entre outros. Como fatores que influenciam na atração de viagens numa dada zona pode-se citar: o número de empregos ofertados, o nível de atividade comercial e o número de matrículas escolares.

3.6.3.2 Distribuição

Segundo Tavares (2003), após a conclusão do passo de “Geração” é necessário proceder a ligação entre as origens e os destinos, formando assim os pares de viagens Origem-Destino. Por esse motivo a necessidade de aplicar o passo de distribuição das viagens que consistem na caracterização do processo de escolha de Destino para cada Origem.

Consoante na fase de geração se tenha conseguido estimar os totais de viagens só num dos seus extremos ou em ambos, assim se utilizam neste segundo passo formulações ligeiramente diferentes do modelo (Vigas, 2000).

Retornando a Tavares (2003), este autor descreve que nesta etapa as viagens produzidas numa zona são distribuídas para outras zonas proporcionalmente às respectivas “atratividades” ou importância e de forma inversamente proporcional ao “custo” da deslocação entre as zonas. Essas Zonas são denominadas Zonas de Análise de Tráfego (ZAT) (Martins, 2021b). Ainda segundo este autor, o fator “custo” pode sofrer alterações consoante as variáveis que engloba, como: tempo de viagem entre as ZAT, combustíveis, portagens, entre outros.

3.6.3.3 Repartição Modal

Viegas (2000) relata que a Repartição Modal é responsável pela estimativa sobre a forma de repartição das viagens dos utilizadores pelos diferentes modos disponíveis para essa ligação. Esse passo consiste em repartir as viagens pelos diferentes modos de transportes (Transportes Individuais (TI), Transportes Públicos (TP), modo pedonal, etc.), através da comparação da atratividade das viagens pelos diferentes modos, para determinar o seu uso (Tavares, 2003).

De acordo com Cardoso (2010), a Repartição Modal é feita com base nas variáveis que representam as escolhas do utilizador. Os fatores que influenciam a escolha modal incluem usualmente características socioeconômicas e características dos serviços dos modos de transporte. O autor segue a sua ideia mencionando que de forma geral são considerados os seguintes parâmetros:

- Atributos da viagem (motivo, período de realização e destino, etc.);
- Atributos do utilizador (propriedade de veículos, rendimento e estrutura do agregado familiar, nível cultural, etc);
- Atributos do modo de transporte (custo e tempo de viagem, tempo de espera, de transbordo ou andando, frequência, conforto e acessibilidade, etc.).

3.6.3.4 Afetação de Tráfego

No passo de afetação de tráfego às redes de transportes são identificados os caminhos ou percursos usados nas viagens realizadas entre um dado par de zonas e num dado modo de transporte, tendo em atenção as redes disponíveis para cada um desses modos e, eventualmente, os seus níveis de congestionamento, decorrentes das escolhas dos outros viajantes (Viegas, 2000).

Segundo Cardoso (2010), nesse último passo procede-se à afetação às redes correspondentes das matrizes de viagens obtidas para os diversos modos. Nesta forma tradicional de análise, os modelos de afetação são utilizados para fornecer estimativas dos fluxos de tráfego nas vias estratégicas, com o principal objetivo de disponibilizar uma base de comparação de sistemas de transportes a médio e longo prazo.

Tavares (2003) chama a atenção para a importância da estruturação desta etapa, sendo a mesma de grande importância, principalmente em pontos como: nível de detalhe da modelação, tamanho das ZAT, densidade das redes e definição dos conectores aos centroides, que influenciam diretamente na fiabilidade do modelo e os recursos necessários para o seu desenvolvimento.

3.6.4 ESCALA DE APLICAÇÃO DOS MODELOS

Conforme já foi mencionado na perspetiva histórica apresentada neste capítulo, a modelação das redes utilizadas na engenharia de tráfego compreende três famílias de submodelos distintas: os modelos de arcos, os modelos de nós e os modelos de afetação do tráfego às redes. A seguir poderemos averiguar o que Martins (2018) relata sobre esses modelos. Sendo cada uma dessas tipologias apresentadas de forma sucinta a seguir.

3.6.4.1 Modelos estáticos de fluxos nos Arcos

A modelação tradicional em interação com os estudos desenvolvidos no âmbito da análise de tráfego e também do planeamento de transportes faz grande uso dos modelos estáticos de redes assentes na análise de fluxo nos arcos, sendo que estes por sua vez, se apresentam como elementos básicos que constituem a rede.

Todos os comportamentos presentes numa simulação desenvolvida à escala macroscópica tomam por base inicial as características de degradação de velocidades nos arcos, em relação a saturação do tráfego. Dessa forma é possível concluir que os modelos de arco são capazes de descrever as alterações dos tempos de viagem possíveis, tomando como fator decisivo os custos de viagens consequentes da utilização da via. A figura 3.4 apresenta um esquema de modelo em arco.

Modelos de Arco



Figura 3.4 - Representação de um modelo de arco (Martins, 2021).

3.6.4.2 Modelos dinâmicos de Nós

Esse tipo de modelo apresenta grandes vantagens quando comparados com os modelos estáticos, pelo facto de terem como variável intrínseca o tempo e assim tornar possível incluir nas análises estimativas de uma hora de partida e/ou chegada.

A função dos nós perante a modelação aplicada nos estudos de tráfego, é garantir que se concretize a ligação entre os arcos existentes. A modelação dos nós é desenvolvida, de forma corrente, na escala macroscópica, com grande nível de simplicidade exigindo apenas a estipulação concreta das regras de viragem. Já na escala microscópica o estudo dos nós deve ser mais aprofundado, tendo em conta a ocorrência de estrangulamento do tráfego e filas de espera, sendo neste caso aplicados modelos dinâmicos que permitem estudar a evolução dessas filas ao longo do tempo. Na figura 3.5 é possível observar um esquema de modelo em nó.

Modelos de Nós ...



Figura 3.5 - Representação de um modelo de Nó (Martins, 2021).

3.6.4.3 Modelos de Redes

Os modelos de rede possibilitam a junção dos modelos de arco e de nós, sendo possível incorporar também as características variáveis dos modelos de estrangulamento de tráfego nos modelos mais detalhados, como os modelos de Microsimulação. Se não forem incorporadas características dinâmicas (variáveis com o tempo), então os modelos apresentam um comportamento estático baseado nas características dos modelos de arco, o que é adequado para o planejamento de tráfego.

Entendendo como funcionam os modelos de rede, podemos concluir que estes são responsáveis pela representação das malhas urbanas e finalização das escolhas possíveis de afetação de tráfego perante as opções de caminhos que ligam as origens e os destinos. A representação de um modelo em rede é apresentada a seguir, na figura 3.6:

Modelos de Rede

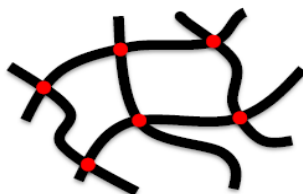


Figura 3.6 - Representação de um modelo de rede (Martins, 2021).

3.6.5 NÍVEIS DE ESCALA DE APLICAÇÃO

De acordo com FHWA (2004), de forma generalizada, os modelos de análise demonstram eficiência no estudo da evolução dinâmica das redes de tráfego rodoviário. As simulações permitem dividir o período em fatias de tempo para assim ser possível realizar uma avaliação da construção, da duração e da dissipação do congestionamento. Esses modelos permitem fazer a diversificação de cenários para que sejam modeladas da forma o mais fiel possível as características dos veículos, dos condutores e da localização.

A construção dos modelos que simulam análise de tráfego são realizadas em três níveis de escalas diferentes: microscópica, mesoscópica e macroscópica. O nível da escala é definido face aos objetivos pretendidos para cada estudo, perante os tipos de variáveis consideradas.

Convém destacar a existem de alguns autores que também classificam os modelos de tráfego com mais três níveis de escalas distintas: sub-microscópicos, híbridos ou até nanoscópicos.

A figura 3.7 apresenta uma comparação dos níveis de escala de aplicação que serão analisados:

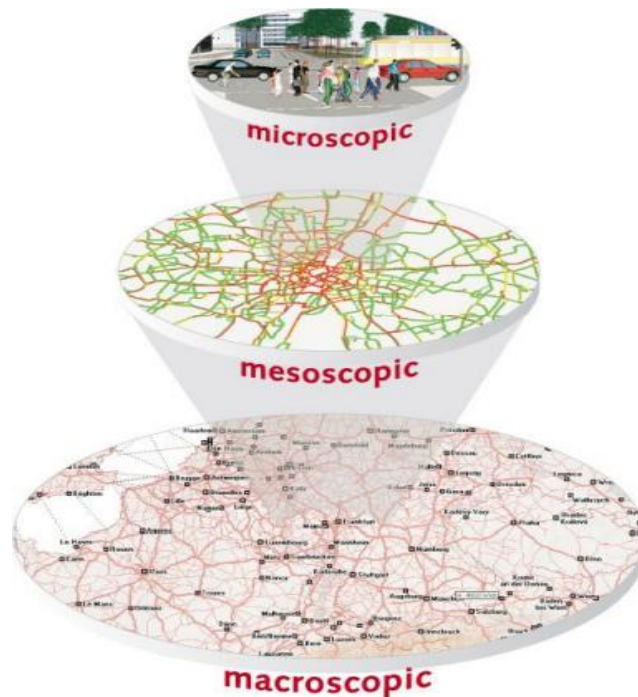


Figura 3.7 - Comparação dos níveis de escalas dos modelos (GROUP, 2017).

3.6.5.1 Microscópica

Os modelos construídos com escala a nível microscópico são aplicados em estudos com características em níveis altos de detalhe de todos os integrantes que os constituem. Como consequência, os resultados obtidos também são detalhados e transparentes, mas isso implica ser quase inviável atualmente, porém não impossível, modelar, por exemplo, uma área metropolitana.

A FHWA (2004) afirma que os modelos microscópicos simulam movimentos individuais dos veículos com base em teorias de seguimento do veículo da frente (car-following) e na mudança de via. Em geral, esses veículos entram na rede de transporte utilizando uma distribuição estatística de chegadas e são “rastreados” na rede em intervalos de tempo curtos. O tempo de processamento no computador e os requisitos de armazenamento para modelos microscópicos são significativos, geralmente limitando o tamanho da rede e o período de execução da simulação.

Podemos concluir então que os modelos de análises de tráfego construídos ao níveis da escala microscópicas são bastante apropriados para áreas de estudos com um espaço geográfico mais limitado, como um cruzamento, por exemplo. A figura 3.8 apresenta um modelo de análise de tráfego construído no nível de escala de aplicação microscópica.



Figura 3.8 - Modelo de análise de tráfego construído no nível de escala de aplicação microscópica (Almeida & Lessa, 2021).

3.6.5.2 Mesoscópica

De acordo com FHWA (2004), os modelos de análise de tráfego construídos a um nível de escala mesoscópica podem ser definidos como a combinação das propriedades dos modelos de microsimulação com os modelos de macrossimulação. Nesse tipo de modelo as unidades de tráfego representam os “pelotões” de veículos e os movimentos seguem a mesma abordagem dos modelos de macrossimulação, sendo governado pela velocidade média do pelotão.

Os modelos mesoscópicos simulam como os veículos individuais se movem de acordo com a média da densidade do fluxo presente na via ou em modelos de filas. Este tipo de modelo “intermédio” simula cada arco presente na rede como uma fila com determinada capacidade para os veículos em espera, em fluxo e um comprimento específico. A ideia base desse nível de escala é que o tempo de viagem em determinado trecho é a soma do tempo necessário para realizar a deslocação com o tempo gasto esperando em fila (Eissfeldt 2004).

3.6.5.3 Macroscópica

Segundo FHWA (2004), a simulação macroscópica tem como base uma relação fundamental entre o volume, a velocidade e a densidade do fluxo de tráfego. Ela é concretizada através de relações matemáticas entre os fluxos nos arcos e a velocidade de circulação nos arcos da rede e não por modelação individual de veículos.

A menção realizada por Hensher (2004) deixa extremamente claro que um modelo desenvolvido em um nível de escala macroscópica possui uma unidade de análise maior que permite agregar valores de zonas geográficas. Tal nível de modelação é muito utilizado devido ao fato de necessitar um desempenho relativamente baixo por parte o computador. Isso acontece devido ao fato do modelo necessitar de uma quantidade de dados inferior quando comparado aos outros níveis de escala de modelação.

Uma característica particular que geralmente está relacionada com as modelações desenvolvidas a nível de escala macroscópica é o fato da variável tempo não se fazer presente, pois, como já foi mencionado, o objetivo passa por realizar uma elaboração da evolução no espaço das variáveis que caracterizam o fluxo, nomeadamente o volume, a velocidade e a densidade. A figura 3.9 apresenta um modelo construído no nível de escala de aplicação macroscópica.



Figura 3.9 - Modelo de análise de tráfego construído em nível de escala macroscópica (Almeida & Lessa, 2021).

3.7 Vissim

Conforme já foi mencionado, no decorrer desse estágio foi desenvolvida uma atividade de pendor mais investigativo. Essa atividade foi dividida em duas etapas, sendo que a primeira aborda o processo de recolha de dados com drone e a segunda trata da construção de um modelo, com escala de aplicação microscópica, recorrendo ao software Vissim.

O acrónimo “VISSIM” vem de Verkehr In Städten SIMulation que em português significa: Simulação de Tráfego em Cidades. Este software é um dos principais programas de simulação microscópica, ou microssimulação, apresentando um modelo realista e preciso em todos os seus detalhes e disponibilizando condições ideais para o desenvolvimento de estudos de tráfego. A figura 3.10 apresenta o logotipo do software Vissim, como é possível observar:



Figura 3.10 - Logotipo do software Vissim (myptv, 2022).

O Vissim pertence ao grupo PTV (PTV GROUP) - *Planung Transport Verkehr AG* (Planejamento de Tráfego de Transporte) – que é uma empresa de origem alemã, especializada em software e serviços de consultoria para tráfego e transporte, mobilidade e logística, permitindo o planeamento de redes de transportes rodoviários, sendo estes transportes privados ou transportes públicos. A figura 3.11 apresenta o logotipo da PTV GROUP.



Figura 3.11 - Logotipo da PTV GROUP (myptv, 2022).

O simulador Vissim faz uso do modelo comportamental do motorista psicofísico, que foi elaborado por Wiedemann, em 1974, que é próximo do comportamento real em campo. A base desse modelo é o conceito de

que o veículo conduzido por um motorista entra em processo de desaceleração ao ter em sua frente um veículo com menor velocidade, de forma a evitar colisão. Uma vez que a velocidade do veículo da frente não é conhecida, o motorista se mantém em um processo de aceleração e desaceleração em função da distância e da velocidade do veículo a sua frente. Esse processo, conhecido por *car-following*, é apresentado na figura 3.12:

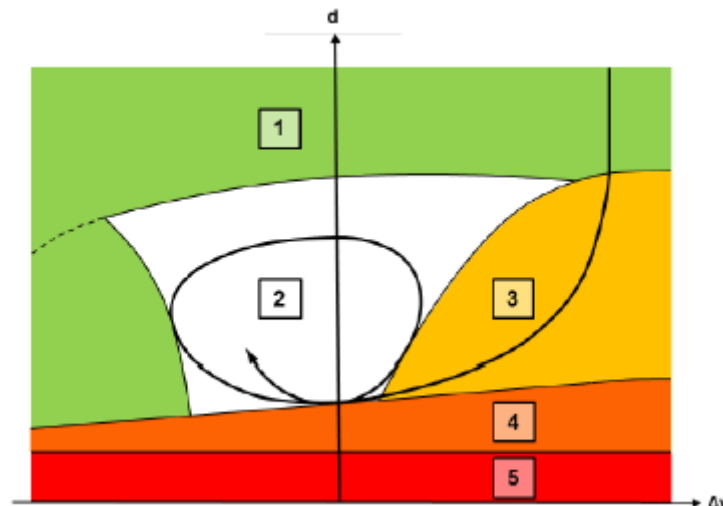


Figura 3.12 - Modelo de car-following segundo Wiedemann, 1974. (Pinheiro, 2018).

No modelo explicitado pela figura 3.13 o eixo das abcissas representa a variação da velocidade do veículo e o eixo das ordenadas representa a distância entre ele o veículo a sua frente. A seta transmite o modo de circulação do veículo, começando em um estado livre, passando para a percepção do veículo a sua frente e por fim entra no estado de seguimento. Por último temos os números, que se encontram presentes em cada uma das cores espalhadas no modelo, eles representam as diferentes situações possíveis para o veículo durante o processo e as mesmas são apresentadas a seguir:

1. Situação de circulação livre;
2. Situação de seguimento;
3. Situação de aproximação;
4. Situação de frenagem;
5. Situação de colisão.

Os modelos elaborados com recurso ao Vissim permitem representar graficamente as operações presentes na rede viária, podendo ser obtidas medições dos resultados em escala real, tamanhos de filas, atrasos consequentes de fluxos conflitantes, entre outros. Outra característica desses modelos é a capacidade elevar o nível de detalhamento, inclusive na unidade motorizada, representando os veículos por modelos diferentes de carros reias e a variação das cores de cada modelo. Como é possível observar na figura 3.13.



Figura 3.13 - Detalhes dos modelos de viaturas no Vissim (Almeida & Lessa, 2021).

A fase inicial desses modelos é a construção da rede, ou uma parte dela, representada pelas ligações entre os arcos, que dão origem aos nós (interseções). É possível estruturar os arcos com uma ou mais vias por sentido e a ligação entre arcos diferentes é constituída por conectores. Quanto maior for a dimensão da rede a ser representada, maior será o número de arcos e conectores empregues na sua construção.

A quantidade de veículos a ser introduzida no modelo é determinada com base no volume de tráfego obtido para os 15 minutos mais carregados da hora de ponta (V_{p15}), obtido na fase inicial de tratamento dos dados da contagem. Uma vez que os valores solicitados no modelo são para o período de uma hora, o V_{p15} é multiplicado por 4, obtendo-se assim o débito de projeto, que vai ser utilizado nos processos de análise (Martins, 2021a).

Os arcos e os conectores exercem também a função de delimitadores das velocidades e dos parâmetros geométricos da faixa de rodagem, como é o caso por exemplo do número de vias, das inclinações de cada uma delas, das suas larguras e as suas zonas de conflito. Para finalizar o modelo fica em falta apenas decidir o nível de rigor da modelação perante o sistema real que esse modelo vai representar, tendo em conta os prédios em volta da via, os estacionamento, paragens de autocarros, entre outros pontos.

As análises desenvolvidas pelo Vissim englobam as realidades dos transportes público, dos transportes particulares e inclusive do tráfego pedonal. Em resumo, o seu emprego principal está voltado para a avaliação das problemáticas e das soluções possíveis na área da engenharia de tráfego, por exemplo:

- Estudos de transportes;
- Geração e atração;
- Planeamento urbano;
- Avaliação de rede de semáforos;
- Estudo das influências da integração de novas paragens nos transportes públicos ou novas estações do metropolitano.

Outro ponto em destaque desse simulador é a sua aplicação nas análises direccionadas ao tráfego pedonal e à mobilidade ativa, sendo que, na atualidade, ambas as direções têm apresentando grande evolução e sendo alvo de vários estudos no planeamento urbano. Alguns exemplos de aplicação do Vissim dentro dessas áreas são: simulações de fluxos de peões em espaços abertos ou em edifícios, planeamento e implementação de ciclovias e estudos de capacidade e mobilidade dentro das estações do metropolitano.

Outra aplicação frequente do Vissim é nos estudos sobre a interação da mobilidade ativa e do tráfego pedonal com o tráfego rodoviário. A figura 3.14, apresentada a seguir, demonstra a ocorrência dessas duas aplicações, inclusive uma delas da origem a uma fila de espera, como é possível observar:

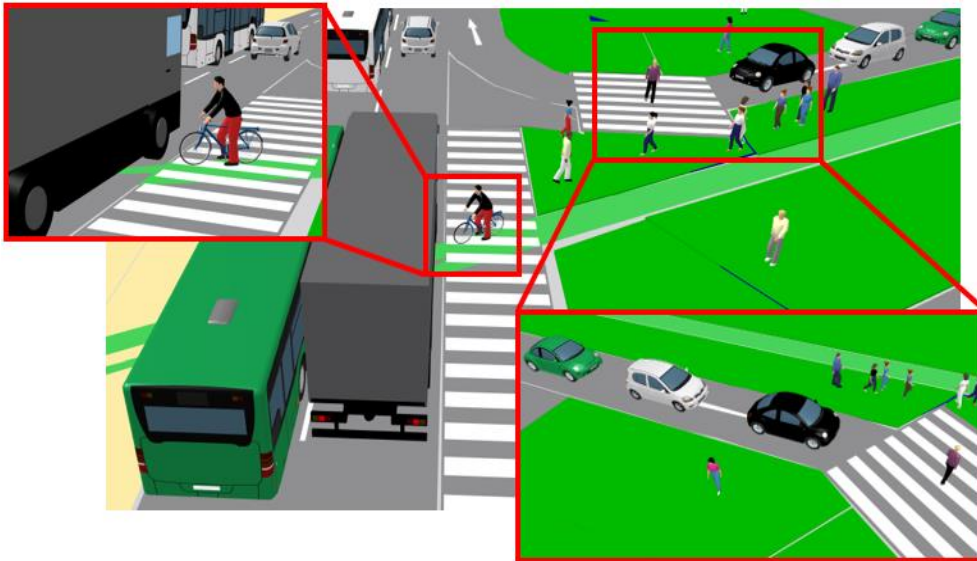


Figura 3.14 - Interação do tráfego rodoviário com a mobilidade ativa e com o tráfego pedonal (Almeida & Lessa, 2021).

3.8 Aplicação de Modelos no Estudo de Tráfego Pedonal

Caminhar é o meio de deslocamento mais convencional que existe e um modo fundamental de transporte para todos, sendo indispensável como forma de integração social e de vivência com o espaço urbano. Quando comparado com outros meios de transporte, este apresenta necessidades mais simples, básicas e económicas em questão de infraestruturas. Na figura 3.15 é possível observar o trânsito de peões na Alameda Dom Afonso Henriques.

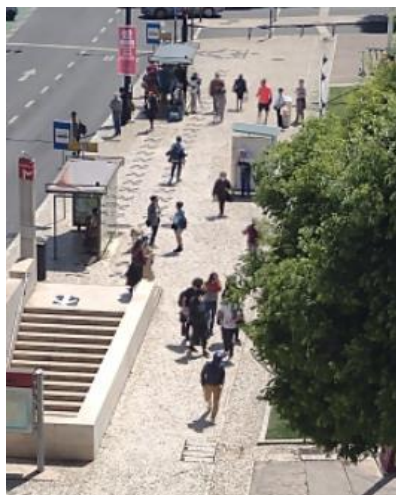


Figura 3.15 - Tráfego pedonal na Alameda Dom Afonso Henriques.

A acessibilidade pedonal vem sendo mencionada correntemente e impulsionada por diversos pontos positivos, tanto para o peão como para a sociedade, como: contribui para saúde mental e física, promove a

interação social, é um modo de transporte económico, reforça a segurança urbana, é um meio de deslocação amiga do meio ambiente, auxilia na redução dos congestionamentos urbanos, ajuda na economia local, entre outras vantagens.

Na área de transportes, a acessibilidade pedonal, designa a facilidade com que o peão consegue alcançar diferentes partes do território, em particular nas zonas urbanas (Lopes et al., 2013). O facto de se tratar de espaços abertos talvez ajude a disfarçar o grande desafio que é a execução de um bom planeamento do território que garanta um nível satisfatório para as condições de mobilidade urbana.

Tratando-se de ambientes fechados, como: estações de transportes, aeroportos, imóveis comerciais, complexos desportivos, prédios habitacionais, entre outros espaços com limitações físicas para o fluxo dos peões, a complexibilidade de executar um bom planeamento é mais perceptível, uma vez que é necessário garantir os principais desafios presentes nesses ambientes, como: fluidez no tráfego pedonal, formação de filas de espera, evacuação em casos de emergências, gerenciamento de grandes multidões, entre outras. A figura 3.16 ajuda a perceber o quão desafiante é garantir a afluência nesses ambientes.



Figura 3.16 – Embarque e desembarques de utentes em uma estação metropolitana de Lisboa (cmjornal, 2018).

Assim como no tráfego rodoviário o tráfego pedonal também possui vários tipos de softwares que permitem estudar essas adversidades apresentadas anteriormente através de modelos que realizam simulações. A seguir será apresentado alguns softwares que são empregues nos estudos de tráfego pedonal.

3.8.1 SOFTWARES PARA ESTUDO DE TRÁFEGO PEDONAL

Conforme mencionado, o tráfego pedonal possui vários tipos de softwares que permitem estudar o comportamento e um determinado sistema através de modelos que realizam simulações, podendo essas ser ou não desenvolvidas em escala micro. A seguir será apresentado alguns dos softwares designados para essa área de estudo:

- **SimWalk** – SimWalk se trata de um software que realiza simulações para estudar a logística e a interação entre peões em diversos cenários, como: funcionalidade dos horário dentro de grandes indústrias, análise abrangente de estações, aeroportos e imóveis comerciais que vão

desde a largura e o tempo de abertura das portas até o gerenciamento dos horários, passando por estudo de ameaças e evacuação, formação de filas de espera, entre outras funções disponíveis (SimWalk, 2022);

- **Legion** – O Legion foi fundado em 1997 e se trata de software designado para simulações de pedestres. Essa ferramenta de análise simula o passo a passo das pessoas, tendo em conta a localização de cada uma delas e interação entre elas e a infraestrutura, assim como a afluência e o gerenciamento de uma multidão, sempre com conforto e segurança. O software disponibiliza diversos tipos de ambientes, como: estações ferroviárias, aeroportos, centros comerciais, estádios desportivos, complexos habitacionais, entre outros (businesswire, 2022);
- **Paramics Quadstone** – A dedicação do Paramics Quadstone está volta para a simulação de travessias de peões em estradas, dando destaque a representações realistas dos atrasos que são gerados no fluxo de tráfego devida a presença dos peões. A paramics oferece ainda uma série de recursos para integração de tecnologias de ITS emergentes da realidade dos modelos atuais (Paramics-online, 2022);
- **Cast Terminal** – O CAST Terminal é um software voltado exclusivamente para os aeroportos, visando otimização da infraestrutura e alocação de recursos para o tráfego de passageiros, visitantes e os demais processos operacionais logístico. Se trata de uma ferramenta que disponibiliza um ambiente virtual em 3D para simulação integrada dos diversos processos possíveis dentro de um aeroporto, como: identificação de possíveis pontos de estrangulamento, análise da qualidade dos serviços disponibilizada para os passageiros, identificação dos conceitos operacionais mais eficazes, estudo de decisões táticas e estratégicas nas operações e gestões aeroportuárias (aeroexpo 2022);
- **PTV Viswalk** – As principais funções do PTV Viswalk estão voltadas para simulação de pedestres em cidades, simulações de fluxo de pedestres estações ferroviárias, estádios e aeroportos, simulação do fluxo de pedestres durante evacuações, simulação de multidões em eventos, entre outras aplicações que estejam ligadas a garantia de um bom fluxo pedonal (myptv, 2022).

4 APRESENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DO ESTÁGIO

4.1 Política de Privacidade dos Dados

Ao solicitar um dos serviços disponibilizados por uma empresa de consultoria, o cliente passa a ser dono de todas as informações que estejam ligadas ao serviço prestado pela empresa, como é o caso das contagens de tráfego, por exemplo. Essa informação fica sobre o abrigo da empresa como se fosse um “empréstimo” para ser utilizado, de forma exclusiva, para o serviço solicitado pelo cliente. No âmbito da política de privacidade dos serviços prestados aos seus clientes, o estatuto da FJ. Consultores engloba salvaguardar e proteger todos os dados, que, apesar de estarem ao abrigo da empresa, são de propriedade exclusiva dos seus clientes.

De forma a respeitar a política de privacidade da FJ. Consultores, os trabalhos que foram desenvolvidos no período de estágio com a utilização de dados de clientes da empresa serão identificados neste relatório como **trabalho 1** (ou primeiro trabalho) e **trabalho 2** (ou segundo trabalho). Na continuidade dessa política de proteção, os dados que serão apresentados em cada um dos trabalhos são valores aleatórios, ou seja, provavelmente não são os dados reais pertencentes ao estudo realizado, assim como as imagens que apresentem em seu conteúdo uma determinada localidade não terão a serventia de indicar a zona real onde o estudo foi desenvolvido.

Por fim, mas não com menor importância, chama-se a atenção para o facto dessa privacidade dos dados não vir a ter nenhuma influência nos resultados e conclusões apresentados neste relatório, pois todas as abordagens e metodologias que foram empregues, no desenvolvimento de cada trabalho serão apresentadas com objetividade, transparência e clareza nesses pontos primordiais.

4.2 Atividade 1 – Modelo em Excel

O primeiro trabalho desenvolvido no período de estágio foi a formulação de um modelo em Excel, com capacidade de tratamento dos dados de tráfego obtidos com as contagens. Essa fase de transformação dos dados das contagens, conforme já foi mencionado anteriormente, apresenta extrema importância pois é nesse momento que se obtém as primeiras informações de projeto sobre o sistema em estudo, como o total das tipologias de cada

veículo, a totalidade dos veículos durante o período de observação, homogeneização do tráfego e a hora de ponta, por exemplo.

A ferramenta empregue na execução do **Trabalho 1** é o Excel. Esse programa possui grande popularidade, dispensando apresentações, e disponibiliza um domínio relativamente fácil, sendo empregue em diversas áreas, como: gestão, vendas, planeamentos, contabilidade, entre outras. Os modelos matemáticos desenvolvidos em Excel permitem criar e partilhar facilmente uma análise desenvolvida e a sua organização, oferecendo formas avançadas para estudar sistemas e apresentar os seus dados.

Para o caso em questão, o modelo desenvolvido em Excel foi batizado com o nome de “Base_Tratamento_Dados_Contagens”, e além das análises de dados, ele apresenta todas as informações da etapa de recolha: tipo de contagem, nomenclatura dos postos e a localização geográfica de cada um deles, o número de movimentos possíveis em cada posto, a data e o dia da semana que foi realizada a contagem e por fim o período de realização das contagens.

O modelo desenvolvido no primeiro trabalho, além de possuir uma estrutura suficiente para o estudo em que questão, está apto para tratamento dos dados de tráfego de estudos de porte pequeno, normal e, relativamente grandes, que contenham um máximo de 16 postos de recolha de dados, com o máximo de 21 movimentos possíveis em cada um deles. Para uma rápida comparação, os estudos mais correntes de tráfego possuem entre 4 e 10 postos de contagem e cada posto costuma ter de 9 a 12 movimentos, mais ou menos. A figura 4.1, a seguir, demonstra como é feita a apresentação dos postos responsáveis pelas contagens:



Figura 4.1 - Exemplo de apresentação dos posto de contagem de uma zona em estudo.

A figura 4.2 é permite observar como é feita a apresentação de cada um dos movimentos possíveis na estrutura de uma interseção.

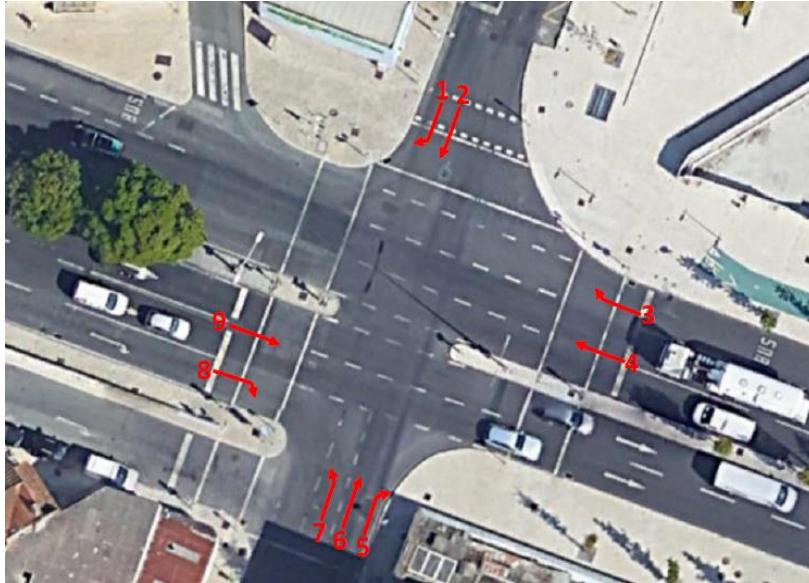


Figura 4.2 - Exemplo de apresentação dos movimentos possíveis de uma interseção.

4.2.1 OBJETIVOS E DESAFIO

O objetivo inicial do **Trabalho 1** era realizar uma análise das contagens que foram fornecidas e apresentar os resultados da mesma. Para tal, foi cedida uma “Folha_Base” que exemplificava os resultados a serem apresentados de forma numérica, e alguns através de gráficos, entre eles estavam:

- A totalidade dos veículos ligeiros e pesados de cada movimento para cada período;
- Totalidade dos veículos ligeiros e dos veículos pesados de cada posto para cada período;
- Percentagem de veículos pesados;
- Homogeneização do tráfego de cada posto para cada período;
- Hora de ponta de cada posto para cada período;
- Volumes de 15 minutos dentro da hora de ponta para cada período;
- Hora de ponta do sistema em estudo para cada período;
- Valores em UVLE dentro da hora de ponta para cada período;
- Posto com maior movimento para cada período.

Além dos objetivos propostos para o **Trabalho 1**, ou seja, apresentar os mesmos resultados fornecidos pela “Folha_Base”, foi proposto também o alcance desses resultados fazendo com que o documento em Excel forneça todos eles de forma mais automatizada possível, recorrendo a códigos e fórmulas, transformando um corrente documento de Excel em um modelo capaz de fornecer dados de extrema importância para a fase inicial de qualquer estudo de tráfego de forma automática, necessitando apenas dos dados das contagens.

Próximo da fase final desse primeiro trabalho houve a necessidade de fornecer novas capacidades ao modelo “Base_Tratamento_Dados_Contgens”. Após ter contato com o relatório onde resultados desse modelo seriam apresentados foi possível perceber a existência de duas tipologias de tabelas: a primeira apresentando os fluxos contabilizados em UVLE na hora de ponta da manhã (HPM-DU) e da tarde (HPT-DU) de dia útil, sendo os dois turnos apresentados juntos; a segunda tabela apresentava os fluxos contabilizados por tipo de veículo na

hora de ponta, estando o turno da manhã em uma tabela e o turno da tarde em outra tabela, ou seja, deixar o modelo em Excel completamente automatizado englobaria o fornecimento dessas duas tipologias de tabelas, além outros resultados que foram mencionados.

4.2.2 ESTRUTURA DO MODELO EM EXCEL

O modelo formulado com recurso ao Excel, desenvolvido nesse primeiro trabalho, está preparado para fornecer todos os resultados necessários em uma primeira fase de uma análise de tráfego, pertencente a uma determinada zona. A estrutura do mesmo é formada por quatro tipologias de folhas diferentes: a folha “Postos de Contagem”, a folha “Posto n°”, a folha “Total” e a folha “Tabelas”.

Cada uma dessas folhas que se fazem presentes na constituição do modelo em Excel, “Base_Tratamento_Dados_Contgens”, assim como os resultados que são fornecidos em cada uma dessas folhas, tendo como ponto de partida os dados das contagens, serão apresentados e desenvolvidos de forma clara e objetiva, com o intuito de disponibilizar uma melhor compreensão desse modelo e do seu potencial.

4.2.2.1 Folha Postos de Contagem

A folha “Postos de Contagem” é responsável por fazer a apresentação de todos os postos de contagem que foram necessários para realizar a recolha das contagens que foram feitas no estudos de tráfego, incluindo a tipologia das contagens de cada posto (em harmonia com o quadro 2.2), a localização geográfica de cada um dos postos, a quantidade de movimentos possíveis em cada um deles e também a data com as horas de realização das contagens.

Esta primeira tipologia de folha é fundamental para realizar uma contextualização com a zona em estudo e com as dimensões da análise a ser efetuada. No quadro 4.1, apresentado a seguir, é ilustrado um exemplo da apresentação dessas informações presentes na folha Postos de Contagem.

Tabela 4.1 – Apresentação das informações presentes na folha Postos de Contagem.

Tipo	N.º Posto	Localização	Mov.s	Data	Período Horário
Contagem classificada em interseção	P1	Campo Grande / Av. Brasil / Alameda Dom Afonso Henriques	5 mov.s	22/03/2029 (3ª feira)	07h30-10h30 e 16h30-19h30
Contagem classificada em seção	P2	Av. Brasil / Campo Grande / Alameda Dom Afonso Henriques	3 mov.s	22/03/2029 (3ª feira)	07h30-10h30 e 16h30-19h30
Contagem classificada em interseção	P3	Av. Brasil / Rua Cipriano Dourado / Av. Almirante Reis	3 mov.s	22/03/2029 (3ª feira)	07h30-10h30 e 16h30-19h30
Contagem classificada em seção	P4	Rua Cipriano Dourado / Av. Brasil / Av. Almirante Reis	4 mov.s	22/03/2029 (3ª feira)	07h30-10h30 e 16h30-19h30

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2.2 Folha Posto N°

Conforme já foi mencionado anteriormente, os postos de contagem são representados por números. Seguindo esse hábito, todas as folhas presentes no modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens, que contenham as informações relativas a cada posto de recolha, é apresentada aqui nesse relatório como folha “Posto N°”, sendo uma totalidade de 16 folhas com estrutura e características rigorosamente idênticas.

Essa tipologia de folha apresenta os dados particulares de cada posto e realiza o tratamento dos mesmos, gerando informações importantes para a análise, como a HP, por exemplo. Cada passo dessa folha será apresentado aqui, começando por pontos mais simples. A figura 4.3, apresentada a seguir, demonstra os movimentos existentes em cada um dos postos (ponto 1), as recolhidas das contagens no período de 15 minutos para os veículos ligeiros e os veículos pesados (ponto 2 e 3) e a somatória da totalidade de cada tipologia de veículo (ponto 4), conforme é possível observar no quadro 4.2:

Tabela 4.2 - Apresentação dos dados iniciais das contagens de tráfego presentes no modelo.

1		Mov. 1			Mov. 2			Mov. 3		
Período		De: R. Fernando Palha (N Para: Av. Inf. D. Henrique			De: R. Fernando Palha (N Para: R. Fernando Palha			De: Av. Inf. D. Henrique Para: R. Fernando Palha		
Início	Fim	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total
07:30	07:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
07:45	08:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
08:00	08:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
08:15	08:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
08:30	08:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
08:45	09:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
09:00	09:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
09:15	09:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
09:30	09:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
09:45	10:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
10:00	10:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
10:15	10:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
07:30	10:30	6	6	12	12	12	24	6	12	18
		4								
Período		Mov. 1			Mov. 2			Mov. 3		
		De: R. Fernando Palha (N Para: Av. Inf. D. Henrique			De: R. Fernando Palha (N Para: R. Fernando Palha			De: Av. Inf. D. Henrique Para: R. Fernando Palha		
Início	Fim	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total
16:30	16:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
16:45	17:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
17:00	17:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
17:15	17:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
17:30	17:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
17:45	18:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
18:00	18:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
18:15	18:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
18:30	18:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
18:45	19:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
19:00	19:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
19:15	19:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
16:30	19:30	6	6	12	12	12	24	6	12	18

Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo, exemplificado na figura 4.3, demonstra a somatória de cada tipologia de veículo durante os dois turnos para cada movimento, como é possível observar em destaque no ponto 1, fornecendo assim a totalidade de veículos observados por movimento.

10:15	10:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
07:30	10:30	6	6	12	12	12	24	6	12	18
Período		Mov. 1			Mov. 2			Mov. 3		
		De: R. Fernando Palha (Nº) Para: Av. Inf. D. Henrique			De: R. Fernando Palha (Nº) Para: R. Fernando Palha (S)			De: Av. Inf. D. Henrique (Nº) Para: R. Fernando Palha (Nº)		
Início	Fim	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total	Ligeiros	Pesados	Total
16:30	16:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
16:45	17:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
17:00	17:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
17:15	17:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
17:30	17:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
17:45	18:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
18:00	18:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
18:15	18:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
18:30	18:45	0	1	1	0	2	2	1	2	3
18:45	19:00	1	0	1	2	0	2	0	0	0
19:00	19:15	0	1	1	0	2	2	1	2	3
19:15	19:30	1	0	1	2	0	2	0	0	0
16:30	19:30	6	6	12	12	12	24	6	12	18

Mov. 1		Mov. 2		Mov. 3	
Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados
6	6	12	12	12	24

Figura 4.3 - Somatória de cada tipologia de veículo para cada movimento presentes no modelo.

Após evidenciar a totalidade de cada tipologia de veículo, a folha Posto Nº, apresenta a totalidade dos veículos ligeiros, a totalidade dos veículos pesados e a percentagem de veículos. Em questões de fórmulas, entra em pauta uma formulação diferente das somas utilizadas até então, que fornece o percentual de veículos pesados e está adaptada para manter o valor “0” quando o modelo estiver vazio. Os valores referentes ao período inteiro de recolha para o posto em questão e a fórmula que fornece o percentual de veículos pesados são exemplificados na figura 4.4.

Total - Lig.	Total - Pes.	%Pes.
7952	1255	13.63%

1 =SEERRO(K47/(J47+K47);0)

Figura 4.4 - Totalidade dos veículos ligeiros e dos veículos pesados de todo o posto e a percentagem de veículos pesados.

Na sequência dos cálculos desenvolvidas pela folha *Posto Nº*, o próximo passo é a homogeneização do tráfego. Conforme já mencionado anteriormente, a fase de homogeneização é de extrema importância, simplificando de forma incalculável os estudos ligados a área da engenharia de tráfego, dando origem as “UVLE”, que a unidade utilizada nas fases seguintes do estudo.

De acordo com que já foi mencionado, também existem algumas formas de realizar a homogeneização do tráfego, porém a mais simples e frequentemente utilizada é a de atribuir o peso de 2 veículos ligeiros a cada veículo pesado. Esse procedimento é uma simplificação da atribuição dos valores ET apresentados no Quadro 2.4, adaptado (TRB, 2016).

A relação 1 pesado = 2 ligeiros fica evidenciada na folha *Posto Nº* e é através dessa evidência que são feitos os cálculos de homogeneização. Os valores do veículos pesados, presentes em um determinado volume de 15 minutos, é multiplicado pelo “2” da relação e posteriormente somado ao número de veículos ligeiros presentes naquele mesmo débito de 15 min, como é possível observar na figura 4.5.

Tabela 4.3 Estrutura do quadro 3 com os débitos de 15 minutos de forma decrescente para os dois turnos.

		Intervalo	UVLE	UVLE Repetidas
V15	Manhã	07:30 - 07:45	33	1
		08:00 - 08:15	33	2
		08:30 - 08:45	33	3
		09:00 - 09:15	33	4
		09:30 - 09:45	33	5
		10:00 - 10:15	33	6
		07:45 - 08:00	9	1
		08:15 - 08:30	9	2
		08:45 - 09:00	9	3
		09:15 - 09:30	9	4
		09:45 - 10:00	9	5
		10:15 - 10:30	9	6
		07:15 - 07:30	0	1
		10:30 - 10:30	0	2
	Tarde	16:30 - 16:45	33	1
		17:00 - 17:15	33	2
		17:30 - 17:45	33	3
		18:00 - 18:15	33	4
		18:30 - 18:45	33	5
		19:00 - 19:15	33	6
		16:45 - 17:00	9	1
		17:15 - 17:30	9	2
		17:45 - 18:00	9	3
		18:15 - 18:30	9	4
18:45 - 19:00		9	5	
19:15 - 19:30		9	6	
16:15 - 16:30		0	1	
19:30 - 19:30		0	2	

Fonte: Elaboração própria.

A formulação que foi aplicada para ordenar os valores das Σ UVLE, presentes no quadro 1, e apresentá-las na coluna UVLE do quadro 3 é designada por “MAIOR”. Essa fórmula solicita, na sua primeira parte, ou seja, antes do caractere “;”, a apresentação do domínio que ela deve organizar, e na sua segunda parte, depois do “;”, o posicionamento que é para ser explicitado daquele domínio apresentado. O objetivo é destacar os valores de V15 do maior para o menor. No exemplo presente da figura 4.10 é possível observar essa fórmula, o domínio dela (da célula “X51” até a célula “X63”) e posicionamento que ela deve explicitar desse domínio (5°).

		Intervalo	UVLE	UVLE Repetidas
V15	Manhã	07:30 - 07:45	33	1
		08:00 - 08:15	33	2
		08:30 - 08:45	33	3
		09:00 - 09:15	33	4
		=MAIOR(\$X\$51:\$X\$63;5)		
		10:00 - 10:15	33	6
		07:45 - 08:00	9	1
		08:15 - 08:30	9	2
		08:45 - 09:00	9	3
		09:15 - 09:30	9	4
		09:45 - 10:00	9	5
		10:15 - 10:30	9	6
		07:15 - 07:30	0	1
		10:30 - 10:30	0	2
	Tarde	16:30 - 16:45	33	1
		17:00 - 17:15	33	2
		17:30 - 17:45	33	3
		18:00 - 18:15	33	4
		18:30 - 18:45	33	5
		19:00 - 19:15	33	6
		16:45 - 17:00	9	1
		17:15 - 17:30	9	2
		17:45 - 18:00	9	3
		18:15 - 18:30	9	4
18:45 - 19:00		9	5	
19:15 - 19:30		9	6	
16:15 - 16:30		0	1	
19:30 - 19:30		0	2	

Figura 4.10 - Fórmula utilizada no quadro 3, na coluna UVLE, para organizar de forma decrescente os valores da coluna Σ UVLE, do quadro 1.

crescente, as UVLE e os seus respetivos horários de ocorrência. Na tabela 4.4 é apresentado em destaque o **quadro 4** em sua íntegra.

Tabela 4.4 – Estrutura do quadro 4 com os débitos de 60 minutos posicionados de forma decrescente nos dois turnos.

		Horário	UVLE	UVLE Repetidas
HP	Manhã	07:30 - 08:30	84	1
		07:45 - 08:45	84	2
		08:00 - 09:00	84	3
		08:15 - 09:15	84	4
		08:30 - 09:30	84	5
		08:45 - 09:45	84	6
		09:00 - 10:00	84	7
		09:15 - 10:15	84	8
		09:30 - 10:30	84	9
		07:15 - 08:15	75	1
		09:45 - 10:30	51	1
		10:00 - 10:30	42	1
		10:15 - 10:30	9	1
		10:30 - 10:30	0	1
		Tarde	16:30 - 17:30	84
	16:45 - 17:45		84	2
	17:00 - 18:00		84	3
	17:15 - 18:15		84	4
	17:30 - 18:30		84	5
	17:45 - 18:45		84	6
	18:00 - 19:00		84	7
	18:15 - 19:15		84	8
	18:30 - 19:30		84	9
	16:15 - 17:15		75	1
	18:45 - 19:30		51	1
	19:00 - 19:30		42	1
	19:15 - 19:30	9	1	
19:30 - 19:30	0	1		

Fonte: Elaboração própria.

Dessa etapa em diante o modelo “Base_Tratamento_Dados_Contgens” começa a divergir da “Folha_Base”, utilizada como referência. Além das reorganizações a nível estrutural, que facilitam o processo de automatização do tratamento das contagens, o modelo “Base_Tratamento_Dados_Contgens” destaca a HP e o seu débito, da mesma forma que a “Folha_Base”, aponta também os demais débitos de 60 minutos em ordem crescente. Esse mesmo potencial é repetido para os V_{15} , o que não acontece na “Folha_Base”.

O próximo e último passo encontrado no modelo é apresentado aqui como **quadro 5** e **quadro 5 auxiliar**. Essa dupla de quadros trabalha em harmonia para fornecer as características principais do modelo “Base_Tratamento_Dados_Contgens”: além de apresentar a HP, coloca em destaque os intervalos de 15 minutos que estão contidos nela e seus respetivos volumes. Cada um desses quadros serão apresentados e discriminados a seguir, começando pelo **quadro 5 auxiliar**.

A elaboração do **quadro 5 auxiliar** é necessário por conter todos os dados necessários ao **quadro 5** para apresentar a HP e os débitos correspondentes. A sua estrutura é formada por todos os períodos de hora possíveis, dentro do tempo em que as contagens foram realizadas, os intervalos de 15 minutos dentro de cada um desses períodos de hora e o turno em que foram feitas as contagens. A tabela 4.5 apresenta o **quadro 5 auxiliar**.

Tabela 4.5 - Estrutura do quadro 5 auxiliar encontrado no modelo.

Manhã	
Períodos de hora	Intervalos de 15min.
07:30 - 08:30	07:30 - 07:45
07:30 - 08:30	07:45 - 08:00
07:30 - 08:30	08:00 - 08:15
07:30 - 08:30	08:15 - 08:30
07:45 - 08:45	07:45 - 08:00
07:45 - 08:45	08:00 - 08:15
07:45 - 08:45	08:15 - 08:30
07:45 - 08:45	08:30 - 08:45
08:00 - 09:00	08:00 - 08:15
08:00 - 09:00	08:15 - 08:30
08:00 - 09:00	08:30 - 08:45
08:00 - 09:00	08:45 - 09:00
08:15 - 09:15	08:15 - 08:30
08:15 - 09:15	08:30 - 08:45
08:15 - 09:15	08:45 - 09:00
08:15 - 09:15	09:00 - 09:15
08:30 - 09:30	08:30 - 08:45
08:30 - 09:30	08:45 - 09:00
08:30 - 09:30	09:00 - 09:15
08:30 - 09:30	09:15 - 09:30
08:45 - 09:45	08:45 - 09:00
08:45 - 09:45	09:00 - 09:15
08:45 - 09:45	09:15 - 09:30
08:45 - 09:45	09:30 - 09:45
09:00 - 10:00	09:00 - 09:15
09:00 - 10:00	09:15 - 09:30
09:00 - 10:00	09:30 - 09:45
09:00 - 10:00	09:45 - 10:00
09:15 - 10:15	09:15 - 09:30
09:15 - 10:15	09:30 - 09:45
09:15 - 10:15	09:45 - 10:00
09:15 - 10:15	10:00 - 10:15
09:30 - 10:30	09:30 - 09:45
09:30 - 10:30	09:45 - 10:00
09:30 - 10:30	10:00 - 10:15
09:30 - 10:30	10:15 - 10:30
09:45 - 10:30	09:45 - 10:30
09:45 - 10:30	10:00 - 10:30
09:45 - 10:30	10:15 - 10:30
09:45 - 10:30	10:30 - 10:30
10:00 - 10:30	10:00 - 10:30
10:00 - 10:30	10:15 - 10:30
10:00 - 10:30	10:30 - 10:30
10:15 - 10:30	10:15 - 10:30
10:15 - 10:30	10:30 - 10:30
10:30 - 10:30	10:30 - 10:30

Fonte: Elaboração própria.

Em contraste com o **quadro 5 auxiliar**, o **quadro 5** solicita alguma ciência em sua composição. Na sua estrutura engloba a HP, os intervalos de 15 minutos contidos dentro da HP, as respectivas UVLE de cada V_{15} e o turno em questão. Vale apenas destacar que, de forma intencional, o quadro 5 começa sempre com o valor de UVLE igual a zero e a apresentação desse horário, em que não houve recolha. Isso se sucede para que os gráficos construídos com essa informação partam sempre do valor de UVLE igual 0, o que enriquece a estética do gráfico. O **quadro 5** é apresentado a seguir na tabela 4.6:

Tabela 4.6 - Estrutura do quadro 5.

Manhã	V ₁₅	Horário	UVLE
		07:15 - 07:30	0
		08:15 - 08:30	2784
		08:30 - 08:45	2930
		08:45 - 09:00	2900
		09:00 - 09:15	2676
	HP	08:15 - 09:15	11290

Fonte: Elaboração própria.

O principal desafio na construção do **quadro 5** foi apresentar os intervalos contidos dentro da HP. Como já se sabe, o **quadro 4** apresenta de forma decrescente as UVLE dos débitos e os seus respectivos horários de ocorrência, dessa forma apresentar a HP e o seu de débito é simplesmente igualar a última linha da coluna *Horário* e da coluna *UVLE*, presentes no **quadro 5**, com a primeira linha das mesmas colunas, contidas no **quadro 4**,

Com os V_{15} destacados torna-se simples apresentar as UVLE recolhidas em cada um deles, basta retorna ao **quadro 4** aplicar novamente o comando “PROCV”, procurando o intervalo de 15 minutos, para apresentar o seu valor de UVLE correspondente. Dessa forma, é apresentada em destaque a HP e os V_{15} que estão englobados nela e suas respectivas UVLE. Tendo todas essas informações em destaque, mais as informações do **quadro 1**, é possível apresentar em cada uma das folhas “Posto N°” gráficos com a HP e os V_{15} , apresentados em valores de UVLE cumulativo e os valores de UVLE por movimento, nos períodos de 15 minutos. O gráfico 4.1 demonstra como são estruturadas essas informações:

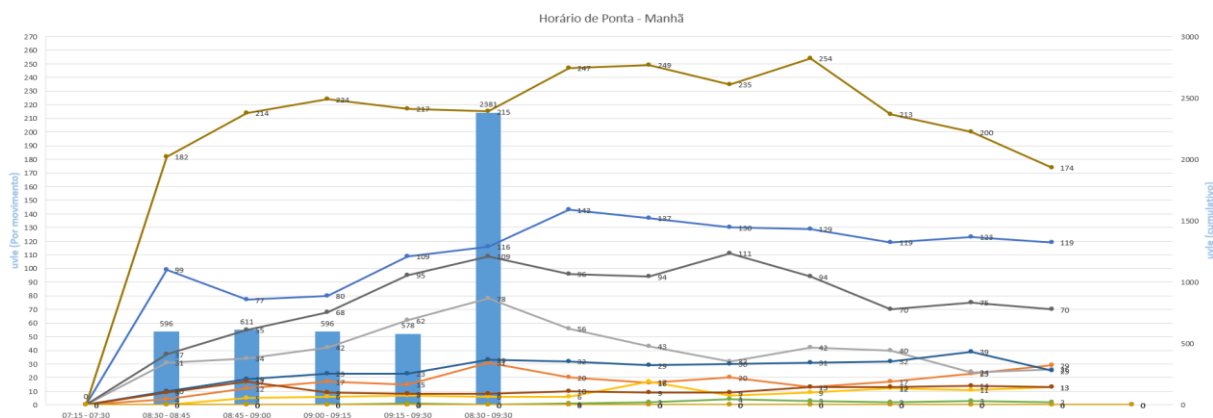


Gráfico 4.1 - UVLE cumulativa dos V_{15} , com o débito total da HP (ordenadas a direita) e as UVLE por movimento (ordenadas a esquerda).

Como é possível prever, o **quadro 6** e o **quadro 6 auxiliar** desenvolvem todas os mesmos procedimentos apresentados para o **quadro 5** e o **quadro 5 auxiliar**, porém diversificando apenas o período em estudo.

Finalizando a apresentação da tipologia de folha “Posto N°”, vale apenas mencionar que a “Folha_Base” desenvolve a apresentação da HP, porém não destaca os V_{15} contidos nela. Da mesma forma funciona com os gráficos, pois são apresentados, porém a construção dos mesmos é manual.

4.2.2.3 Folha Total

A folha nomeada como “Total” é a terceira tipologia de folha apresentada na estrutura do modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens. De acordo com o que é sugerido pelo seu próprio nome, ela apresenta a reunião da totalidade dos postos junto com as principais informações contidas em cada um deles e dessa forma reflete as características do tráfego existente naquela zona em estudo: a HP da zona, a somatória das UVLE da HP, o posto com maior q, o comportamento dos q nos períodos de hora de cada posto e por fim todas essas informações juntas, apresentadas de forma gráfica.

A estrutura da folha “Total” possui algumas semelhanças com a tipologia de folha “Posto N°”, em questões de funcionalidades, e por esse motivo serão descritas novamente, porém de uma forma mais sucinta do que anteriormente. Já os passos e a estrutura da folha “Total” serão apresentados aqui. De forma a facilitar a percepção, serão também utilizadas as mesmas nomenclaturas para os quadros. Dessa forma é apresentado de seguida, na figura 4.14, o **quadro 7**, que se trata do primeiro passo da folha em estudo.

P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5	P. 6	P. 7	P. 8	P. 9	P. 10	P. 11	P. 12	P. 13	P. 14	P. 15	P. 16	ΣUVLE/HP	ΣUVLE Repetidas	Período
2300	1449	1978	754	2376	1274	246	61	6874	279	3386	170	502	746	0	0	22395	22395 - 1	07:15 - 08:15
3198	2097	3018	1101	3488	1811	378	79	9658	432	4611	254	797	1087	0	0	32009	32009 - 1	07:30 - 08:30
3574	2382	3480	1251	3872	2035	482	85	10672	517	4895	280	979	1226	0	0	35730	35730 - 1	07:45 - 08:45
3644	2461	3678	1336	4202	2213	508	95	11202	552	4919	292	1013	1306	0	0	37421	37421 - 1	08:00 - 09:00
3553	2393	3574	1388	4482	2340	534	109	11290	544	4935	328	989	1357	0	0	37816	37816 - 1	08:15 - 09:15
3489	2308	3364	1387	4522	2381	518	119	11160	473	4870	301	863	1362	0	0	37117	37117 - 1	08:30 - 09:30
3356	2270	3206	1390	4556	2373	475	125	10764	387	4627	283	744	1387	0	0	35943	35943 - 1	08:45 - 09:45
3226	2205	3156	1380	4406	2280	462	129	10202	321	4405	259	693	1388	0	0	34512	34512 - 1	09:00 - 10:00
3146	2181	3138	1393	4162	2196	454	120	9668	241	4148	192	606	1406	0	0	33051	33051 - 1	09:15 - 10:15
3023	2138	2966	1387	3838	2089	446	114	8948	209	3849	170	584	1403	0	0	31164	31164 - 1	09:30 - 10:30
2218	1566	2194	1030	2736	1501	332	82	6414	156	2769	119	421	1039	0	0	22577	22577 - 1	09:45 - 10:30
1467	1046	1408	700	1782	983	218	48	4076	95	1803	69	276	703	0	0	14674	14674 - 1	10:00 - 10:30
711	520	658	340	828	471	108	22	1934	50	861	35	147	343	0	0	7028	7028 - 1	10:15 - 10:30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 - 1	10:30 - 10:30
36905	25016	35818	14837	45250	23947	5161	1188	112862	4256	50078	2752	8614	14753	0	0			
2712	1723	2526	928	3062	1398	283	58	7248	286	3419	174	683	954	0	0	25454	25454 - 1	16:15 - 17:15
3650	2307	3282	1227	4142	1877	386	82	9795	385	4673	233	923	1237	0	0	34199	34199 - 1	16:30 - 17:30
3675	2359	3266	1296	4080	1920	403	91	9836	409	4669	237	940	1301	0	0	34482	34482 - 1	16:45 - 17:45
3718	2369	3168	1314	4134	1908	425	103	9865	413	4741	239	942	1309	0	0	34648	34648 - 1	17:00 - 18:00
3694	2341	3112	1345	4194	1941	454	113	9947	434	4717	263	945	1316	0	0	34816	34816 - 1	17:15 - 18:15
3635	2304	3188	1404	4124	1892	468	107	9995	448	4667	270	917	1378	0	0	34797	34797 - 1	17:30 - 18:30
3585	2262	3178	1392	4168	1906	486	106	10017	429	4591	296	894	1376	0	0	34686	34686 - 1	17:45 - 18:45
3529	2246	3246	1395	4110	1879	472	100	9958	420	4487	289	893	1419	0	0	34443	34443 - 1	18:00 - 19:00
3475	2221	3288	1356	3940	1790	447	89	9875	365	4453	253	820	1420	0	0	33792	33792 - 1	18:15 - 19:15
3386	2173	3198	1294	3730	1728	415	90	9337	313	4266	233	774	1396	0	0	32333	32333 - 1	18:30 - 19:30
2527	1614	2380	948	2670	1204	291	64	6841	223	3195	151	554	1034	0	0	23696	23696 - 1	18:45 - 19:30
1661	1061	1568	615	1690	773	190	39	4409	131	2077	103	349	676	0	0	15342	15342 - 1	19:00 - 19:30
790	499	742	296	800	368	85	19	2057	61	1017	46	166	321	0	0	7267	7267 - 1	19:15 - 19:30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 - 1	19:30 - 19:30
40037	25479	36142	14810	44844	20584	4805	1061	109180	4317	50972	2787	9800	15137	0	0			

Figura 4.14 - Estrutura do quadro 7 encontrado na folha "Total" do modelo.

Os dados, inicialmente apresentados no **quadro 7**, são os somatórios das UVLE/H, que aparecem no **quadro 2**, de cada um dos postos que foram estudados e, na última linha do **quadro 7**, é feito o somatório total dos valores específicos das exatas três horas do período das contagens, como é possível observar na figura 4.15 a seguir:

P. 13	P. 14	P. 15	P. 16	ΣUVLE/HP	ΣUVLE Repetidas	Período
502	746	0	0	22395	22395 - 1	07:15 - 08:15
797	1087	0	0	32009	32009 - 1	07:30 - 08:30
979	1226	0	0	35730	35730 - 1	07:45 - 08:45
1013	1306	0	0	37421	37421 - 1	08:00 - 09:00
989	1357	0	0	37816	37816 - 1	08:15 - 09:15
863	1362	0	0	37117	37117 - 1	08:30 - 09:30
744	1387	0	0	35943	35943 - 1	08:45 - 09:45
693	1388	0	0	34512	34512 - 1	09:00 - 10:00
606	1406	0	0	33051	33051 - 1	09:15 - 10:15
584	1403	0	0	31164	31164 - 1	09:30 - 10:30
421	1039	0	0	22577	22577 - 1	09:45 - 10:30
276	703	0	0	14674	14674 - 1	10:00 - 10:30
147	343	0	0	7028	7028 - 1	10:15 - 10:30
0	0	0	0	0	0 - 1	10:30 - 10:30
=SOMA(P13+...+P15)	0					

Figura 4.15 - Somatória total dos valores específicos das exatas três horas do período das contagens.

Conforme já foi mencionado anteriormente, e fica perceptível na figura 4.14, o modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens, atualmente, se encontra limitado para estudos de tráfego que englobem o máximo de 16 postos de contagem.

A seguir é apresentada a coluna com a somatória das UVLE/H/P, nela é possível verificar os q da zona em estudo e descobrir a HP da zona. A coluna seguinte, $\Sigma UVLE$ Repetidas, possui a mesma função que foi apresentada para o **quadro 1** e o **quadro 2**: fornecer uma identidade própria para os valores da coluna anterior e por fim está a coluna *Período*, que apresenta o intervalo horário que foi recolhido cada um dos valores, junto com as células com o turno de recolha.

O passo seguinte da folha "Total" é o **quadro 8** e assim como o **quadro 7** foram desenvolvidos de forma semelhante ao que já foi apresentado. O **quadro 8** tem uma função semelhante apresentada para o **quadro 3** e o **quadro 4**: organizar os valores das UVLE em ordem crescente e seus respetivos horários, destacando assim a

A seguir podemos observar o gráfico 4.2, construído a partir das informações presentes no **quadro 7**, **quadro 9**, **coluna 9a** e **linha 9b**:

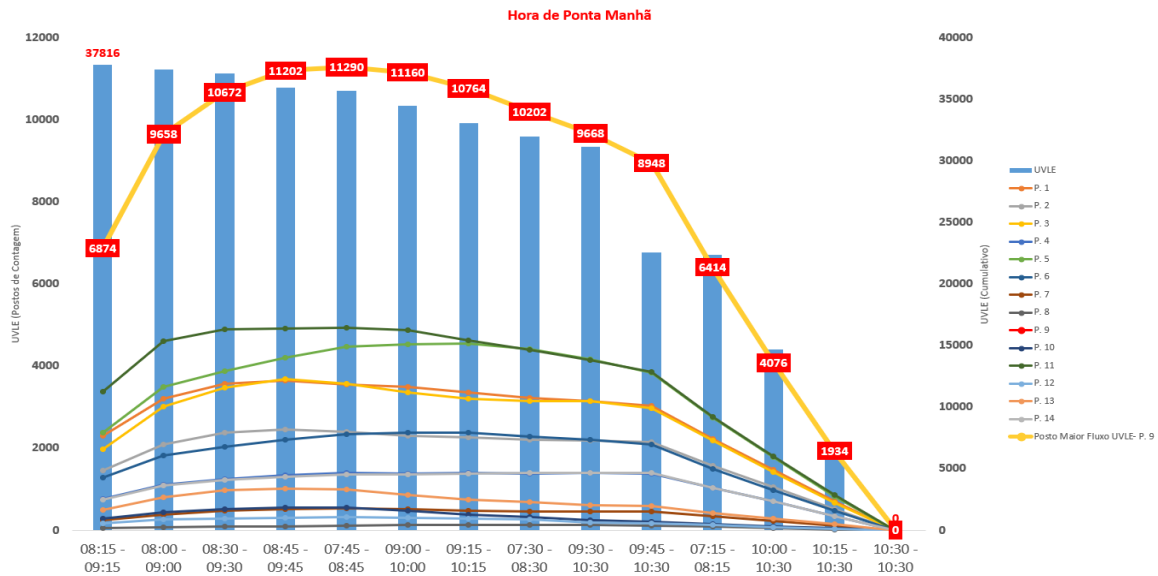


Gráfico 4.2 - UVLE cumulativa, com os débitos totais da zona em estudo (ordenadas a direita) e as UVLE de cada posto por movimento (ordenadas a esquerda).

Todo processo apresentado para o **quadro 9** se repete para o **quadro 10**, mudando apenas o período em estudo.

4.2.2.4 Folha Tabelas

A próxima e última folha presente na estrutura do modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens é a folha nomeada como “*Tabelas*”. Esse nome faz menção a duas tipologias de tabelas que são solicitadas em relatórios sobre estudos de impacto de tráfegos e transportes, e com a finalidade de automatizar a apresentação dessas tabelas no modelo foi criada, em um segundo estágio desse primeiro trabalho, a folha “*Tabelas*”.

A primeira tabela, **tabela 1a**, solicitada no relatório, apresenta os débitos contabilizados (em UVLE) na hora de ponta da manhã de dia útil (HPM-DU) e da tarde de dia útil (HPT-DU) de todos os postos de contagem e com todos os movimentos possíveis em cada um deles. Para tal o primeiro dado a ser apresentado, para que a tabela possa tornar explícita as demais informações, é a HP do posto, e por isso o **quadro 8** é reconstruído nessa folha. Porém falta ainda uma base onde a tabela possa encontrar a HP apresentada e externar os débitos de cada um dos movimentos de todos os postos, por esse motivo foi criado a **base 1**. Na **base 1** estão todos os “**quadro 2**” de cada um dos postos e nela que base 1 encontra a HP e externa os seus respetivos débitos de cada movimento por cada posto. A seguir, a figura 4.17 apresenta a estrutura total da **base 1**.

Figura 4.17- Estrutura base 1 encontrada na folha “Tabelas” presente no modelo.

A fórmula empregue para fazer essa busca é o “*PROCV*”, que já foi apresentada anteriormente, porém nesse caso ela sofre uma pequena alteração na apresentação da coluna que a busca será realizada, ao invés de apresentar a posição da coluna é feito uso da fórmula “*LINS*”, que reproduz uma contagem consoante a cada intervalo das células, nas linhas, necessárias para cada posto, ou seja, para cada movimento. A tabela 4.8 apresenta a estrutura nova da fórmula “*PROCV*” e a primeira linha da **tabela 1a**, com os débitos contabilizados (em UVLE) na HPM-DU e da tarde HPT-DU dos postos 1, 5, 9 e 13.

Tabela 4.8 - Fórmula para apresentação dos débitos contabilizados na HPM-DU e HPT-DU dos postos de contagem e a primeira linha da tabela 1.

Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU
P1	Mov. 1	436	375	P5	Mov. 1	932	574	P9	Mov. 1	2519	2034	P13	Mov. 1	7	9
	Mov. 2	52	109		Mov. 2	541	806		Mov. 2	2209	2510		Mov. 2	426	565
	Mov. 3	373	148		Mov. 3	474	354		Mov. 3A	204	171		Mov. 3	45	24
	Mov. 4	335	612		Mov. 4	301	428		Mov. 3B	198	141		Mov. 4	16	7
	Mov. 5	453	649		Mov. 5	190	255		Mov. 4	368	310		Mov. 5	3	3
	Mov. 6	182	220		Mov. 6	204	140		Mov. 5	570	787		Mov. 6	40	38
	Mov. 7	237	216		Mov. 7	583	865		Mov. 6	1416	805		Mov. 7	73	25
	Mov. 8	55	96		Mov. 8	1178	694		Mov. 7	2182	1911		Mov. 8	138	75
	Mov. 9	167	180		Mov. 9	17	29		Mov. 8	1624	1278		Mov. 9	19	19
	Mov. 10	189	214		Mov. 10	62	49		Mov. 9	0	0		Mov. 10	90	132
	Mov. 11	567	377		Mov. 11	0	0		Mov. 10	0	0		Mov. 11	115	39
	Mov. 12	454	426		Mov. 12	0	0		Mov. 11	0	0		Mov. 12	17	9
=PROCV(\$AL\$4;\$AR\$3:\$BM\$17;LINS(\$AS\$4:AS17)+1;0)				Mov. 13	0	0	Mov. 12	0	0	Mov. 13	0	0	Mov. 13	0	0
	Mov. 15	16	32	Mov. 14	0	0	Mov. 13	0	0	Mov. 14	0	0	Mov. 14	0	0
	Mov. 16	0	0	Mov. 15	0	0	Mov. 14	0	0	Mov. 15	0	0	Mov. 15	0	0
	Mov. 17	0	0	Mov. 16	0	0	Mov. 15	0	0	Mov. 16	0	0	Mov. 16	0	0
	Mov. 18	0	0	Mov. 17	0	0	Mov. 16	0	0	Mov. 17	0	0	Mov. 17	0	0
	Mov. 19	0	0	Mov. 18	0	0	Mov. 17	0	0	Mov. 18	0	0	Mov. 18	0	0
	Mov. 20	0	0	Mov. 19	0	0	Mov. 18	0	0	Mov. 19	0	0	Mov. 19	0	0
	Mov. 21	0	0	Mov. 20	0	0	Mov. 19	0	0	Mov. 20	0	0	Mov. 20	0	0
				Mov. 21	0	0	Mov. 20	0	0	Mov. 21	0	0	Mov. 21	0	0

Fonte: Elaboração própria.

Como é possível perceber na figura todas células de valor igual a zero possuem a mesma cor, essa configuração permite ter uma noção de quantos movimentos há em cada posto e assim configurar a estrutura da **tabela 1b**, com a aparência final a ser apresentada nos relatórios em que sua presença for necessário. Essa estrutura final é apresentada a seguir, na tabela 4.9:

Tabela 4.9 – Tabela 1b com os débitos contabilizados em UVLE na HPM-DU e da HPT-DU de todos os postos.

Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU	Posto	Movimento	HPM-DU	HPT-DU			
P1	Mov. 1	436	375	P4	Mov. 1	3	1	P7	Mov. 1	65	54	P11	Mov. 1	207	173			
	Mov. 2	52	109		Mov. 2	4	5		Mov. 2	288	168		Mov. 2	2358	1825			
	Mov. 3	373	148		Mov. 3	9	6		Mov. 3	8	1		Mov. 3	2111	2426			
	Mov. 4	335	612		Mov. 4	34	6		Mov. 4	4	2		Mov. 4	98	84			
	Mov. 5	453	649		Mov. 5	427	217		Mov. 5	133	172		Mov. 5	161	209			
	Mov. 6	182	220		Mov. 6	465	330		Mov. 6	20	22		Mov. 6	0	0			
	Mov. 7	237	216		Mov. 7	278	486		Mov. 7	10	26	P12	Mov. 1	26	9			
	Mov. 8	55	96		Mov. 8	6	1		Mov. 8	0	0		Mov. 2	155	105			
	Mov. 9	167	180		Mov. 9	31	22		Mov. 9	6	9		Mov. 3	20	17			
	Mov. 10	189	214		Mov. 10	0	12		P8	Mov. 1	25		31	Mov. 4	9	14		
	Mov. 11	567	377		Mov. 11	131	259			Mov. 2	15		18	Mov. 5	67	75		
	Mov. 12	454	426		Mov. 12	0	0			Mov. 3	69		64	Mov. 6	51	43		
	Mov. 13	15	8		P5	Mov. 1	932			574	P9	Mov. 1	2519	2034	P13	Mov. 1	7	9
	Mov. 14	22	32			Mov. 2	541		806	Mov. 2		2209	2510	Mov. 2		426	565	
	Mov. 15	16	32			Mov. 3	474		354	Mov. 3A		204	171	Mov. 3		45	24	
P2	Mov. 1	556	735	Mov. 4		301	428	Mov. 3B	198	141		Mov. 4	16	7				
	Mov. 2	230	119	Mov. 5		190	255	Mov. 4	368	310		Mov. 5	3	3				
	Mov. 3	300	282	Mov. 6		204	140	Mov. 5	570	787		Mov. 6	40	38				
	Mov. 4	130	464	Mov. 7		583	865	Mov. 6	1416	805		Mov. 7	73	25				
	Mov. 5	433	136	Mov. 8		1178	694	Mov. 7	2182	1911		Mov. 8	138	75				
	Mov. 6	744	605	Mov. 9		17	29	P10	Mov. 1	59		69	Mov. 9	19		19		
P3	Mov. 1	744	605	Mov. 10		62	49		Mov. 2	5		2	Mov. 10	90		132		
	Mov. 2	530	401	P6		Mov. 1	82		78	Mov. 3		9	7	Mov. 11		115	39	
	Mov. 3	774	645			Mov. 2	239		110	Mov. 4		258	202	Mov. 12		17	9	
	Mov. 4	732	745			Mov. 3	36		41	Mov. 5		54	59	P14		Mov. 1	525	410
	Mov. 5	269	306			Mov. 4	505		765	Mov. 6		68	48			Mov. 2	433	136
	Mov. 6	525	410			Mov. 5	4	0	Mov. 7	91		44	Mov. 3			130	464	

Fonte: Elaboração própria.

A segunda tabela, **tabela 2a**, solicitada no relatório, apresenta os débitos contabilizados sem homogeneizar o tráfego, ou seja, os débitos por tipo de veículo, na HPM-DU de todos os postos de contagem e com todos os movimentos possíveis em cada um deles. Assim como na **tabela 1a** o primeiro dado a ser apresentado, para que a **tabela 2a** possa tornar explícita as demais informações, é a HP do posto, e por isso o **quadro 8** é reconstruído nessa folha novamente, dessa vez localizado próximo a segunda tabela. Porém falta ainda uma base onde a tabela possa encontrar a HP apresentada e externar os débitos contabilizados por tipo de veículo, na hora de ponta de todos os postos, por esse motivo foi criado a **base 2**. A **base 2** possui uma elaboração um pouco mais complexa, apresentando todos os débitos horários possíveis, com a distinção de cada tipologia de veículo, de todos os movimentos em todos os postos. A seguir, a figura 4.18 apresenta a estrutura total da **base 2**.

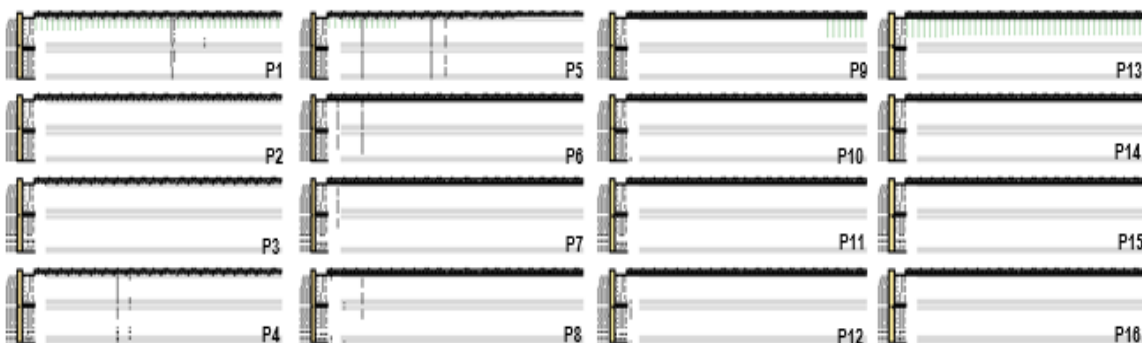


Figura 4.18 - Estrutura base 2 presente no modelo.

A fórmula empregue para fazer essa busca, assim como na **tabela 1a**, é o “PROCV”, porém nesse caso ela sofre uma pequena alteração na apresentação da coluna que a busca será realizada, sendo feito com recurso a fórmula “COLS”, que tem o mesmo funcionamento da fórmula “LINS”, porém nas colunas e não nas linhas. A

tabela 4.10 apresenta a estrutura nova da fórmula “PROCV” e a primeira linha da **tabela 2a**, com os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPM-DU dos postos 1, 5, 9 e 13.

Tabela 4.10 - Fórmula utilizada para apresentar os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPM-DU e a primeira linha da tabela 2a com os postos 1, 5, 9 e 13.

Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros
P1	Mov. 1	353	11	P5	Mov. 1	432	71	P9	Mov. 1	1868	83	P13	Mov. 1	9	0
	Mov. 2	91	9		Mov. 2	604	101		Mov. 2	2286	112		Mov. 2	559	3
	Mov. 3	140	4		Mov. 3	344	5		Mov. 3A	171	0		Mov. 3	24	0
	Mov. 4	604	4		Mov. 4	424	2		Mov. 3B	129	6		Mov. 4	7	0
	Mov. 5	631	9		Mov. 5	89	83		Mov. 4	302	4		Mov. 5	3	0
	Mov. 6	218	1		Mov. 6	24	58		Mov. 5	587	100		Mov. 6	38	0
	Mov. 7	212	2		Mov. 7	787	39		Mov. 6	657	74		Mov. 7	25	0
					Mov. 8	630	32		Mov. 7	1871	20		Mov. 8	75	0
					Mov. 9	17	6		Mov. 8	1252	13		Mov. 9	19	0
					Mov. 10	47	1		Mov. 9	0	0		Mov. 10	132	0
					Mov. 11	0	0		Mov. 10	0	0		Mov. 11	39	0
					Mov. 12	0	0		Mov. 11	0	0		Mov. 12	7	1
					Mov. 13	0	0		Mov. 12	0	0		Mov. 13	0	0
					Mov. 14	0	0		Mov. 13	0	0		Mov. 14	0	0
					Mov. 15	0	0		Mov. 14	0	0		Mov. 15	0	0
					Mov. 16	0	0		Mov. 15	0	0		Mov. 16	0	0
					Mov. 17	0	0		Mov. 16	0	0		Mov. 17	0	0
					Mov. 18	0	0		Mov. 17	0	0		Mov. 18	0	0
					Mov. 19	0	0		Mov. 18	0	0		Mov. 19	0	0
					Mov. 20	0	0		Mov. 19	0	0		Mov. 20	0	0
					Mov. 21	0	0		Mov. 20	0	0		Mov. 21	0	0

Fonte: Elaboração própria.

Novamente é possível perceber na figura todas células de valor igual a zero possuem a mesma cor, essa configuração permite ter uma noção de quantos movimentos há em cada posto e assim configurar a **tabela 2b**, com a aparência final a ser apresentada nos relatórios em que sua presença for necessário. Essa estrutura final é apresentada a seguir, na tabela 4.11:

Tabela 4.11 - Estrutura da tabela 2b com os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPM-DU.

Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros
P1	Mov. 1	353	11	P4	Mov. 1	1	0	P7	Mov. 1	52	1	P11	Mov. 1	353	11
	Mov. 2	91	9		Mov. 2	5	0		Mov. 2	142	13		Mov. 2	1699	63
	Mov. 3	140	4		Mov. 3	6	0		Mov. 3	1	0		Mov. 3	2220	103
	Mov. 4	604	4		Mov. 4	4	1		Mov. 4	2	0		Mov. 4	66	9
	Mov. 5	631	9		Mov. 5	195	11		Mov. 5	148	12		Mov. 5	169	20
	Mov. 6	218	1		Mov. 6	316	7		Mov. 6	22	0		Mov. 6	0	0
	Mov. 7	212	2		Mov. 7	474	6	Mov. 7	26	0	Mov. 1	9	0		
	Mov. 8	80	8		Mov. 8	1	0	Mov. 8	0	0	Mov. 2	105	0		
	Mov. 9	160	10		Mov. 9	16	3	Mov. 9	9	0	Mov. 3	17	0		
	Mov. 10	202	6		Mov. 10	10	1	Mov. 1	31	0	Mov. 4	14	0		
	Mov. 11	363	7		Mov. 11	235	12	Mov. 2	18	0	Mov. 5	73	1		
	Mov. 12	402	12		Mov. 12	0	0	Mov. 3	62	1	Mov. 6	43	0		
	Mov. 13	8	0	Mov. 1	432	71	Mov. 1	1868	83	Mov. 1	9	0			
	Mov. 14	32	0	Mov. 2	604	101	Mov. 2	2286	112	Mov. 2	559	3			
	Mov. 15	32	0	Mov. 3	344	5	Mov. 3A	171	0	Mov. 3	24	0			
P2	Mov. 1	729	3	Mov. 4	424	2	Mov. 3B	129	6	Mov. 4	7	0			
	Mov. 2	119	0	Mov. 5	89	83	Mov. 4	302	4	Mov. 5	3	0			
	Mov. 3	264	9	Mov. 6	24	58	Mov. 5	587	100	Mov. 6	38	0			
	Mov. 4	460	2	Mov. 7	787	39	Mov. 6	657	74	Mov. 7	25	0			
	Mov. 5	124	6	Mov. 8	630	32	Mov. 7	1871	20	Mov. 8	75	0			
	Mov. 6	591	7	Mov. 9	17	6	Mov. 8	1252	13	Mov. 9	19	0			
P3	Mov. 1	591	7	Mov. 10	47	1	Mov. 9	0	0	Mov. 10	132	0			
	Mov. 2	383	9	Mov. 1	74	2	Mov. 10	0	0	Mov. 11	39	0			
	Mov. 3	639	8	Mov. 2	86	12	Mov. 3	7	0	Mov. 12	7	1			
	Mov. 4	727	9	Mov. 3	37	2	Mov. 4	188	7	Mov. 1	384	13			
	Mov. 5	274	16	Mov. 4	567	99	Mov. 5	55	2	Mov. 2	124	6			
	Mov. 6	384	13	Mov. 5	0	0	Mov. 6	48	0	Mov. 3	460	2			

Fonte: Elaboração própria.

A **tabela 1a** está harmoniosamente estruturada de acordo com a **tabela 2a**, da mesma forma que a estrutura da **tabela 1b** está em harmonia com a **tabela 2b** e graças a essas características estruturais a criação da **tabela 2b** pode ser realizada através de uma cópia da **tabela 1b**, sendo que no momento de colar a estrutura deve se ter em atenção a mesma distância existente entre **1a** e **1b**.

Como é possível perceber, uma vez que as tabelas 2a e 2b de se apresentam apenas os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPM-DU, se faz necessária a presença das tabelas 3a e 3b, com as mesmas informações, porém com os dados da HPT-DU. A seguir, na tabela 4.12, é apresentada a estrutura completa da tabela 3a, que é semelhante as tabelas 2a e 1a:

Tabela 4.12 - Estrutura da tabela 3a com os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPT-DU.

Posto	Horário	Abundância numérica ligatura	Composição proporção abundância	Posto	Horário	Abundância numérica ligatura	Composição proporção abundância	Posto	Horário	Abundância numérica ligatura	Composição proporção abundância	Posto	Horário	Abundância numérica ligatura	Composição proporção abundância				
P1	Hor. 1	553	11	P5	Hor. 1	452	74	P9	Hor. 1	1818	83	P13	Hor. 1	3	1				
	Hor. 2	34	3		Hor. 2	684	181		Hor. 2	2286	112		Hor. 2	553	3				
	Hor. 3	148	4		Hor. 3	344	5		Hor. 3	174	8		Hor. 3	24	1				
	Hor. 4	684	4		Hor. 4	424	2		Hor. 4	123	6		Hor. 4	7	1				
	Hor. 5	551	3		Hor. 5	83	83		Hor. 5	382	4		Hor. 5	3	1				
	Hor. 6	218	1		Hor. 6	24	24		Hor. 6	587	188		Hor. 6	38	1				
	Hor. 7	242	2		Hor. 7	787	33		Hor. 7	657	74		Hor. 7	25	1				
	Hor. 8	18	1		Hor. 8	538	32		Hor. 8	1874	28		Hor. 8	25	1				
	Hor. 9	168	18		Hor. 9	17	6		Hor. 9	1252	13		Hor. 9	13	1				
	Hor. 10	282	6		Hor. 10	47	1		Hor. 10	1	1		Hor. 10	152	1				
	Hor. 11	353	7		Hor. 11	1	1		Hor. 11	1	1		Hor. 11	33	1				
	Hor. 12	482	12		Hor. 12	1	1		Hor. 12	1	1		Hor. 12	7	1				
	Hor. 13	1	1		Hor. 13	1	1		Hor. 13	1	1		Hor. 13	1	1				
	Hor. 14	32	1		Hor. 14	1	1		Hor. 14	1	1		Hor. 14	1	1				
	Hor. 15	32	1		Hor. 15	1	1		Hor. 15	1	1		Hor. 15	1	1				
	Hor. 16	1	1		Hor. 16	1	1		Hor. 16	1	1		Hor. 16	1	1				
	Hor. 17	1	1		Hor. 17	1	1		Hor. 17	1	1		Hor. 17	1	1				
	Hor. 18	1	1		Hor. 18	1	1		Hor. 18	1	1		Hor. 18	1	1				
	Hor. 19	1	1		Hor. 19	1	1		Hor. 19	1	1		Hor. 19	1	1				
	Hor. 20	1	1		Hor. 20	1	1		Hor. 20	1	1		Hor. 20	1	1				
	Hor. 21	1	1		Hor. 21	1	1		Hor. 21	1	1		Hor. 21	1	1				
	P2	Hor. 1	723		3	P6	Hor. 1		74	2	P10		Hor. 1	63	1	P14	Hor. 1	384	13
		Hor. 2	413		1		Hor. 2		86	12			Hor. 2	2	1		Hor. 2	424	6
		Hor. 3	264		3		Hor. 3		37	2			Hor. 3	7	1		Hor. 3	458	2
Hor. 4		458	2	Hor. 4	567		33	Hor. 4	188	7		Hor. 4	274	16					
Hor. 5		424	6	Hor. 5	1		1	Hor. 5	55	2		Hor. 5	1	1					
Hor. 6		551	7	Hor. 6	152		18	Hor. 6	48	1		Hor. 6	1	1					
Hor. 7		1	1	Hor. 7	47		3	Hor. 7	42	1		Hor. 7	1	1					
Hor. 8		1	1	Hor. 8	128		4	Hor. 8	3	1		Hor. 8	1	1					
Hor. 9		1	1	Hor. 9	432		74	Hor. 9	1	1		Hor. 9	1	1					
Hor. 10		1	1	Hor. 10	1		1	Hor. 10	1	1		Hor. 10	1	1					
Hor. 11		1	1	Hor. 11	1		1	Hor. 11	1	1		Hor. 11	1	1					
Hor. 12		1	1	Hor. 12	1		1	Hor. 12	1	1		Hor. 12	1	1					
Hor. 13		1	1	Hor. 13	1		1	Hor. 13	1	1		Hor. 13	1	1					
Hor. 14		1	1	Hor. 14	1		1	Hor. 14	1	1		Hor. 14	1	1					
Hor. 15		1	1	Hor. 15	1		1	Hor. 15	1	1		Hor. 15	1	1					
Hor. 16		1	1	Hor. 16	1		1	Hor. 16	1	1		Hor. 16	1	1					
Hor. 17		1	1	Hor. 17	1		1	Hor. 17	1	1		Hor. 17	1	1					
Hor. 18		1	1	Hor. 18	1		1	Hor. 18	1	1		Hor. 18	1	1					
Hor. 19		1	1	Hor. 19	1		1	Hor. 19	1	1		Hor. 19	1	1					
Hor. 20		1	1	Hor. 20	1		1	Hor. 20	1	1		Hor. 20	1	1					
Hor. 21		1	1	Hor. 21	1		1	Hor. 21	1	1		Hor. 21	1	1					
P3		Hor. 1	531	7	P7		Hor. 1	52	1	P11		Hor. 1	353	11	P15		Hor. 1	1	1
		Hor. 2	383	3			Hor. 2	142	13			Hor. 2	1633	63			Hor. 2	1	1
		Hor. 3	3	1			Hor. 3	1	1			Hor. 3	2228	183			Hor. 3	1	1
	Hor. 4	227	3	Hor. 4		2	1	Hor. 4	65		3	Hor. 4	1	1					
	Hor. 5	274	16	Hor. 5		148	12	Hor. 5	153		28	Hor. 5	1	1					
	Hor. 6	384	13	Hor. 6		22	1	Hor. 6	1		1	Hor. 6	1	1					
	Hor. 7	1	1	Hor. 7		26	1	Hor. 7	1		1	Hor. 7	1	1					
	Hor. 8	1	1	Hor. 8		1	1	Hor. 8	1		1	Hor. 8	1	1					
	Hor. 9	1	1	Hor. 9		3	1	Hor. 9	1		1	Hor. 9	1	1					
	Hor. 10	1	1	Hor. 10		1	1	Hor. 10	1		1	Hor. 10	1	1					
	Hor. 11	1	1	Hor. 11		1	1	Hor. 11	1		1	Hor. 11	1	1					
	Hor. 12	1	1	Hor. 12		1	1	Hor. 12	1		1	Hor. 12	1	1					
	Hor. 13	1	1	Hor. 13		1	1	Hor. 13	1		1	Hor. 13	1	1					
	Hor. 14	1	1	Hor. 14		1	1	Hor. 14	1		1	Hor. 14	1	1					
	Hor. 15	1	1	Hor. 15		1	1	Hor. 15	1		1	Hor. 15	1	1					
	Hor. 16	1	1	Hor. 16		1	1	Hor. 16	1		1	Hor. 16	1	1					
	Hor. 17	1	1	Hor. 17		1	1	Hor. 17	1		1	Hor. 17	1	1					
	Hor. 18	1	1	Hor. 18		1	1	Hor. 18	1		1	Hor. 18	1	1					
	Hor. 19	1	1	Hor. 19		1	1	Hor. 19	1		1	Hor. 19	1	1					
	Hor. 20	1	1	Hor. 20		1	1	Hor. 20	1		1	Hor. 20	1	1					
	Hor. 21	1	1	Hor. 21		1	1	Hor. 21	1		1	Hor. 21	1	1					
	P4	Hor. 1	1	1		P8	Hor. 1	31	1		P12	Hor. 1	3	1		P16	Hor. 1	1	1
		Hor. 2	5	1			Hor. 2	18	1			Hor. 2	185	1			Hor. 2	1	1
		Hor. 3	6	1			Hor. 3	62	1			Hor. 3	17	1			Hor. 3	1	1
Hor. 4		4	1	Hor. 4	1		1	Hor. 4	14	1		Hor. 4	1	1					
Hor. 5		135	11	Hor. 5	1		1	Hor. 5	73	1		Hor. 5	1	1					
Hor. 6		316	7	Hor. 6	1		1	Hor. 6	43	1		Hor. 6	1	1					
Hor. 7		474	6	Hor. 7	1		1	Hor. 7	1	1		Hor. 7	1	1					
Hor. 8		1	1	Hor. 8	1		1	Hor. 8	1	1		Hor. 8	1	1					
Hor. 9		16	3	Hor. 9	1		1	Hor. 9	1	1		Hor. 9	1	1					
Hor. 10		18	1	Hor. 10	1		1	Hor. 10	1	1		Hor. 10	1	1					
Hor. 11		235	12	Hor. 11	1		1	Hor. 11	1	1		Hor. 11	1	1					
Hor. 12		1	1	Hor. 12	1		1	Hor. 12	1	1		Hor. 12	1	1					
Hor. 13		1	1	Hor. 13	1		1	Hor. 13	1	1		Hor. 13	1	1					
Hor. 14		1	1	Hor. 14	1		1	Hor. 14	1	1		Hor. 14	1	1					
Hor. 15		1	1	Hor. 15	1		1	Hor. 15	1	1		Hor. 15	1	1					
Hor. 16		1	1	Hor. 16	1		1	Hor. 16	1	1		Hor. 16	1	1					
Hor. 17		1	1	Hor. 17	1		1	Hor. 17	1	1		Hor. 17	1	1					
Hor. 18		1	1	Hor. 18	1		1	Hor. 18	1	1		Hor. 18	1	1					
Hor. 19		1	1	Hor. 19	1		1	Hor. 19	1	1		Hor. 19	1	1					
Hor. 20		1	1	Hor. 20	1		1	Hor. 20	1	1		Hor. 20	1	1					
Hor. 21		1	1	Hor. 21	1		1	Hor. 21	1	1		Hor. 21	1	1					

Fonte: Elaboração própria.

A construção da tabela 3b pode ser efetuada da mesma forma que foi explicado para a tabela 2b, devido à estrutura e posicionamento da informação ser exatamente igual, tendo que ter em atenção apenas o posicionamento. A seguir, na tabela 4.13, é apresentada a estrutura da tabela 3b que se trata da mesma forma que os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPT-DU são apresentados no relatório.

Tabela 4.13 - Estrutura da tabela 3b com os débitos contabilizados para as duas tipologias de veículos na HPT-DU.

Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Posto	Movimento	Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros
P1	Mov. 1	353	11	P4	Mov. 1	1	0	P7	Mov. 1	52	1	P11	Mov. 1	353	11
	Mov. 2	91	9		Mov. 2	5	0		Mov. 2	142	13		Mov. 2	1699	63
	Mov. 3	140	4		Mov. 3	6	0		Mov. 3	1	0		Mov. 3	2220	103
	Mov. 4	604	4		Mov. 4	4	1		Mov. 4	2	0		Mov. 4	66	9
	Mov. 5	631	9		Mov. 5	195	11		Mov. 5	148	12		Mov. 5	169	20
	Mov. 6	218	1		Mov. 6	316	7		Mov. 6	22	0		Mov. 6	0	0
	Mov. 7	212	2		Mov. 7	474	6		Mov. 7	26	0	P12	Mov. 1	9	0
	Mov. 8	80	8		Mov. 8	1	0		Mov. 8	0	0		Mov. 2	105	0
	Mov. 9	160	10		Mov. 9	16	3	Mov. 9	9	0	Mov. 3		17	0	
	Mov. 10	202	6		Mov. 10	10	1	P8	Mov. 1	31	0	Mov. 4	14	0	
	Mov. 11	363	7		Mov. 11	235	12		Mov. 2	18	0	Mov. 5	73	1	
	Mov. 12	402	12		Mov. 12	0	0		Mov. 3	62	1	Mov. 6	43	0	
	Mov. 13	8	0	P5	Mov. 1	432	71	P9	Mov. 1	1868	83	P13	Mov. 1	9	0
	Mov. 14	32	0		Mov. 2	604	101		Mov. 2	2286	112		Mov. 2	559	3
	Mov. 15	32	0		Mov. 3	344	5		Mov. 3A	171	0		Mov. 3	24	0
P2	Mov. 1	729	3		Mov. 4	424	2		Mov. 3B	129	6		Mov. 4	7	0
	Mov. 2	119	0		Mov. 5	89	83		Mov. 4	302	4		Mov. 5	3	0
	Mov. 3	264	9		Mov. 6	24	58		Mov. 5	587	100		Mov. 6	38	0
	Mov. 4	460	2	Mov. 7	787	39	Mov. 6		657	74	Mov. 7		25	0	
	Mov. 5	124	6	Mov. 8	630	32	Mov. 7		1871	20	Mov. 8		75	0	
	Mov. 6	591	7	Mov. 9	17	6	Mov. 1		69	0	Mov. 9		19	0	
P3	Mov. 1	591	7	Mov. 10	47	1	P10		Mov. 2	2	0		Mov. 10	132	0
	Mov. 2	383	9	Mov. 1	74	2			Mov. 3	7	0		Mov. 11	39	0
	Mov. 3	629	8	Mov. 2	86	12			Mov. 4	188	7		Mov. 12	7	1
	Mov. 4	727	9	Mov. 3	37	2			Mov. 5	55	2	Mov. 1	384	13	
	Mov. 5	274	16	Mov. 4	567	99			Mov. 6	48	0	Mov. 2	124	6	
	Mov. 6	384	13	Mov. 5	0	0			Mov. 7	42	1	Mov. 3	460	2	
													P14		

Fonte: Elaboração própria.

Finalizando a folha “*Tabelas*” temos as tabelas 5a e 6a que apresenta a totalidade dos veículos, por tipologia, na HP. Com base nessas tabelas são criados os gráficos que apresentam essa informação no relatório, em forma de percentagem. A Tabela 4.14 apresentada a estrutura da **tabela 5ª**, com a totalidade dos veículos, por tipologia, na HPM, que da origem ao gráfico 4.3, como é possível observar a seguir:

Tabela 4.14 - Estrutura da tabela 5a com a totalidade dos veículos, por tipologia, na HP da manhã.

Manhã		
Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Total
34270	1773	36043
95.08%	4.92%	100.00%

Fonte: Elaboração própria.

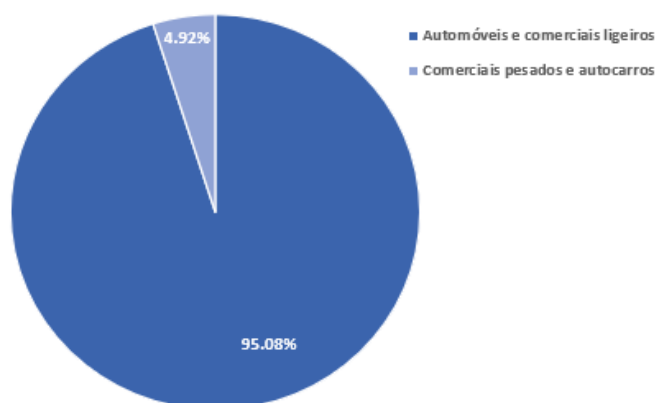


Gráfico 4.3 – Gráfico apresentado no relatório com a percentagem dos veículos, por tipologia, na HPM-DU.

A seguir temos a tabela 4.15 apresentando a **tabela 6^a** encontrada no modelo, com a totalidade dos veículos, por tipologia, na HPT, que da origem ao gráfico 4.4, sendo essa a forma de apresentação de tal informação no relatório, como já foi mencionado:

Tabela 4.15 - Estrutura da tabela 5a com a totalidade dos veículos, por tipologia, na HP da manhã.

Tarde		
Automóveis e comerciais ligeiros	Comerciais pesados e autocarros	Total
31984	1517	33501
95.47%	4.53%	100.00%

Fonte: Elaboração própria.

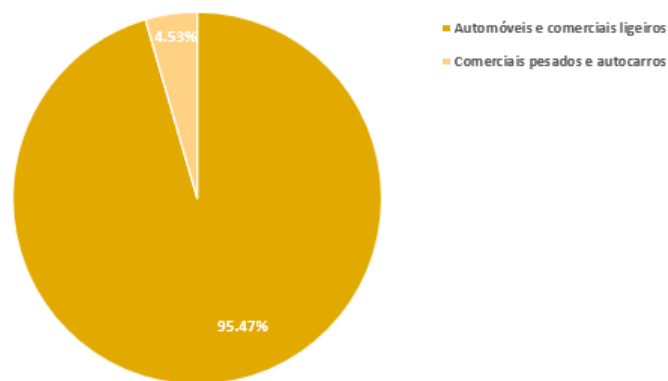


Gráfico 4.4 – Gráfico apresentado no relatório com a percentagem dos veículos, por tipologia, na HPT-DU.

4.2.3 SÍNTESE DO TRABALHO 1

Esse primeiro trabalho desenvolvido durante o período de estágio se demonstrou muito produtivo e proveitoso para perceber como são extraídos os dados primários referentes aos estudos de tráfego a nível profissional. A relação destes com os trabalhos desenvolvidos a nível académico não apresenta grandes diferenças, sendo a mesma ciência e os mesmos objetivos, porém o percurso e os passos a serem dados são mais elaborados.

A distinção entre os estudos a nível profissional e as atividades académicas se fez presente no primeiro momento, com os dados inicialmente fornecidos nas contagens de tráfego. O período de recolha de dados é de três horas, englobando aquelas que demonstram conter os maiores débitos de cada período, como pela manhã, por exemplo, que a recolha é feita das 7:30 até as 10:30, esse período de observação é apresentado, junto com os seus débitos, no modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens e o modelo por sua vez permite obter os valores da HP, que por sua vez contém um V_{p15} que será utilizado para dimensionar a estrutura e o serviço da zona em estudo.

Essas atividades, a nível académico, possuem uma desenvoltura completamente diferente, tanto na organização e cada etapa a serem realizadas como na estrutura de cada uma delas. A escolha de um V_{15} é feita a partir de uma observação realizada pelos discentes e estes por sua vez apresentam essa recolha como o V_{p15}

da zona onde as contagens foram realizadas e ao ser multiplicado por quatro fornece a HP. Ou seja, por serem trabalhos académicos, a preocupação com a identificação do “pico” da HP é muito menor.

De fato as ciências em si de cada um dos métodos não estão distantes uma da outra, porém, ter contado com cada uma das etapas a serem desenvolvidas para obter esses dados, da forma como é feito em um estudo de tráfego profissional, seria bastante interessante. Todavia, por questões de logísticas e devido ao período horário creditado as unidades curriculares da área de transportes, é perceptível a inviabilidade na realidade académica, pois seria uma sobrecarga para os discentes.

Além deste exemplo que foi elaborado, houve outros pontos que fizeram parte da aprendizagem do semestre passado, e que foi possível consolidar no desenvolvimento do modelo para estudos de tráfego rodoviário, como por exemplo: a forma como as contagens são apresentadas e repartidas em V15, a distinção entre as tipologias de veículos no período de recolha, a necessidade da apresentação da percentagem de veículos pesados, a forma como é feita a homogeneização do tráfego, as informações primordiais a serem extraídas e como elas são apresentadas nos relatórios, etc.

Outro ponto bastante interessante que foi possível contactar e compreender de uma forma mais aprofundada foram as etapas de calibração e validação, presentes no desenvolvimento de qualquer modelo. No caso em questão, por se tratar de um modelo matemático desenvolvido com recurso ao programa Excel, a calibração representa a formulação dos comandos e das programações que vão fornecer os resultados, se tratando de uma fase bem acessível e elaborada, na sua totalidade, diretamente pelo modelador.

A calibração do modelo *Base_Tratamento_Dados_Contgens* foi uma fase que teve muitas repetições por dois motivos principais: buscar a máxima automatização possível nos tratamentos dos dados e a geração de dados que fossem coerentes com uma realidade possível. O primeiro aspeto teve maior destaque na parte em que o modelo apresenta os V15, contidos na HP, e todos os resultados fornecidos pela folha “Tabelas”, sendo que essa ficou concluída de forma semiautomática, como é possível observar na estrutura dessa folha.

Já a fase de validação, como é de se esperar, se mostrou bastante gratificante, sendo pouquíssimas vezes regredida a calibrações do modelo. Uma vez que a *Folha_Base*, que foi cedida como uma referência a ser seguida, já trazia com ela uma análise completa e os resultados obtidos, foram utilizados os dados da contagem dessa análise para aferir os resultados fornecidos pelo modelo *Base_Tratamento_Dados_Contgens*, resultados os quais foram rigorosamente iguais, verificando assim a validação do modelo.

4.3 Atividade 2 – Modelo Visum

O segundo trabalho desenvolvido no período do estágio consistiu no acompanhamento de um estudo de tráfego, com nível de escala de aplicação macroscópica, para avaliar as acessibilidades rodoviárias em transporte individual e coletivo, os impactos na rede rodoviária adjacente e as necessidades de estacionamento para efeitos de licenciamento de um edifício comercial.

Enquanto o **Trabalho 1** descrito anteriormente, apresenta características mais abrangentes e indiretas, sendo útil para qualquer análise de tráfego (inclusive aqui, no **Trabalho 2**), este segundo trabalho apresenta

características mais específicas, tendo como ponto de partida o tratamento das contagens de tráfego, com a finalidade de caracterizar o tráfego daquela zona e obter informações necessárias para as fases posteriores, como o Vp15, por exemplo; e como ponto final apresentar os impactos causados pela implantação desta unidade comercial.

Por norma este tipo de estudo de tráfego está associado à criação ou expansão de unidades comerciais com dimensões consideradas relevantes, como: parques, edifícios de escritórios, unidades industriais, escolas, hospitais e empreendimentos que aparentemente apresentem um potencial relevante para geração de tráfego e de alterações no sistema existente.

O objetivo principal de um estudo de tráfego desta natureza é identificar os impactos que o novo empreendimento pode vir a provocar no sistema de transportes e na sua envolvente. Esses impactos podem estar relacionados com diversos aspetos, como a fluidez do tráfego na rede viária envolvente, a segurança dos peões e automobilistas, ou com o estacionamento.

O resultado de uma análise de tráfego desta natureza culmina, por norma, na apresentação de um relatório contendo essas informações de forma estruturada e sequencial. Alguns elementos presentes frequentemente nesses relatórios são: análise do empreendimento quanto ao uso do solo, localização do empreendimento, identificação da rede afetada, horizonte da análise, entre outros.

4.3.1 CENÁRIO DE ESTUDO

O cenário em estudo neste segundo trabalho corresponde à implantação de um edifício comercial num terreno atualmente ocupado por uma indústria. A implantação do mesmo implica a eventual reestruturação da atual rede rodoviária na zona, implantando uma interceção giratória para substituição de três interceções de sinalização vertical.

Para suprir as necessidades do cenário do Trabalho 2 desenvolvem-se as metodologias associadas à engenharia de tráfego e análise de acessibilidades normalmente utilizadas em estudos com problemáticas similares, visando garantir uma boa acessibilidade ao empreendimento futuro, e para o caso em questão à nova estrutura da rede viária. Dessa forma as diretrizes a serem seguidas passam por:

- Avaliar as condições de acessibilidade em transporte individual e coletivo ao empreendimento, determinando-se os impactes de tráfego decorrentes, por um lado, do tráfego gerado/ atraído pelo funcionamento associado à futura loja e, por outro, das soluções rodoviárias previstas para os seus acessos e respetiva rede viária envolvente;
- Propor soluções/ reconfigurar a rede viária de modo que esta se adegue à procura prevista garantindo um bom desempenho da rede viária envolvente (o que se veio a realizar ao logo do desenvolvimento do projeto da loja e do presente estudo);
- Verificar a capacidade das soluções de acessibilidade e de estacionamento propostas, assegurando o equilíbrio entre a procura e oferta de transportes;

- Garantir o cumprimento do número de lugares de estacionamento necessários face ao uso previsto.

O passo inicial para essa tipologia de estudo é a construção de um modelo para representação do cenário do estudo. A seguir, é apresentado o software utilizado neste processo e são descritos os passos de modelação de uma rede rodoviária exemplo, ou seja, não se trata da rede em estudo.

4.3.2 MODELO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO

Para o desenvolvimento do modelo recorreu-se ao software PTV Visum. Esse programa pertence ao grupo PTV, empresa que já foi apresentado anteriormente, e disponibiliza grandes vantagens: desde um manuseio relativamente fácil com grande reconhecimento pela sua interface gráfica, até uma vasta opção de algoritmos de afetação de tráfego. Na figura 4.18 podemos observar o logotipo do desse software:



Figura 4.19 - Logotipo do software Visum (myptv, 2022).

PTV Visum é um dos principais softwares de planeamento de transporte do mundo. É o padrão para simulações e modelagem macroscópica de redes de transportes, planeamento de transporte público e para o desenvolvimento de estratégias e soluções. Com esta ferramenta de análise de tráfego, é possível criar modelos que fornecem percepções para o planeamento estratégico de longo prazo e o uso operacional de curto prazo (myptv, 2022).

Essa ferramenta permite o planeamento de redes de transportes rodoviários, independente destes serem transportes privados ou transportes públicos, possibilitando previsões de comportamento de uma rede através de pontos de injeção do tráfego, a partir dos quais irá distribuir a procura consoante à oferta viária existente, de acordo com os destinos pré-definidos, usando a avaliação das variáveis da rede. O planeamento dessas redes começa na fase de modelação das mesmas, que será apresentada, de forma mais elaborada, no caso da modelação da rede exemplo.

Ao iniciar o software é apresentada a sua interface gráfica, de caráter prático e perceptível como é demonstrada a seguir na figura 4.20:

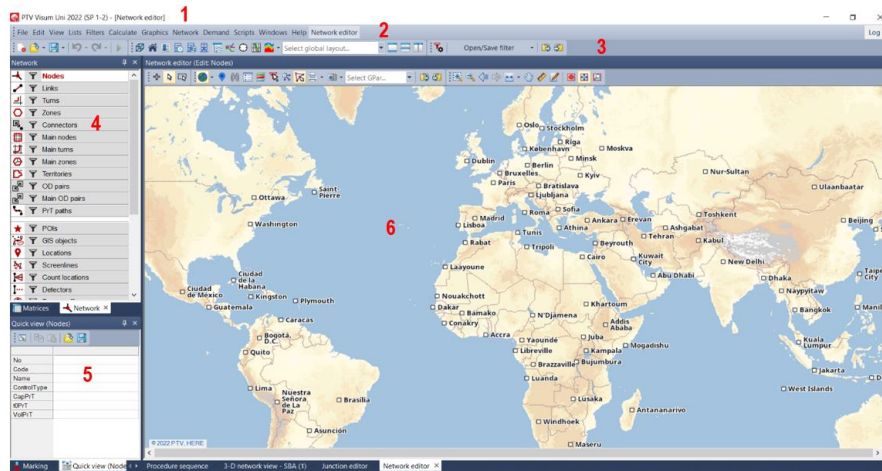


Figura 4.20 - Interface gráfica software Visum.

- 1 - **Barra de título:** A barra de título apresenta o nome e o número da versão do programa, bem como o nome do arquivo aberto. A janela Visum atualmente ativa será exibida em [colchetes];
- 2 - **Menu bar:** É através do menu bar que é possível aceder às várias funções do programa;
- 3 - **Toolbars:** A Toolbars coloca algumas funções principais do programa em destaque;
- 4 - **Overview window:** Na Overview window é possível selecionar um modo de trabalho e tipo de objeto, habilitar ou desabilitar a exibição gráfica de tipos de objetos de rede ou gráficos, definir filtros por tipo de objeto de rede ou no menu de atalho e escolher funções adicionais. Além disso, pode-se aceder a objetos de rede que estejam destacados e escolhidos para edição. Uma guia na parte inferior da janela de síntese permite visualizar e editar matrizes;
- 5 - **Quick view window:** A Quick view window permite a rápida visualização e edição de atributos para os objetos de rede atualmente destacados;
- 6 - **Network window:** A Network window exibe uma rede atualmente aberta. Aqui você pode ajustar a tela e editar a rede graficamente. Usando as barras de rolagem e os recursos de zoom, você pode focar na parte desejada da rede.

Após apresentação da interface gráfica inicial do Visum, é possível observar e compreender como será dado início ao processo de modelação da rede. Estando essa janela já definida e aberta, o primeiro passo é acrescentar os nós de acordo com os movimentos possíveis da rede, como é possível observar na figura 4.21.

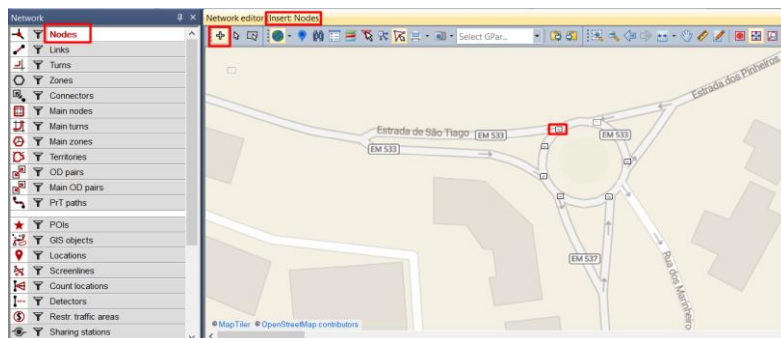


Figura 4.21 – Processo para adição dos nós da rede em estudo.

Uma vez adicionado todos os nós necessários, a fase seguinte é inserir os arcos que vão ligar os nós e representam a rede rodoviária, como é apresentado na figura 4.22.

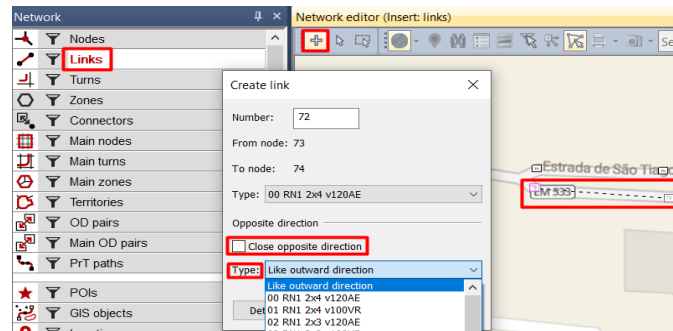


Figura 4.22 – Processo para adição dos arcos da rede em estudo.

Como é possível observar na figura, o processo de adição dos arcos é similar ao dos nós, com a diferença da necessidade de definir o sentido do tráfego e a tipologia dos arcos em função da velocidade e da rede rodoviária real, exemplo: Perfil Transversal Tipo (PTT) 2x1 (duas vias em sentido único) ou PTT 1x2 (uma via para os cada um dos sentidos). É possível configurar os arcos clicando neles com o botão direito neles e abrindo a opção editar.

O próximo passo, após a criação de todos os arcos, é a definição das “ZAT” e dos centroides de cada uma delas. Fazendo aqui uma breve ligação com o **Trabalho 1**, as “ZAT” representam, em casos como este, os locais dos postos de contagem onde foram recolhidos os dados das contagens. Na figura 4.23 podemos observar a criação de uma ZAT e do seu centroide.

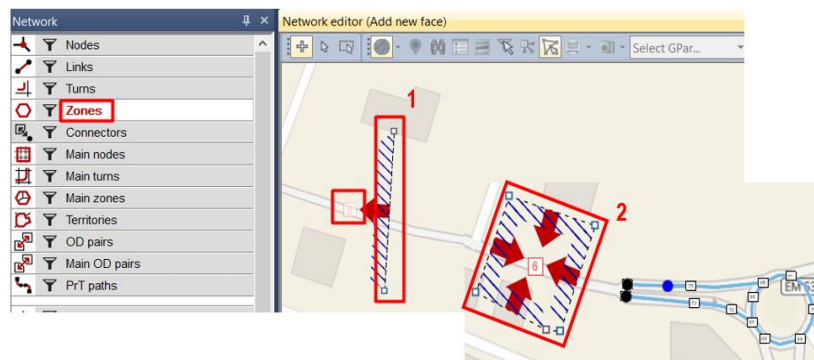


Figura 4.23 - Processo de criação das Zonas de Análises de Tráfego (ZAT).

O próximo e último passo de modelação da rede é a ligação entre as ZAT e os últimos nós da extremidade da rede. Essa ligação é desenvolvida de forma exclusiva pelos conectores, como é possível observar na figura 4.24 a seguir:

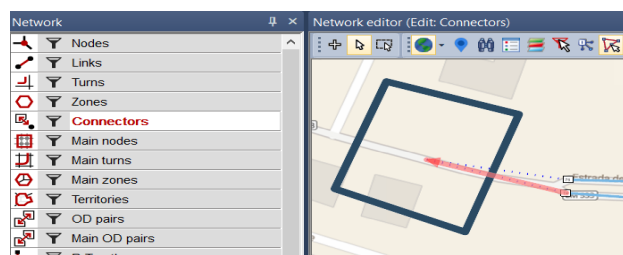


Figura 4.24 - Conector Ligando o centroide da ZAT na extremidade da rede.

Por fim, na figura 4.25, é apresentado o exemplo de uma rede rodoviária finalizada, constituída por arcos, nós, centroides, conectores e com três ZAT ao seu redor.



Figura 4.25 - Exemplo de uma rede com três ZAT.

Com toda a estrutura da rede viária criada o passo seguinte é “alimentar” o modelo, ou seja, fazer a introdução dos débitos nos respetivos segmentos. Existe mais de uma forma de executar esse passo, uma delas é criando em simultânea a matriz O/D. Uma vez que o modelo possui três ZAT, o Visum gera automaticamente uma matriz 3x3.

Antes de poder adicionar a procura de viagens sob a forma de uma matriz O/D, primeiro é necessário inserir um novo segmento de procura. Esse segmento de procura trata-se de uma parte da procura que representa um grupo de utilizadores com comportamentos semelhante no tráfego. A matriz O/D será posteriormente atribuída a este segmento de demanda:

- Escolha “DEMAND + Transporte systems / Modes / Demand segments” na barra de menu;
- Mude para a guia “Demand segments” e pressione o botão “Create”. E a caixa de diálogo “Creat Demand segment” será exibida;
- Insira “C” como o Código (Code) e “Car_23h” como o Nome (Name) para a nova demanda segmento, por exemplo;
- Escolha o modo “C Car” na caixa de combinação.

Esses passos são apresentados na figura 4.26 a seguir:

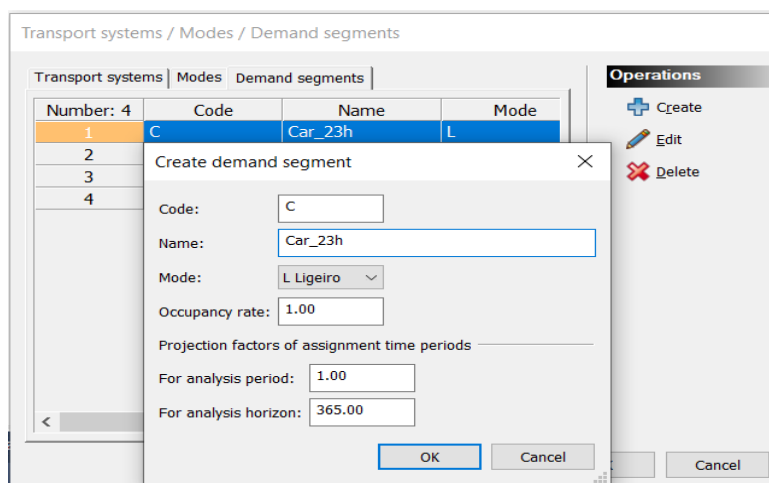


Figura 4.26 - Adição de um segmento de demanda.

A seguir basta ir até a caixa de diálogo “Create matrices” e abrir. Insira o exemplo de Código “Car_23h” e de nome “Carr-traffic 23h”, que foram sugeridos anteriormente, de acordo como aparece na figura 4.27. Depois basta confirme com OK.

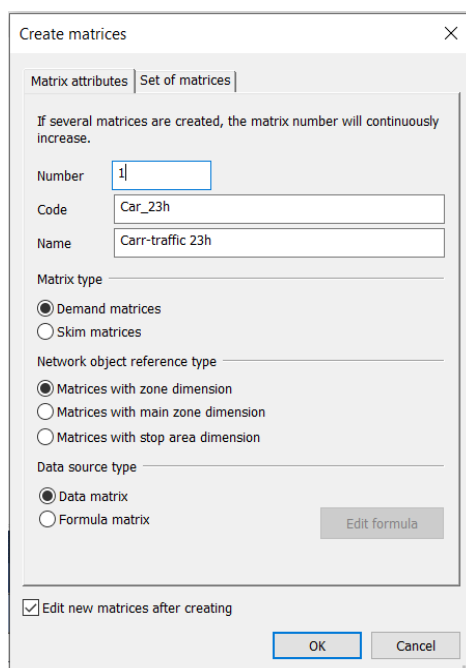


Figura 4.27 - Passo final para criação da matriz O/D.

Uma vez que a janela “Create Matrix” é confirmada com “OK”, a matriz é aberta na janela do editor de matrizes se a opção “Edit new matrices after creating” for selecionada, podendo ser inserido os valores de forma manual. A figura 4.28 apresenta exemplos de valores introduzidos na matriz:

3 x 3			6	7	8
	Name		ZAT_1	ZAT_2	ZAT_3
		Sum	50.00	30.00	35.00
6	ZAT_1	40.00	0.00	10.00	30.00
7	ZAT_2	45.00	40.00	0.00	5.00
8	ZAT_3	30.00	10.00	20.00	0.00

Figura 4.28 - Valores atribuídos a matriz O/D.

Para vincular essa matriz ao segmento de procura criado é necessário ir até “Demand + Demand Data” na barra de menu. Os dados de procura da matriz O/D da caixa de diálogo são abertos. Mude para a guia “Demand segments”. Selecione a linha com o segmento de demanda recém-inserido “C”. Por fim, basta atribuir a matriz aberta ao segmento de demanda selecionando “Car_24h” da coluna “Matrix”. A figura 4.29 ilustra a vinculação da matriz ao segmento de procura criado.

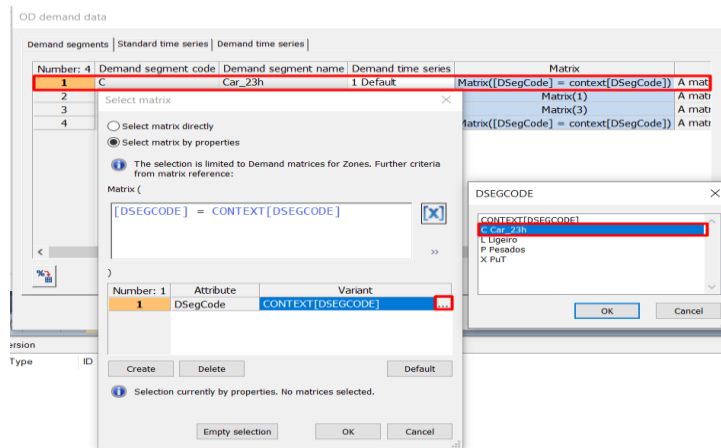


Figura 4.29 - Vinculação da matriz ao segmento de demanda criado.

Nesse momento o modelo tem uma matriz de procura de viagens, essa procura pode ser afetada à rede através do procedimento de atribuição: selecione “Calculate + Procedure sequence” na barra de menu. A seguir o botão “Create”, depois “Assignments”, “PrT Assignment” e confirme pressionando “OK”. Uma linha para o novo procedimento aparece na tabela. Pressione o botão coluna “Reference Objeto(s)”. Uma linha tracejada é mostrada enquanto nenhuma seleção for feita. Escolha o segmento de demanda “C Car_23h” e pressione “OK”. Na figura 4.30 é apresentado os passos para atribuição da demanda a rede rodoviária existente

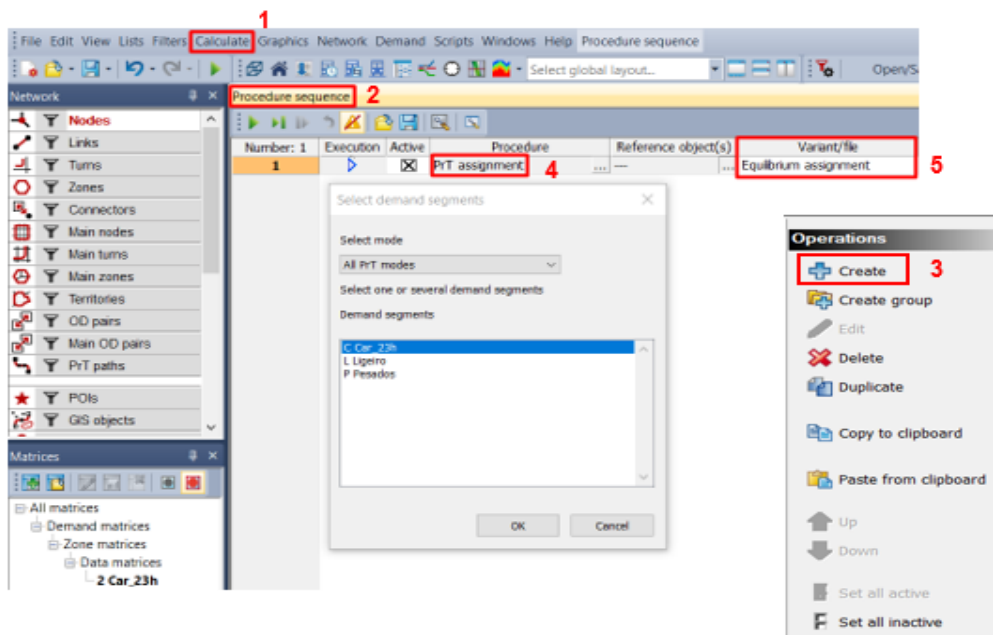


Figura 4.30 - Atribuição da demanda para a rede rodoviária existente.

Dessa forma já é possível observar os débitos inseridos na matriz O/D presentes nesse exemplo de rede rodoviária modelada no Visum, como é observado na figura 4.31.



Figura 4.31 - Exemplo de rede e os respectivos débitos.

Dessa forma é possível perceber as vantagens disponibilizadas pelo Visum em relação à facilidade de percepção rápida, ao seu manuseio relativamente fácil e a sua interface gráfica bastante transparente. Essas características são de grande reconhecimento pelas empresas no desenvolvimento dos estudos de tráfego rodoviário e contribuem para esse software ter se tornado essa referência a nível mundial.

Uma vez apresentados os passos de modelação da rede no Visum, a fase seguinte consiste em entender como são obtidas as estimativas para caracterização dos sistemas rodoviários futuro e os indicadores de desempenho da rede, que foram realizadas nesse **Trabalho 2**, como: Oferta e Procura, níveis de serviço, tempos de atraso, entre outros. Para isso é necessário entender o procedimento de afetação do Visum, como será apresentado a seguir.

4.3.2.1 Afetação do tráfego

De acordo com o que já foi mencionado, segundo Cardoso (2010), a afetação é o último passo do tradicional Modelo de Quatro Passos, sendo nela que se procede à afetação das matrizes de viagens obtidas nos diversos modos às redes correspondentes. Nesta forma de análise, os modelos de afetação são utilizados para fornecer estimativas de fluxos de tráfego em vias estratégicas, com o principal objetivo de disponibilizar uma base de comparação entre sistemas de transportes a médio e longo prazo.

A ferramenta de análise de tráfego PTV Visum permite obter estimativas da caracterização dos sistemas rodoviários futuro e os indicadores de desempenho da rede. Dispõe de um nível de escala de aplicação macroscópica e possui um número vasto de modelos de afetação para os estudos direcionados ao tráfego rodoviário, como é o caso desse segundo trabalho.

Por questões de particularidades desse estudo foi tido em conta apenas a hora de ponta da tarde de um dia útil padrão. Como já se sabe, os estudos de tráfego, correntemente, levam em conta a hora de ponta da manhã de dia útil e a hora de ponta da tarde de dia útil, o que não é o caso presente. Em relação ao cenário da análise, foi adotado como cenário atual o ano presente e para os cenários futuros: 2023, ano base, e 2033 ano do horizonte de projeto.

No **Trabalho 2** a afetação do tráfego rodoviário foi realizada segundo o método de afetação por equilíbrio. Nesse método procura-se modelar uma situação em que, para qualquer par de viagens origem/destino, todos os caminhos utilizados deverão ter um custo de transporte idêntico, pressupondo que os utilizadores do caminho mais "caro" se mudam para caminhos mais "baratos" até que se atinja um equilíbrio entre caminhos alternativos.

O Modelo de Equilíbrio se baseia no primeiro 1º Princípio de Wardrop, já mencionado anteriormente. Como se sabe, esse modelo efetua a distribuição da procura de forma que cada condutor escolhe o seu melhor caminho para que a sua viagem tenha a menor duração/custo possível. Este princípio foi bem-recebido por ser uma descrição simples, mas suficientemente realista da distribuição de percursos sujeitos a determinadas condições de tráfego.

Segundo Cardoso (2010), nos modelos de afetação por equilíbrio, a escolha de trajeto de um condutor específico é condicionada pelas opções dos condutores restantes e os custos de deslocamento nos arcos dependem também da procura.

O custo total da viagem (impedância) é composto de três parcelas: o custo marginal percebido de operação da viatura (combustível e consumíveis do veículo), o custo atribuído ao tempo que se gasta na viagem e o custo monetário das portagens (quando as estas existam na rede macro modelada). A tabela 4.16 apresenta os valores adotados para custos de operação para veículos ligeiros e pesados.

Tabela 4.16 - Valores adotados para custos de operação para veículos ligeiros e pesados.

Tipo de Veículo	Combustível	Preço (€/l) ¹	Consumo médio (l/100km)	Valor do km (€/km)	%Tipo de Veículo ²
Veículos Ligeiros	Gasolina	1,676	9,00	0,151	49%
	Gasóleo	1,459	7,50	0,109	49%
	Média Ponderada	1,528	8,04	0,130	-
	Valor médio do km (comb. + desg +manut)			0,143	97%
Veículos Pesados	Gasóleo	1,459	20,00	0,292	3%
	Valor médio do km (comb. + desg +manut)			0,321	3%

Fonte: Adaptado FJ. Consultores (2022).

Já na tabela 4.17, apresentada a seguir, é possível encontrar os valores adotados para custos de tempo para veículos ligeiros e pesados.

Tabela 4.17 - valores adotados para custos de tempo para veículos ligeiros e pesados³.

Tipo de Veículos	UNITE		UNITE PORTUGAL				Total ⁴ €/hora
	Preços 1998		Preços 1998 ⁵		Preços 2021 ⁶		
	Negócios	Privado	Negócios	Privado	Negócios	Privado	
Veículos Ligeiros	21,00€	6,00€	15,06€	4,30€	22,33€	6,38€	11,16€
Veículos Pesados	43,00€	-	30,83€	-	45,71€	-	45,71€

Fonte: Adaptado FJ. Consultores (2022).

¹ Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) – custo médio dos combustíveis (julho de 2021).

² Associação Automóvel de Portugal (ACAP) – vendas de veículos automóveis em Portugal por tipo de combustível.

³ Cálculos baseados no Projeto UNITE “Unification of Accounts and Marginal Costs for Transport Efficiency”, junho 2003, European Commission, 5th Framework Programme.

⁴ Fator de transferibilidade para Portugal = 0,717.

⁵ Atualização considerando uma taxa de crescimento anual igual à taxa de inflação de Portugal entre 1998 e 2020.

⁶ Considerou-se que 30% das viagens de ligeiros são efetuadas em negócios.

4.3.2.2 TFlowFuzzy

Para que os resultados das contagens de tráfego estimadas pelos modelos de afetação se aproximem o mais possível dos valores reais das contagens, o Visum permite a utilização do Algoritmo TFlowFuzzy que possibilita a utilização de contagens de tráfego para corrigir e/ou estimar os fluxos da matriz O/D, de modo que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viragens selecionadas. O TFlowFuzzy corrige a matriz O/D inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viragens resultantes da afetação com as contagens de tráfego reais carregadas no modelo, tendo como objetivo, validar essas contagens através do ajustamento da matriz O/D, para aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos volumes de tráfego reais. Para a atualização, os valores da contagem são comparados com os volumes de tráfego modelados, resultantes da afetação pré-calculada da matriz O/D com valores 10. A diferença entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz O/D. Este é um processo iterativo, pois começa com a diminuição na margem de erro. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viragens. Durante a implementação do algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede que possuam fluxos e contagens de tráfego (GROUP, 2017). A figura 4.32 apresenta o algoritmo TFlowFuzzy.

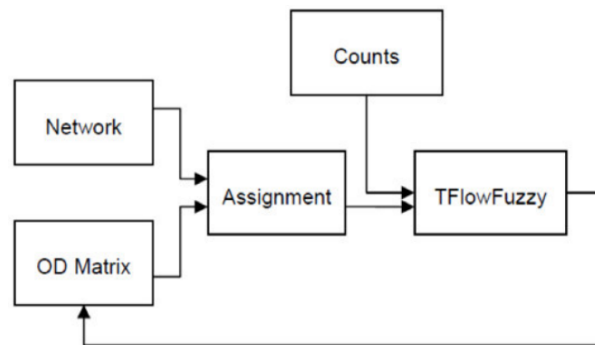


Figura 4.32 - Processo TFlowFuzzy.

Fonte: PTV AG 2012.

Após o TFlowFuzzy corrigir a matriz O/D inicial e comparar os fluxos nos arcos e viragens, resultantes da afetação, com as contagens de tráfego inseridas na rede, é obtida a validação dessas contagens juntamente com a correção da matriz O/D, aproximando o melhor possível os volumes de tráfego modelados dos volumes de tráfego espectáveis para o ano base e para o horizonte de projeto.

4.3.3 PRODUTO DO ESTUDO

Por fim, é possível discriminar os elementos finais obtidos com o **Trabalho 2**, direcionados ao cenário de estudo que foi apresentado. Conforme já mencionado, em particular nesse estudo, as análises realizadas tem em conta apenas HPT-DU e as previsões futuras levam em conta dois cenários: sem a concretização do edifício comercial e com a concretização do edifício comercial.

De forma a disponibilizar uma melhor percepção, os resultados que foram fornecidos pelo modelo foram divididos entre o grupo de informações relativas à procura e o grupo com as caracterizações relacionadas a rede rodoviária.

Para o grupo de informações sobre a procura de tráfego no ano atual, no ano base e no horizonte de projeto, é dado destaque aos seguintes indicadores:

- Caracterização do sistema rodoviário com a oferta da rede e a procura (matriz O/D);
- Determinação dos indicadores de desempenho atuais, do ano base e do horizonte de projeto: *Níveis de serviço, Volumes conflituantes, Taxa de Ocupação, Capacidade, Tempos de Atraso e Estimativa de fila de espera;*

Já no grupo de informações relacionadas com as características físicas da rede rodoviária do ano atual, do ano base e do horizonte de projeto, é de destacar:

- Viabilidade das alterações estruturais de substituição das interseções com sinalizações verticais para a interceção giratória;
- Condições de acesso e circulação;

4.3.4 SÍNTESE DO TRABALHO 2

Esse segundo trabalho desenvolvido durante o estágio se demonstrou viável e proveitoso. Com o acompanhamento desse estudo de tráfego foi possível perceber como são utilizados os dados primários referentes ao tratamento das contagens de tráfego realizadas no **Trabalho 1** e como as zonas das contagens são apresentadas nessa fase posterior. Em comparação com o primeiro trabalho, o segundo apresenta características mais concretas e específicas, representando a fase final de um estudo de tráfego.

O acompanhamento do **Trabalho 2** permitiu também identificar como são obtidas as previsões relacionadas com os impactos que o novo empreendimento pode vir a provocar no sistema de transportes e na sua envolvente, assim como os pontos, com os quais, este pode estar relacionado: a fluidez do tráfego na rede viária envolvente, com a segurança de peões e automobilistas ou com o estacionamento.

Outro ponto de destaque foi poder analisar a apresentação dos resultados desse estudo de tráfego estruturados na forma de relatório, contendo essas informações de forma coerente e sequencial, e como cada estudo apresenta as suas especificidades. Neste caso foi possível observar duas situações excecionais, uma vez que as análises realizadas costumam ter em conta a HPM-DU também e não apenas HPT-DU, e outra com as previsões futuras, pois nesse caso levam em conta dois cenários: sem a concretização do edifício comercial e com a concretização do edifício comercial.

Para maior destaque, e em relação com o título do relatório, o acompanhamento do segundo trabalho demonstrou ser de grande proveito, devido ao desenvolvimento do modelo elaborado nesse estudo, para o qual recorreu-se ao software PTV Visum. Como foi visto, este programa disponibiliza grandes vantagens, tem manuseio relativamente fácil e uma interface gráfica bem clara e perceptível.

O Visum demonstrou ser eficaz no planeamento da rede de transportes rodoviários, possibilitando previsões de comportamento da procura na mesma, através de pontos de injeção do tráfego, a partir dos quais era estimada uma distribuição da procura, consoante a oferta viária existente e com os destinos pré-definidos, usando a avaliação das variáveis da rede. Essa ferramenta disponibiliza ainda o recurso ao *TFlowFuzzy*, que

corrige a matriz O/D inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viragens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas.

Por fim acredita-se que o desenvolvimento do segundo trabalho culminou numa experiência de grande viabilidade para compreender a ligação do **Trabalho 1** com o **Trabalho 2** e como a junção dos dois se torna necessária para concretizar os objetivos da execução de um estudo de tráfego, sendo que cada estudo traz as suas particularidades, exigindo dinamismo por parte do consultor de tráfego.

4.4 Atividade 3 – Análise DataFromSky e Modelo Vissim

Conforme já mencionado anteriormente, durante o desenvolvimento do estágio foi possível elaborar uma atividade de caráter académico e com pendor próximo do investigativo, que se divide em duas etapas: a primeira etapa apresenta a utilização das técnicas de recolha de dados com recurso a drone e sistema de IA, no âmbito do protocolo com a empresa DataFromSky, já descritas anteriormente; a segunda etapa consiste na construção de um modelo de simulação com software Vissim, que também já foi apresentado anteriormente.

Essa atividade foi desenvolvida em dois cenários distintos: Cenário 1 e Cenário 2. O primeiro cenário fez uso dos dados obtidos apenas com as imagens capturadas por drone, culminando nas análises desenvolvidas no DataFromSky e no modelo Vissim, tendo, porém, um período experimental de cinco minutos; já no segundo cenário são repetidas as técnicas de recolha com recurso a drone e ao sistema de IA, porém com a duração de uma hora, representando a HP. Convém lembrar que, de acordo com a tabela 2.2, o ideal seria uma recolha com a duração de três horas e posteriormente iria se obter a HP, todavia, por uma questão de redução do custo de utilização do drone, optou-se por um período somente de 1 hora.

No que diz respeito ao processo de tratamento das imagens com recurso ao DataFromSky, existem alguns procedimentos que fazem parte de ambos os cenários concretizados nessa atividade. De forma a criar uma perceção mais clara e direta, esses passos que serão desenvolvidos de forma similar para os dois cenários de estudo e serão apresentados de seguida.

4.4.1 PROCEDIMENTOS EM COMUM DO DATAFROMSKY

Conforme já mencionado o DataFromSky apresenta opções para duas tipologias de tratamento das imagens registadas consoante a forma de recolha das mesmas: o modo DFS AERIAL e o modo DFS LIGHT. O modo AERIAL para a gravação de vídeo a partir de alturas mais elevadas e o modo LIGHT é concebido para cenas filmadas a partir de uma altura menor.

De acordo com o título apresentado neste documento, o modo AERIAL demonstra uma eficiência maior na identificação dos objetivos analisados. Como se sabe, no modo AERIAL é necessário efetuar as gravações de vídeo a partir de uma altura mais elevada, como é o caso presente, recorrendo a filmagens por drone, o que implica que os objetos são menores e o ângulo de visão é maior (VIEWER, 2019)..

Além da forma de recolha das imagens há outros dois procedimentos em comum para o *Cenário 1* e para o *Cenário 2*: a submissão do ficheiro de vídeo para compatibilização do mesmo com o software de leitura das imagens: o DataFromSky Viewer; e a georreferenciação das imagens, o que permite a conversão das unidades de medida apresentadas no vídeo para o sistema SI. Cada um desses procedimentos são descritos a seguir.

4.4.1.1 Recolha das imagens

O primeiro passo é a recolha das imagens através de drone. Apesar de não aparentar essa etapa envolve uma abordagem técnica extensa e é necessário ter em atenção vários fatores e procedimentos antes de colocar o drone no ar, como por exemplo: verificar o carregamento das baterias, observar toda a estrutura do drone, confirmar a atualização da aplicação, verificar regras de voo do local (a própria aplicação já exclui algumas zonas, normalmente), observar o perímetro com atenção especial, nomeadamente devido à presença de crianças, animais, árvores e fios de alta tensão, entre outros.

No que diz respeito ao equipamento, além do drone e do seu comando, é necessário a presença de um dispositivo móvel que permaneça ligado ao comando do drone de forma integral. Convenientemente, esse dispositivo, deve apresentar dimensões que proporcionem ao operador a visualização das imagens de uma forma confortável. Na figura 4.33 podemos observar a integração do dispositivo móvel ao comando do drone.



Figura 4.33 - Dispositivo móvel integrado ao comando do drone (datafromsky, 2022).

No que diz respeito às imagens, o emprego de drones e análise automática de imagens oferece novas possibilidades de análise, graças à precisão da medição, à faixa de cobertura das imagens e à singularidade dos dados obtidos. A câmara possui grande sensibilidade a mudança da posição dos objetos que se movem em diversas direções das imagens que estão sendo recolhidas (VIEWER, 2019).

Em termos de precisão da localização do drone, a posição ideal é exatamente acima do cruzamento, conhecida como *TOP DOWN VIEW*. Nesta posição, a câmara é a mais sensível à mudança da posição do objeto na cena, portanto, uma medição extremamente precisa da velocidade do veículo e aceleração é possível. No entanto, a suspensão de drones diretamente acima do nó nem sempre é possível devido à regulamentação de segurança e legislação aplicável (VIEWER, 2019).

Existem algumas indicações, quanto à inclinação do ângulo e da altura do drone durante a recolha, que são disponibilizadas pela DataFromSky para obter êxito no processo de recolha das imagens e estas serão descritas a seguir e complementadas na figura 4.34:

- Ângulo de incidência $< 55^\circ$ - a distância horizontal entre o drone e o cruzamento é maior do que a distância entre a projeção da posição do drone no solo e o centro da intersecção;
- Ângulo 45° - a altitude do drone é a mesma que sua distância do centro da intersecção;
- 0° - significa que o drone está diretamente acima da intersecção.
- não cruze a altura onde uma resolução de pixels de objetos monitorados seria inferior a 20×20 pixels

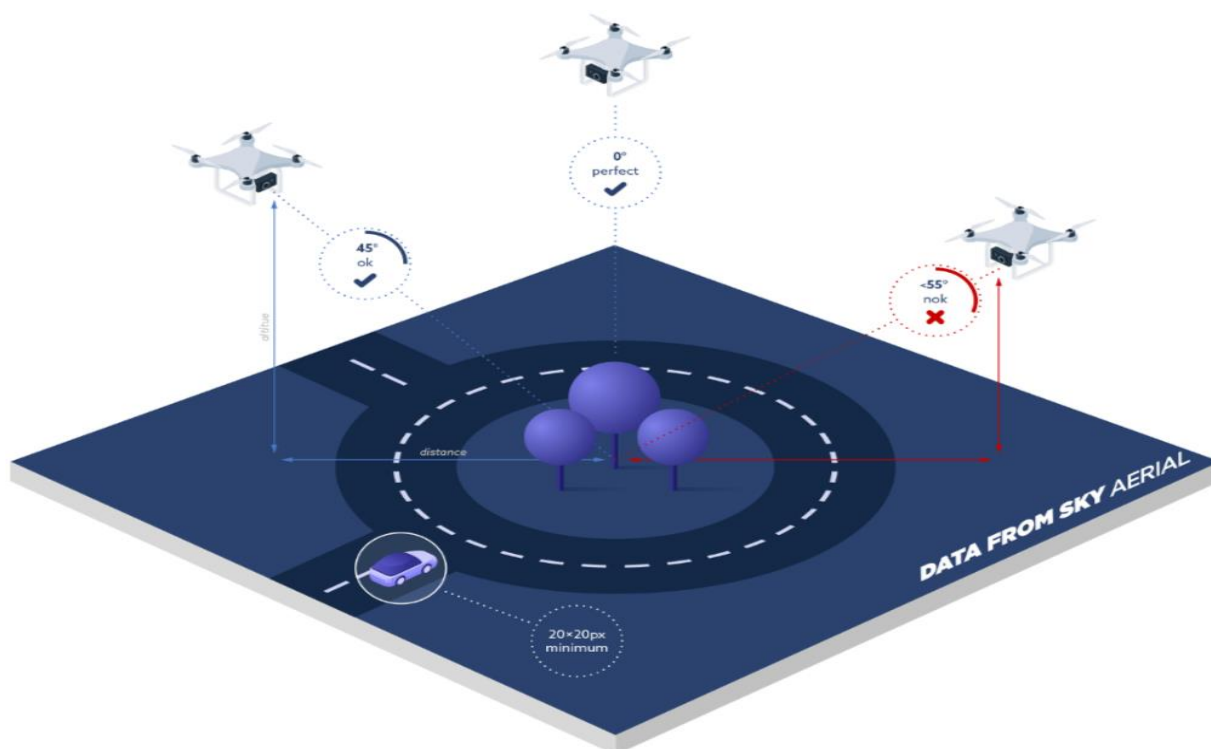


Figura 4.34 - Angulação da posição do drone durante a recolha das imagens (VIEWER, 2019).

4.4.1.2 Tratamento das imagens

Uma vez recolhida as imagens, a fase seguinte corresponde à submissão do ficheiro de vídeo na plataforma da DataFromSky para tratamento das imagens e para isso é necessário se cadastrar na mesma. Nessa plataforma o ficheiro é exposto a um processo de identificação e vectorização das imagens para assim ser possível compatibilizar o vídeo com o software de leitura das imagens: o *DataFromSky Viewer*.

Conforme já mencionado o DataFromSky apresenta opções para duas tipologias de tratamento das imagens registadas, consoante a forma de recolha das mesmas: o modo DFS AERIAL e o modo DFS LIGHT. Na figura 4.35 podemos observar essas opções de submissão, consoante a forma de recolha das imagens:

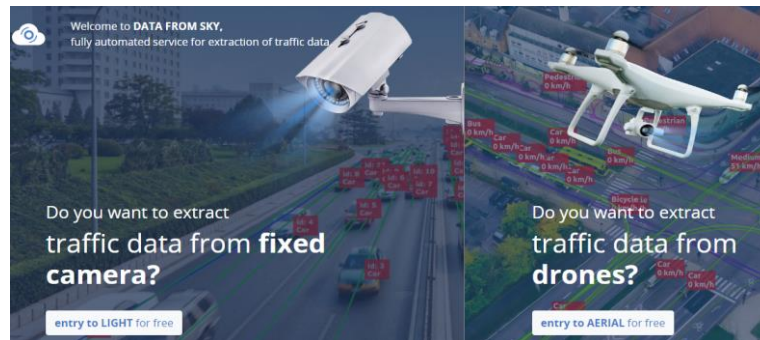


Figura 4.35 - Opções de submissão das imagens (datafromsky, 2022).

De acordo com o título apresentado neste documento, o modo AERIAL é a escolha fundamental para os objetivos a atingir. Após a escolha da opção de carregamento do vídeo é apresentada uma janela com o espaço para submissão do mesmo, como é ilustrado na figura 4.36:

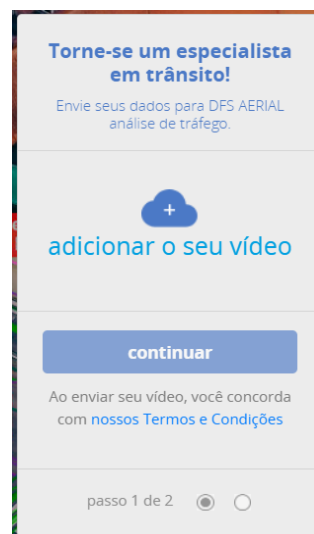


Figura 4.36 - Processo de carregamento de vídeo para plataforma da DataFromSky (datafromsky, 2022).

Feito isso basta apenas esperar e o ficheiro vetorial do tráfego é enviado de volta por email. O formato do novo ficheiro é tlqx, que é o formato de leitura do DataFromSky Viewer. Vale a pena destacar que é um processo relativamente rápido, alguns minutos entre a submissão e a devolução do ficheiro, no caso do vídeo referente ao *Cenário 1*, com a duração de cinco minutos.

4.4.1.3 Georreferenciação das imagens

Após abrir o vídeo com a sobreposição do ficheiro tlqx, no DataFromSky Viewer é possível perceber que não há dados georreferenciados, por isso a velocidade real é expressa em milhares de pixels por hora (kilo-pixels - Kpx/h) e a aceleração aparece em $\text{px} \cdot \text{s}^{-2}$. A figura 4.37, apresentada a seguir, demonstra as unidades de medida que o *DataFromSky Viewer* assume por defeito (VIEWER, 2019).



Figura 4.37 - Unidades de medida que o DataFromSky Viewer assume por defeito.

Uma vez que os resultados de uma análise de tráfego não podem ser apresentados nessas unidades, é necessário fazer a georreferenciação do vídeo na localização correta. O *DataFromSky Viewer* disponibiliza essa opção em sua barra de menu, na parte superior da tela. Ao aceder à opção de georreferenciação basta criar e atribuir quatro pontos na área do vídeo e depois inserir as coordenadas reais desses pontos. Essas coordenadas podem ser obtidas através do *Google Maps*, por exemplo. Na figura 4.38 podemos observar a localização e as coordenadas dos quatro pontos utilizados para a georreferenciação.

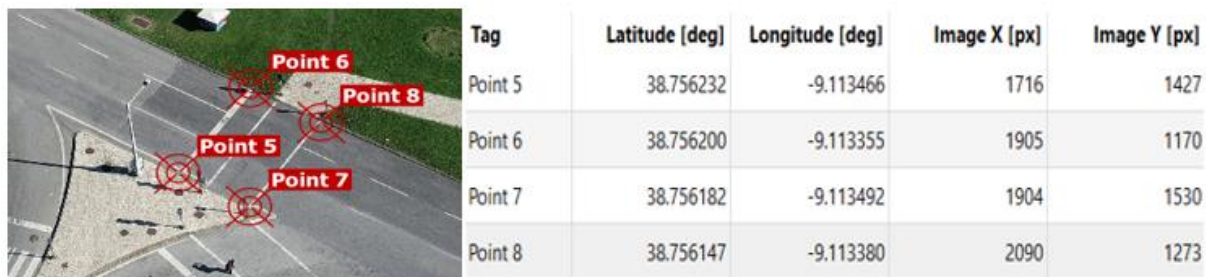


Figura 4.38 - Localização e as coordenadas dos quatro pontos utilizados para o georreferenciamento das imagens.

Dessa forma as unidades apresentadas, por exemplo, para a velocidade durante a deslocação dos objetos no *DataFromSky Viewer* deixa de ser apresentado com unidades Kpx/h e passa a ser em km/h. Essa alteração pode ser observada na figura 4.39 a seguir:



Figura 4.39 - Unidade de medida após georreferenciamento da localização da análise.

4.4.2 CENÁRIO 1

A localização escolhida para o **Cenário 1** corresponde à interseção entre a Rua Concelheiro Emídio Navarro e a Avenida Dr. Augusto de Castro (largo de Chelas) no Bairro das Amendoeiras em Lisboa. Na figura 4.40, apresentada a seguir, é possível ter uma referência da sua localização e observar uma vista em planta da mesma.



Figura 4.40 - Localização Cenário 1.

Fonte: Google Earth Pro.

A estrutura da interseção escolhida para ser estudada no **Cenário 1** apresenta características particulares, sendo composta (de forma mista) por duas tipologias de interseções diferentes: *interseção semaforizada* e *interseção com canalização de tráfego materializada por ilhéu direcional*. A interseção semaforizada é o encontro da Avenida Dr. Augusto de Castro com o fim da Rua Concelheiro Emídio Navarro. Já interseção com canalização de tráfego materializada por ilhéu direcional corresponde à saída da Avenida Dr. Augusto de Castro com o início da Rua Concelheiro Emídio Navarro.

No que diz respeito ao tempo empregue para a captura das imagens utilizadas nessa primeira análise referente ao **Cenário 1**, tal período de recolha das mesmas foi de aproximadamente cinco minutos e trinta segundos, ou seja, cinco minutos e meio de voo com drone.

Uma vez apresentada a interseção escolhida para o **Cenário 1** e identificado o tempo de recolha das imagens, o passo seguinte será a definição dos movimentos possíveis. Como foi apresentado anteriormente, no ponto 2.5.2, os movimentos possíveis de uma interseção são representados por números e traduzem os destinos possíveis para os veículos e os peões que circulam na mesma. Devido ao caso apresentado para estudo não se tratar de uma interseção prioritária não são definidos os movimentos com e sem prioridade. Na figura 4.41 é possível observar os movimentos possíveis do **Cenário1**.

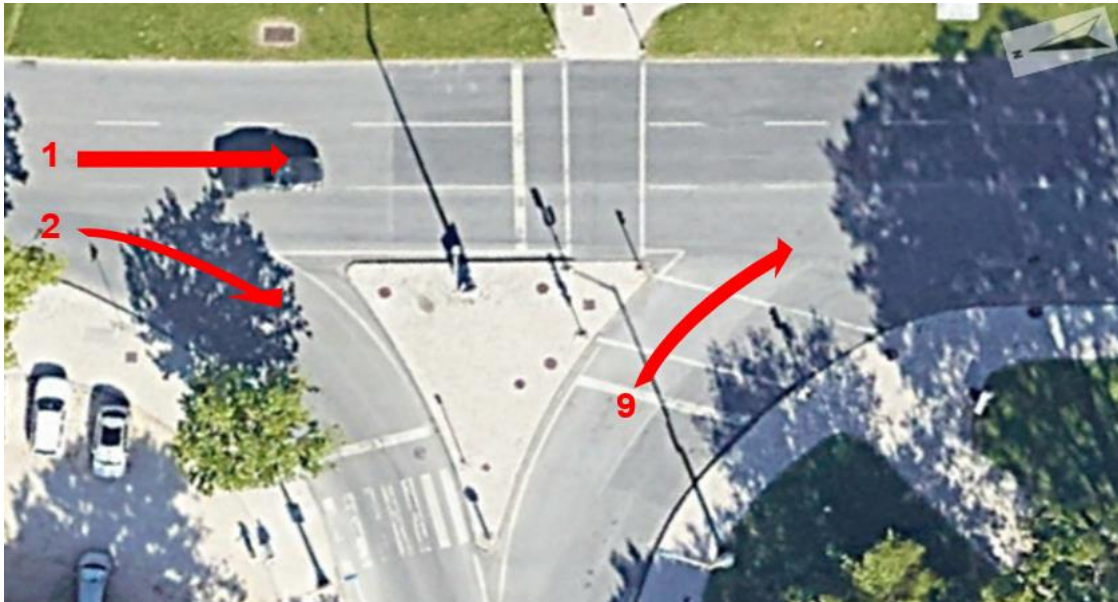


Figura 4.41 - Definição dos movimentos do Cenário 1.

4.4.2.1 Análises do *DataFromSky Viewer*

Para iniciar a configuração das análises a serem extraídas do *DataFromSky Viewer* o primeiro passo é a edição dos *Gates*. Estes são responsáveis por definir a área de estudo e pelas informações dos veículos que passarem dentro da mesma. Para o **Cenário 1** foi definido a contagem apenas dos veículos motorizados. Além da distinção no processo de contagem dos veículos é necessário também definir características, como: se é um *Gate* de entrada(verde), saída(vermelho) ou neutro(azul), a direção de tráfego dos veículos e trajetória dos mesmos. Na figura 4.42 é apresentado a configuração de um *Gate*:

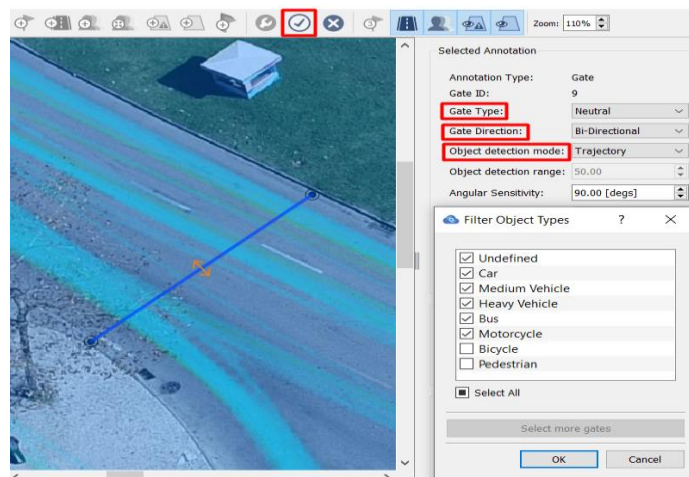


Figura 4.42 - Processo de criação de um *Gate*.

A fase seguinte é a criação das *Lanes*. Elas são estruturadas através de pontos que demarcam a sua área de influência e a classificação se limita apenas quanto à entrada, saída ou neutra, sendo que as cores de definição são exatamente iguais às das *Gates*. A figura 4.43 exemplifica o processo de criação de uma *Lane*.



Figura 4.43 - Criação de uma *Lane*.

A última fase do processo de caracterização das análises realizadas no **Cenário 1** é a criação de uma *Action Region*. Esse elemento é elaborado da mesma forma que as *Lanes* e tem a mesma aparência. Sua função é gerar alertas quanto à velocidade ou presença de um determinado objeto, consoante a sua configuração. Para o **Cenário 1** foi criada uma *Action Region* na Av. Dr. Augusto de Castro e é possível observar a fase de criação desse elemento na figura 4.44 apresentada a seguir:

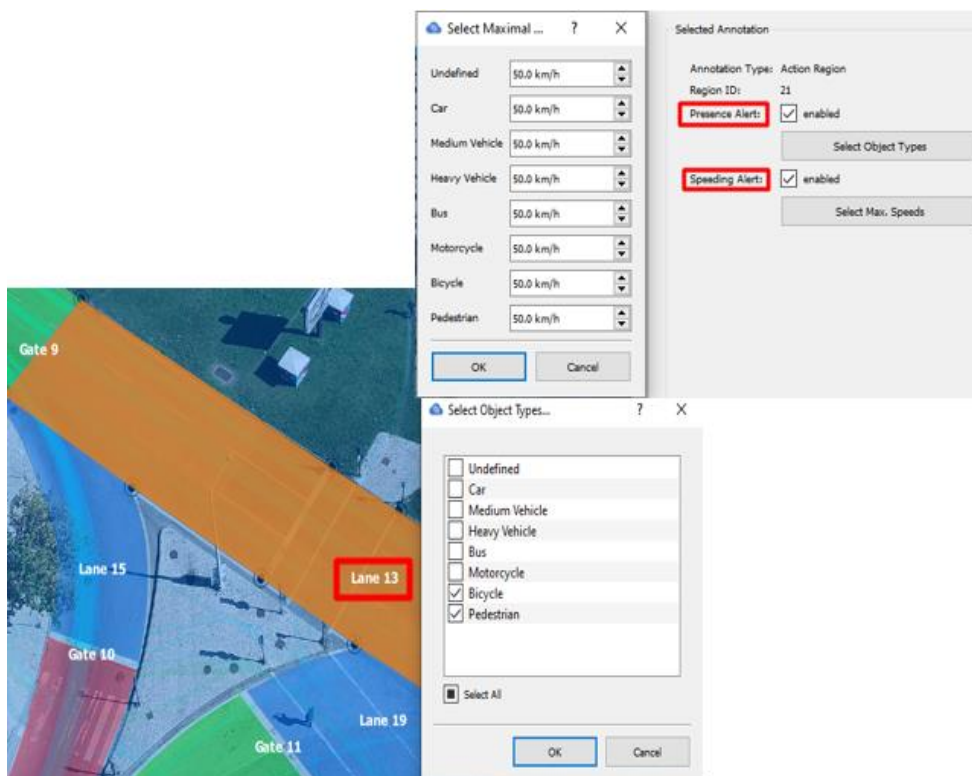


Figura 4.44 - Criação e opções de caracterização de uma *Action Region*.

A criação desta *Action Region* foi feita para verificar a velocidade dos veículos motorizados na Avenida Dr. Augusto de Castro, uma vez que há uma grande tendência para aumentar a velocidade e evitar o sinal vermelho. Devido à essa tendência optou-se também pela verificação de tráfego suave na zona e se tal acontece durante o fluxo do tráfego, podendo assim gerar risco de acidente.

Após a elaboração de todos os elementos que são responsáveis pelos resultados a serem fornecidos na análise do **Cenário 1**, a caracterização da interseção em estudo, quanto a presença desses elementos, fica com a aparência que pode ser observada a seguir, na figura 4.45.

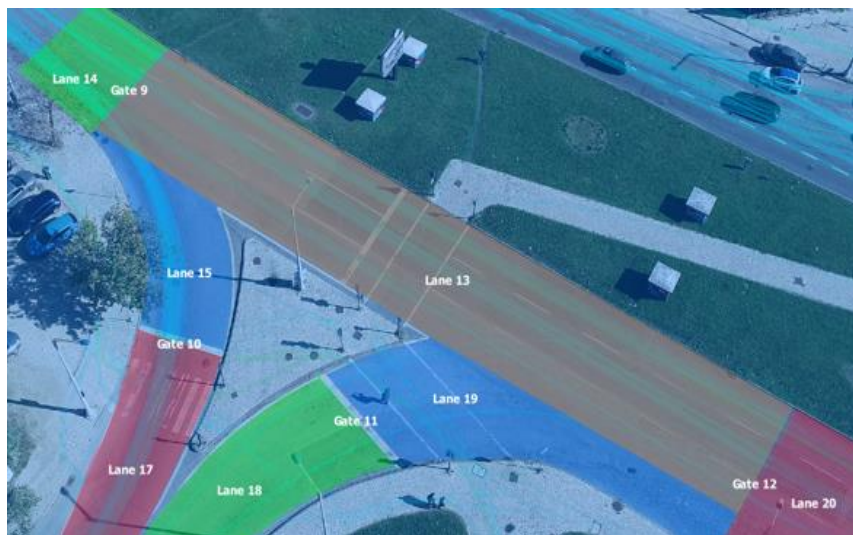


Figura 4.45 - Cenário 1 com todos os Gates, Lanes e Action Region necessários para análise do tráfego local.

O processo de criação desses elementos é denominado pelo *DataFromSky Viewer* como “*annotation*” e podem ser criadas várias “*annotation*” para cada cenário de estudo. Por fim basta apenas ativar a “*annotation*” que contenha as análises desejadas.

4.4.2.1.1 Resultados das análises do *DataFromSky*

Como já foi referido anteriormente, o *DataFromSky Viewer* disponibiliza uma lista vasta de opções de análises com interpretação avançada e visualização de dados de tráfego, capazes de medir características de fluxo em qualquer ponto ou região necessária, analisando todas as trajetórias naquele local. É válido destacar que as imagens têm início com o tráfego local em andamento e devido a esse detalhe é possível haver alguma dispersão entre os dados de entrada e saída da zona em estudo. A seguir são descritos alguns dos principais resultados que podem ser extraídos do *DataFromSky Viewer*.

Matriz O/D

Uma vez criada e ativada a “*annotation*” com as análises pretendidas para o **Cenário 1** a primeira informação extraída foi a matriz O/D da interseção. Essa matriz é construída tendo como base os Gates de entrada e os Gates de saída da interseção. Para o **Cenário 1** foi definido como “entrada” o *Gate 9* e o *Gate 11* e como “saída” o *Gate 10* e o *Gate 12*. Dessa forma a matriz O/D obtida é uma matriz quadrada (2x2), como é possível observar na figura 4.46 a seguir:

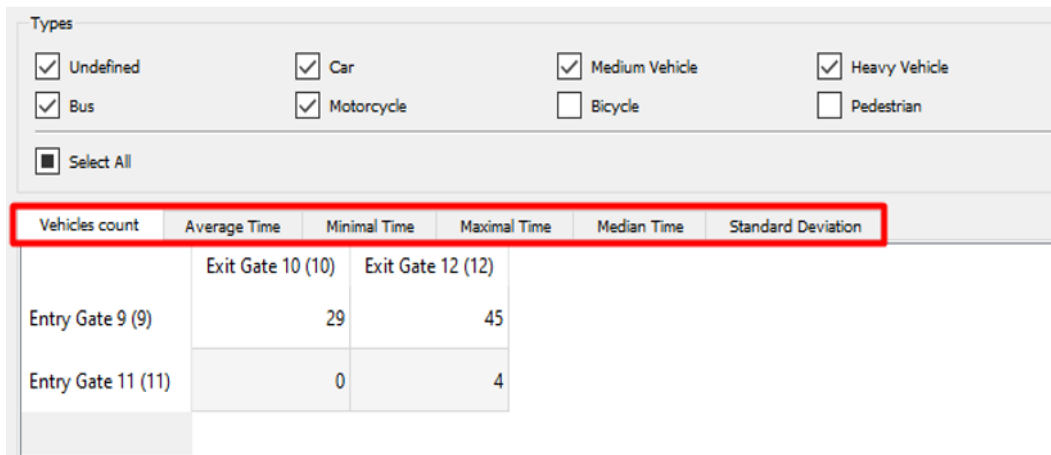


Figura 4.46 - Matriz O/D do cenário 1.

Como é possível perceber a matriz O/D fornecida pelo *DataFromSky Viewer*, além das informações quanto ao número de veículos, fornece também informações sobre o tempo de deslocamento dos mesmos. Ainda em relação a matriz O/D, é possível visualizar as informações do fluxo de forma gráfica, com todas as entradas e saídas ou com entradas e saídas específicas, conforme é apresentado no gráfico 4.5 apresentado a seguir:

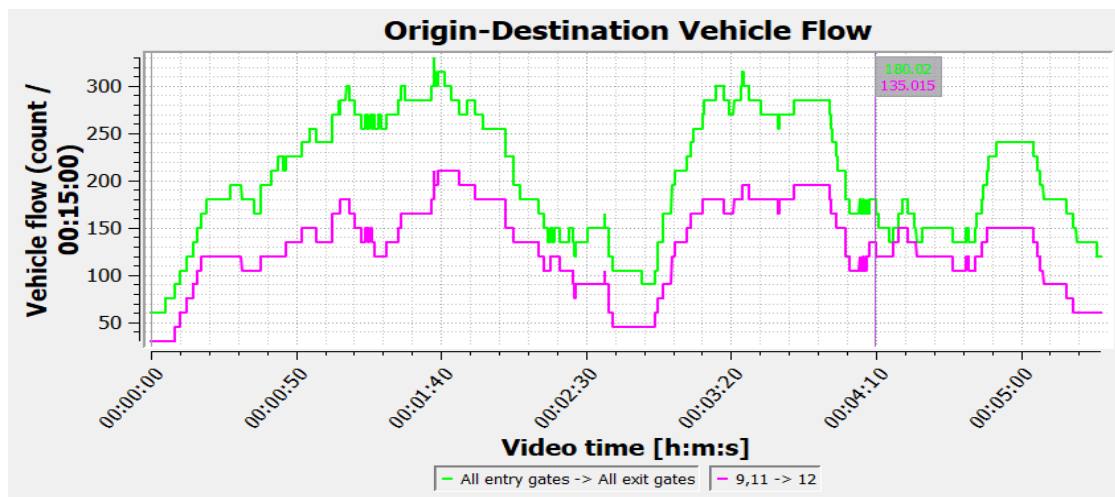


Gráfico 4.5 - Gráfico com valores de entradas e saídas de todos os Gates e com os valores das entradas nos Gates 9 e 11 e com saídas apenas no Gate 12.

Caracterização do tráfego

Como foi possível perceber, o *DataFromSky Viewer* disponibiliza toda informação necessária para descrever a entrada e a saída de cada veículo dentro da zona em estudo. Além dessa informação o software realiza uma caracterização completa do tráfego, com a classificação de cada veículo, junto com a velocidade e aceleração dos mesmos, na entrada e na saída da zona em estudo. Essas informações são apresentadas na tabela 4.18 a seguir.

Tabela 4.18 - Caracterização do tráfego presente no Cenário 1.

Survey report - Gate Statistics				
Cenário 1				
	Gate 9	Gate 11	Gate 10	Gate 12
Min speed [km/h]	6.08	11.48	7.67	46.70
Max speed [km/h]	47.31	18.59	40.26	160.74
Average speed [km/h]	26.02	15.95	25.50	102.58
Car count	63	4	23	45
Medium Vehicle count	10	0	5	5
Heavy Vehicle count	0	0	0	0
Bus count	1	0	1	0
Motorcycle count	0	0	0	0
Bicycle count	0	0	0	0
Pedestrian count	0	0	0	0
Number of all vehicles	74	4	29	50

Fonte: Elaboração própria.

Pelos valores apresentados na tabela 4.18 é possível perceber uma pequena diferença entre os valores de entrada na zona de estudo e os valores de saída da mesma, havendo 78 entradas e 79 saídas. Conforme mencionado, as análises realizadas com o *DataFromSky* estão sujeitas a essa dispersão, pois no “exato” momento que é dado início a recolha das imagens, os veículos que estiverem na zona de estudo serão contados apenas nos gates de saída e não vão aparecer nos gates de entrada.

Statistics Headway

Conforme já foi mencionado o *DataFromSky Viewer* disponibiliza análises do tipo *Headways* que fornecem o valor médio do intervalo de tempo entre os veículos que estão afastados por um certo período máximo de tempo (a ser determinado) (Overall), o desvio padrão deste valor (sigma - σ) e o número de eventos registados para o cálculo apresentado (num of samples). O período máximo a ser apresentado é necessário para que a análise *Headways* faça algum sentido e nesse caso foi definido um tempo de cinco segundos (tendo em conta a velocidade máxima permitida, é tempo suficiente para um veículo se deslocar aproximadamente 70m.), ou seja, os resultados vão apresentar informações referentes de forma específica dos veículos que estão a cinco segundos ou menos de distância. A figura 4.47 apresenta os resultados da análise *Headway* do **Cenário 1**, na totalidade do tráfego geral e dividida por *Gates*.

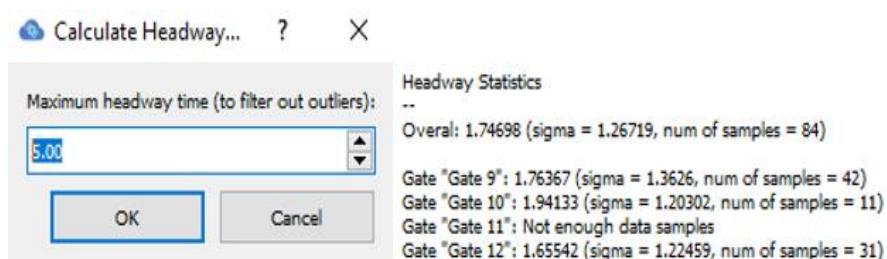


Figura 4.47 – Resultados da análise Headway do Cenário 1 para o tempo máximo de 5 segundos.

Velocidade máxima e alerta de presença

Conforme já foi mencionado, a elaboração de uma *Action Region* permite gerar alertas quanto à velocidade máxima ou presença de um determinado objeto indesejado, consoante a sua configuração. Para o **Cenário 1** foi criada uma *Action Region* na Av. Dr. Augusto de Castro com a finalidade de verificar a velocidade dos veículos motorizados nessa Avenida, uma vez que há uma grande tendência para aumentar a velocidade, na tentativa de evitar o sinal vermelho, e por essa tendência optou-se também pela verificação do tráfego suave na zona e assim estudar o comportamento desse grupo de utentes, se estes, em junção com o comportamento dos condutores, apresentam ou não algum potencial para gerar acidente.

No que diz respeito a verificação da velocidade máxima, foi possível perceber esse comportamento inviável em vários condutores, sendo possível registar o máximo de quatro condutores excedendo o limite ao mesmo tempo, inclusive o dobro da velocidade, como é apresentado na figura 4.48 a seguir:



Figura 4.48 - Alerta de velocidade máxima na *Action Region*.

Em relação ao tráfego suave na *Action Region*, verificou-se um funcionamento eficaz, alertando a presença de peões e ciclistas nessa região e no que diz respeito ao comportamento desses utentes, não foi verificado nenhum comportamento que apresente algum potencial para gerar acidente. A figura 4.49, apresentada a seguir, demonstra um alerta da *Action Region* devido a presença de um peão:



Figura 4.49 - Alerta de velocidade máxima na *Action Region*.

Mapas de calor

O *DataFromSky Viewer* disponibiliza mapas de calor para diferentes opções: tempo de espera, aceleração, densidade dos objetos, entre muitas outras opções que estão ligadas ao comportamento dos utentes presentes na rede viária em que se desenvolve o estudo. Para o **Cenário 1** foi proveitoso poder observar o mapa de calor gerado com base na velocidade dos veículos, o que reforçou as informações apresentadas pela *Action Region*, no que diz respeito ao excesso de velocidade, como é possível observar na figura 4.50 a seguir:

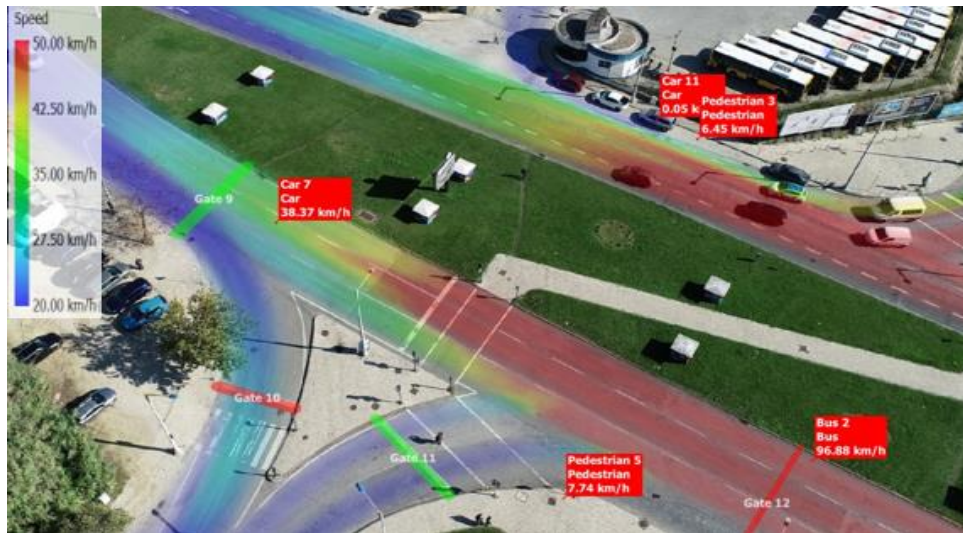


Figura 4.50 - Mapa de calor gerado com base na velocidade dos veículos.

Zonas de travagem

As *Zonas de travagem* são obtidas em função da deteção de desaceleração rápida, usada para apontar colisões ou situações com risco em potencial. O conflito detetado é representado em forma de uma linha que deixa explícito o caminho e a direção onde a desaceleração do veículo ultrapassou o valor limite. A cor da linha, mais ou menos escura, representa a intensidade da desaceleração.

Para o a interseção do **Cenário 1** não foi observada nenhuma zona com potencial alarmante de travagem, porém, na parte superior da gravação, apesar de não ser a interseção em estudo, é possível observar um número elevado de linhas representantes de fortes desacelerações. Subentende-se que as ocorrências das mesmas são originadas devido ao facto de esta ser uma zona de divergência do tráfego e, de forma repentina os condutores, correntemente, se aperceberem que, para o destino pretendido, eles estão mal posicionados e decidem mudar de direção de forma repentina, atravessando inclusive uma linha continua. A ocorrência desse comportamento é demonstrado na figura 4.51 a seguir:



Figura 4.51 - Zona de travagem com potencial alarmante.

4.4.2.2 Modelo Vissim

Conforme mencionado anteriormente, os modelos elaborados com recurso ao software Vissim, permitem grande potencial para efetuar análises muito detalhadas, inclusive da estrutura da rede viária, nas unidades motorizadas, nos peões e no comportamento de todos estes agentes. Para o estudo em questão, observando a figura 4.51, é possível identificar a semelhança presente a nível estrutural entre o modelo (1) e a zona real em estudo (2):



Figura 4.52 - Semelhança a nível estrutural entre o modelo (1) e a zona real em estudo (2).

Em relação ao comportamento dos utilizadores da rede viária, bem como das infraestruturas e da envolvente que estão presentes no modelo, com algum nível de empenho e dedicação, também é possível “calibrá-los”, de forma a se alcançar um nível de modelação de excelência, o que transmite uma maior fiabilidade ao público-alvo, para o qual o modelo foi elaborado, durante a apresentação do mesmo.

No caso do modelo desenvolvido para representar o **Cenário 1**, houve alguns pontos que exigiram um maior nível de dedicação, nomeadamente o grau de exigência na representação dos edifícios locais, a variedade urbanística e a alternância das zonas pedonais. No que diz respeito ao tráfego local, este também exigiu elevado nível de empenho, uma vez o mesmo apresentava algumas características de carácter ímpar e que obrigatoriamente precisam ser apontadas no modelo, como a falta de compromisso com a segurança, por parte dos condutores na zona com grande potencial de travagem (figura 4.51), por exemplo.

Além das características do tráfego que foram observadas, o modelo desenvolvido em Vissim contou também com alguns dos resultados fornecidos pelo *DataFromSky Viewer*, nomeadamente a matriz O/D e uma estimativa da velocidade média do tráfego, que foi obtida recorrendo aos dados de entrada e saída de cada veículo da zona em estudo. Todavia, algumas informações não foram possíveis recolher de forma exata e, possivelmente, fizeram diferença nos resultados extraídos do Vissim, como por exemplo os tempos de verde e vermelho nos semáforos entre a Av. Dr. Augusto de Castro e o fim da Rua Concelheiro Emídio Navarro.

Outro ponto a ter em atenção é que os resultados obtidos, são originados das imagens do vídeo e estas têm uma duração de aproximadamente cinco minutos e meio, porém, as informações a introduzir no Vissim devem ser incluídas tendo em conta uma duração de sessenta minutos e por esse motivo, no que diz respeito ao carácter

quantitativo do tráfego, os valores que foram introduzidos no modelo são, aproximadamente, doze vezes maiores do que os valores retirados do *DataFromSky Viewer*.

Construção do modelo Vissim

Antes de apresentar os resultados extraídos do modelo desenvolvido no Vissim, para representar o **Cenário 1**, convém apresentar alguns conceitos básicos acerca dos principais passos de desenvolvimento de um modelo com software Vissim; conhecer a sua interface gráfica e saber alimentar o modelo, tanto de forma quantitativa como de forma qualitativa, e é isso que veremos nos parágrafos seguintes.

Começando por apresentar a interface gráfica do Vissim, ela é bem semelhante a que já foi apresentada anteriormente, no **Trabalho 2**. A mesma é composta por uma Barra de título, Barra de menu, Barra de ferramentas, Network Editor, Network Objetos, Listas, Quick View, Smart Map e Barra de status. Além da interface gráfica, o passo inicial também é idêntico ao do Visum, após habilitar o *Toggle background maps no Network Editor*, basta recorrer ao *Zoom In* e localizar a região desejada.

Após se localizar na zona desejada, o passo seguinte é iniciar a modelação da estrutura viária existente. Como ponto de partida, essa etapa tem início com base no mapa apresentado e por fim, após se encontrar numa fase mais avançada, é possível desligar o mapa e dar continuidade à modelação sem a necessidade do mesmo. Essas fases são apresentadas a seguir na figura 4.53:



Figura 4.53 - Modelação da rodovia (Link) com auxílio do maps no Network (1) e sem auxílio do maps (2).

De acordo os *links* vão sendo construídos, incluindo os passeios, as rotundas e os demais elementos presentes na rede viária, o modelo começa a tomar sua forma particular e ser capaz de representar a zona em estudo, faltando apenas a presença dos utilizadores para poderem usufruir dessa rede viária e das suas características. Na figura 4.54 é possível observar o quadro com as características de criação de um link:

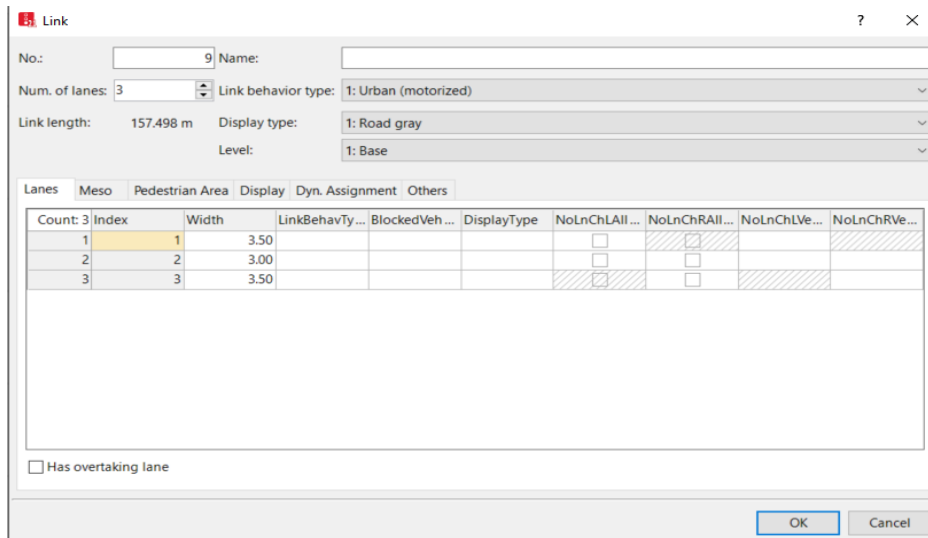


Figura 4.54 - Opções de características do link a ser criado.

A fase de alimentação desses links com os utilizadores não exige grande conhecimento, mas depende de uma interação entre duas etapas distintas, onde a primeira é a criação de uma composição de veículos, ou fluxo relativo, que é planeado para um determinado débito de um link específico ou então para toda rede viária. A seguir, esse fluxo é atribuído aos links onde ele deve atuar, por exemplo: a criação de fluxo exclusivo apenas com peões para ser atribuído a um link que representa uma calçada, como é possível observar na figura 4.55 apresentada a seguir, com a atribuição do fluxo “pedestre” ao link 82, que representa uma calçada:

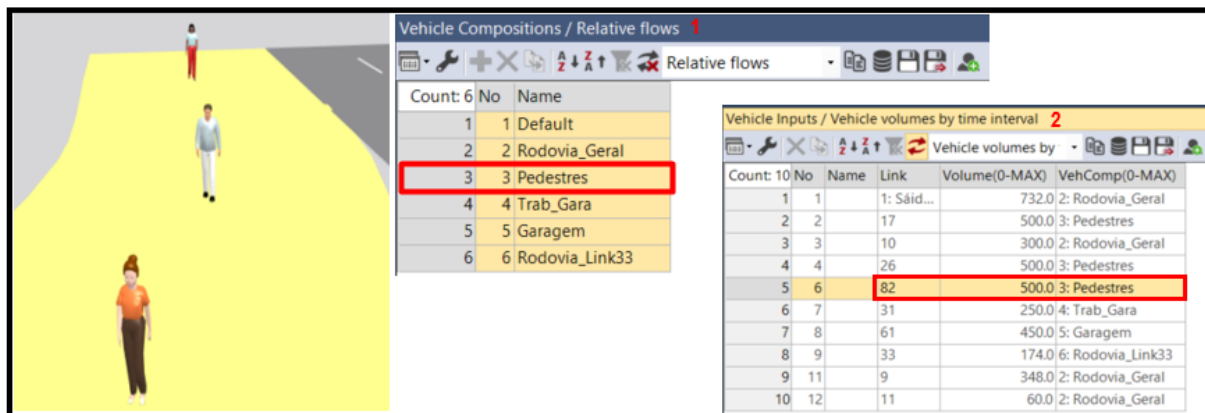


Figura 4.55 - atribuição do fluxo “pedestre” ao link 82.

No quadro “2” da figura 4.55, na coluna “Volume (0-MAX)”, é introduzido o volume que vai estar presente no tráfego daquele link e nesse ponto convém lembrar que o Vissim sempre deve ser alimentado tendo em conta o período de uma hora. No caso do presente modelo, os valores que o alimentaram foram extraídos do *DataFromSky Viewer*, sendo que após essa extração houve a necessidade de um reajuste dos valores para o período de uma hora, como já foi mencionado anteriormente. A figura 4.56 ilustra os valores obtidos com recurso ao *DataFromSky Viewer*, assim como o tratamento dos mesmos para serem devidamente introduzidos no Vissim.

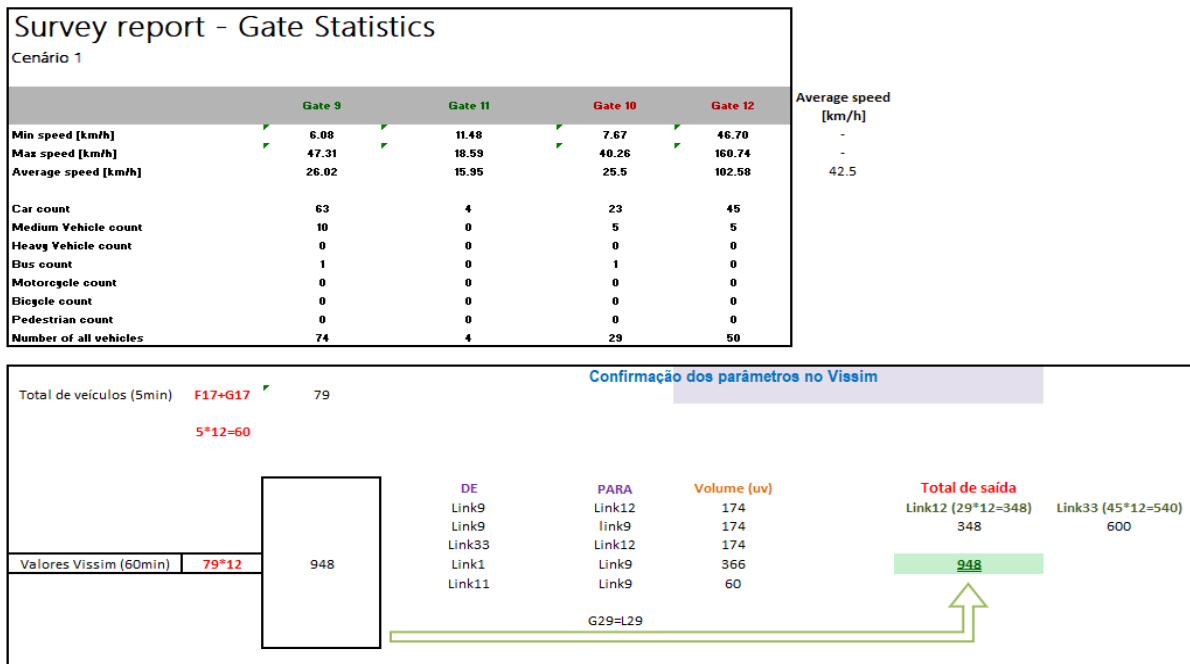


Figura 4.56 – Dados retirados do DataFromSky Viewer para serem adaptados e posteriormente alimentarem o modelo Vissim.

No que diz respeito ao tráfego, tendo os volumes já inseridos nos links, fica em falta apenas a definição das prioridades nas sobreposições de rotas, a definição dos grupos semafóricos e por fim a definição dos percursos de distribuição do volume de tráfego. Na imagem 4.57 apresentada a seguir é possível observar a presença desses elementos (prioridades nas sobreposições no retângulo laranja, o grupo semafórico no retângulo vermelho e por fim a definição das rotas de distribuição do tráfego no retângulo azul).

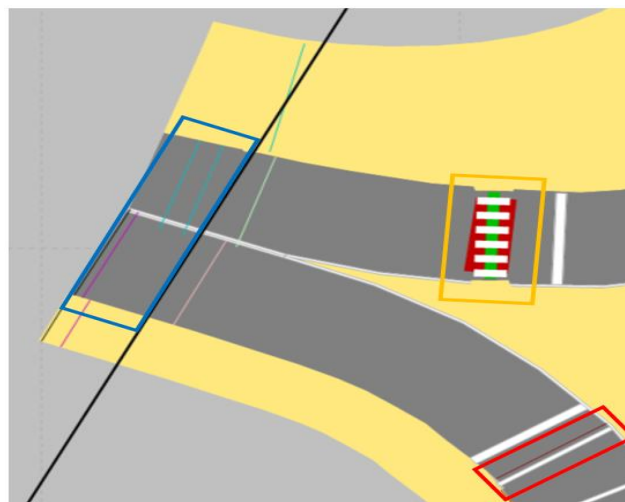


Figura 4.57 - Definição das prioridades nas rotas, dos grupos semafóricos e das rotas de distribuição do volume de tráfego.

A última etapa na definição dos modelos corresponde aos elementos responsáveis por extrair informações referentes ao tráfego local que foi desenvolvido durante o processo de simulação do modelo. Para esse estudo foi empregue um “Nodes”, para obtenção dos níveis de serviço, e “Vehicle Travel Times”, para indicação do tempo de viagem, da distância percorrida e número de veículos em cada movimento (matriz O/D).

Com a finalização de todos esses processos de construção da rede viária: elaboração das tipologias de tráfego a serem empregues, afetação dos seus veículos em seus devidos links, definição das zonas conflituantes

da rede viária e as prioridades, distribuição dos volumes de tráfego, calibração dos grupos semafóricos e a implantação dos elementos de modelação responsáveis pela extração dos resultados; por fim, a aparência final que é obtida devido a presença de todos esses elementos na rede viária referente ao **Cenário 1** e da sua envolvente fica com o aspeto que se apresenta na figura 4.58 a seguir:



Figura 4.58 - Aparência final obtida devido a presença de todos esses elementos na rede viária referente ao Cenário 1

Em relação as características dos objetos tridimensionais empregues durante a construção do modelo, estes trazem grande enriquecimento ao nível estético do mesmo, além de transmitirem um maior nível de fiabilidade nas apresentações, isto é, quando desenvolvidos com algum nível de rigor. Na imagem 4.59, que aparece a seguir, é possível observar o Edifício Ferreira Cardoso, situado no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.



Figura 4.59 - Edifício Ferreira Cardoso, situado no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (Amaral, 2015).

Comportamento do tráfego

No que diz respeito ao comportamento do tráfego observado nas análises desenvolvidas com recurso ao *DataFromSky Viewer*, foi possível destacar duas características marcantes do comportamento dos utentes daquela rede viária, ambas ligadas as informações fornecidas pela *Action Region*: a primeira está ligada ao tráfego

rodoviário, sendo a zona com grande potencial de travagens, apresentada na figura 4.51; a segunda diz respeito ao tráfego pedonal, na travessia dos peões, de forma harmoniosa com transito local, pela Av. Dr. Augusto de Castro.

Em relação ao primeiro caso, foi possível reproduzir esse comportamento do tráfego local recorrendo à opção de “Conflict Areas”. Essa opção permite que, em links sobrepostos, a prioridade de passagem seja atribuída a um deles e dessa forma, durante o processo de simulação, quando duas viaturas estiverem transitando nessa zona as viaturas que se encontrarem no caminho prioritário segue em frente e a outra seda a passagem. A definição da “Conflict Areas” e a reprodução do tráfego nessa zona é apresentada na imagem 4.60 a seguir:

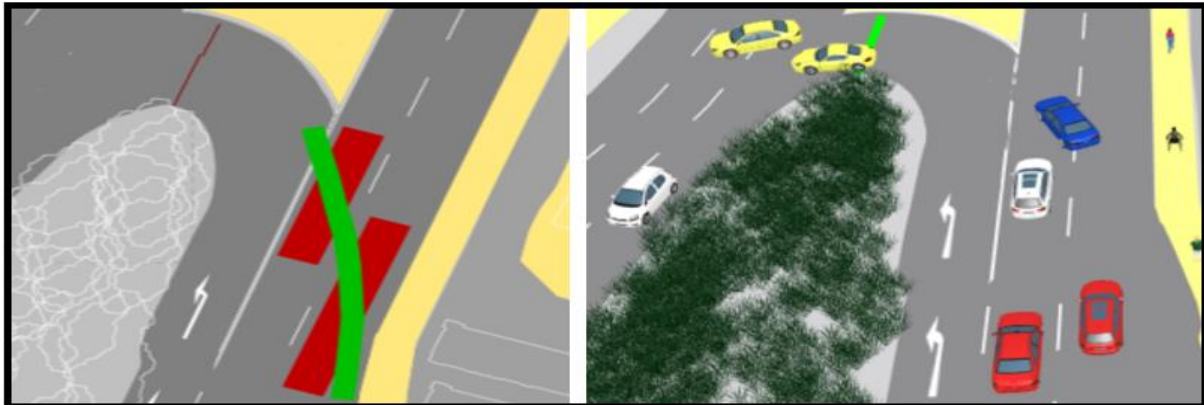


Figura 4.60 - Definição da “Conflict Areas” e a reprodução do tráfego nessa zona.

Já no caso do tráfego pedonal, a característica apresentada em destaque foi alcançada junto com uma programação eficaz de comportamento do grupo semafórico. A caracterização do comportamento dos semáforos é desenvolvida no “Signal Control”, nessa opção é possível escolher o grupo semafórico que será empregue assim como o comportamento do mesmo quanto ao período de duração de cada sinal. Na figura 4.61 é apresentado o processo de edição do “Signal Control”.

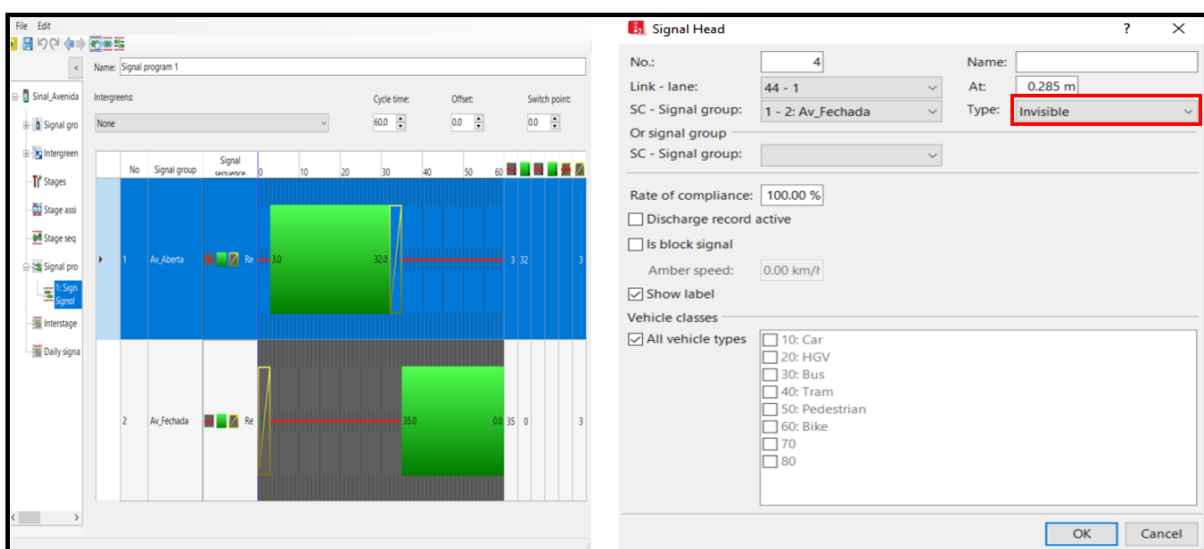


Figura 4.61 - Processo de edição do Signal Control.

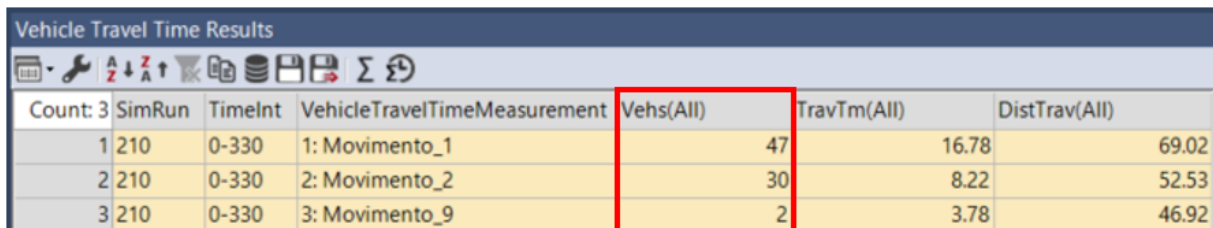
4.4.2.2.1 Resultados extraídos do Vissim

Em relação aos resultados extraídos do modelo desenvolvido no Vissim foi possível retirar informações relacionadas com o desempenho da estrutura viária em relação à procura tráfego local, como é o caso do Nível de Serviço, entre outras. Outro ponto de grande interesse foi poder comparar os resultados da matriz O/D extraída do *DataFromSky Viewer*, com a matriz fornecida pelo Vissim, que se trata do primeiro resultado apresentado a seguir.

Comparação da matriz O/D Vissim com a matriz O/D do DataFromSky Viewer

De acordo com o que já foi descrito anteriormente, as características quantitativas do fluxo introduzido no Vissim foram extraídas do *DataFromSky Viewer*, o que não quer dizer que os resultados extraídos sejam obrigatoriamente iguais. Conforme já mencionado, o processo de modelação de tráfego rodoviária engloba muitas variáveis características de cada software e qualquer procedimento desenvolvido de forma incoerente durante a modelação pode gerar resultados incoerentes com o que é expectável para aquele modelo.

O Vissim, com recurso ao *Vehicle Travel Times*, fornece os resultados de matrizes O/D para estudos em interseções, como é o caso presente, junto com o tempo de deslocação dos mesmos e as distâncias percorridas. Na figura 4.62 é possível observar os valores extraídos do Vissim representados pelos movimentos "1", "2" e "9", conforme foi demonstrado na figura na figura 4.40, na apresentação do Cenário 1 que se encontra, de acordo com a figura 2.4, com a definição dos movimentos em uma interseção:



Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	210	0-330	1: Movimento_1	47	16.78	69.02
2	210	0-330	2: Movimento_2	30	8.22	52.53
3	210	0-330	3: Movimento_9	2	3.78	46.92

Figura 4.62 - Valores da matriz O/D extraídos do Vissim.

Na tabela 4.19 apresentada a seguir é possível observar a comparação direta dos valores fornecidos por cada um dos softwares:

Tabela 4.19 Comparação dos valores obtidos para matriz O/D entre o *DataFromSky Viewer* e o Vissim.

<i>DataFromSky Viewer</i>	Resultados	Vissim	Resultados
Gate 9 – Gate 12	45	Movimento_1	47
Gate 9 – Gate 10	29	Movimento_2	30
Gate 11 – Gate 12	4	Movimento_9	2

Fonte: Elaboração própria.

Como é possível perceber na tabela 4.16, a dispersão de resultados fornecidos pelos dois softwares é muito pequena, variando entre 1 ou 2 carros. Possivelmente a falta de precisão quanto ao funcionamento do grupo semafórico pode ser o motivador dessa dispersão, essa ideia é embasada no fato dos resultados do Vissim terem sobrepostos o *DataFromSky Viewer* duas vezes na mesma origem, o que indica que o tempo de semáforo aberto

pode ter sido um pouco maior e consequentemente o tempo de semáforo aberto para a outra origem passa a ser menor, o que leva a obter um resultado menor, que é o que de fato acontece.

Níveis de serviço

Como se sabe, o Nível de Serviço de uma rede viária é um ótimo indicador da qualidade do tráfego que se encontra nessa zona, em questões como a segurança, a comodidade, demoras e paragens, velocidade (ou tempo) de percurso, restrições à liberdade de manobra dos condutores, custo, entre outras características expectáveis de um dimensionamento eficaz da infraestrutura que tende a garantir boas condições de escoamento para uma determinada rede viária.

Com recurso ao comando “Node” de onde é possível extrair muitas informações referentes ao modelo em estudo, todavia o **Cenário 1**, foi desenvolvido também no *DataFromSky Viewer*, de onde foi extraída todas as informações que alimentaram o modelo Vissim e dessa forma a maioria das informações não faz muito sentido aqui, o que não é o caso dos Níveis de serviço, que são interessantes mesmo se tratando de uma simples interseção.

No caso dos níveis de serviço, o Vissim apresenta os resultados descrevendo os movimentos desenvolvidos entre os *links*. O movimento caracterizado no relatório como “1” é o movimento de origem e fim no link 9, que aparece na primeira linha da coluna “Movement”, o “2” tem origem no link 9 e termina no 12 e o movimento “9” tem origem no link 11 e seu destino é o link 12. Na figura 4.63, apresentada a seguir, é possível observar os níveis de serviço retirados do Vissim:

Count	9	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	QLenMax	Vehs(All)	Pers(All)	LOS(All)
1	205	0-330		1: Cenario_1 - 9@67.0 - 9@138.7	5.47	37.67	47	47	LOS_C
2	205	0-330		1: Cenario_1 - 9@67.0 - 12@28.4	1.54	25.62	27	27	LOS_B
3	205	0-330		1: Cenario_1 - 11@4.0 - 9@138.7	0.00	0.00	2	2	LOS_A

Figura 4.63 - Níveis de serviço retirados do Vissim.

Com base nas definições apresentadas anteriormente sobre os Níveis de serviço, é possível observar, como já era expectável, que o troço com tráfego mais intenso corresponde ao movimento 1 (link 9 – link9), com um nível de serviço C, ou seja, a influência da densidade do tráfego é marcante e a possibilidade de manobra dentro da corrente de tráfego é afetada pela presença de outros veículos. Já os outros dois movimentos, “1” e “2”, presentes na interseção, apresentam grande qualidade, situando-se nos níveis A e B respetivamente, de acordo com a figura 4.63.

4.4.3 CENÁRIO 2

A localização escolhida para ser apresentada no **Cenário 2** se trata de uma interseção giratória que se encontra no Bairro das Amendoeiras em Lisboa, Portugal. A interseção é originada do encontro entre a Av. Marechal António de Spínola, a Av. Infante Dom Henrique e a Rua Armandinho. Na figura 4.64, apresentada a seguir, é possível ter uma referência da sua localização e observar uma vista em planta da mesma.



Figura 4.64 - Localização Cenário 2.

Fonte: Google Earth Pro.

Conforme já foi mencionado anteriormente, no segundo cenário são repetidas as técnicas de recolha com recurso a drone e ao sistema de IA, porém com a duração de uma hora, representando a HP que está presente dentro dos períodos de recolha. A desenvoltura dessa recolha implica na necessidade de 5 voos com drone, com duração entre 11 e 13 minutos de cada voo, uma vez que as baterias normais não suportaram mais tempo. Esse fator teve grande influência nos resultados finais desse estudo, conforme é possível verificar mais à frente.

Uma vez apresentada a interseção escolhida para o **Cenário 2** e identificado o tempo de recolha das imagens, o passo seguinte será a definição dos movimentos possíveis. Devido ao caso apresentado para estudo não se tratar de uma interseção prioritária não são definidos os movimentos com e sem prioridade. Na figura 4.65 é possível observar os movimentos possíveis do **Cenário 2**

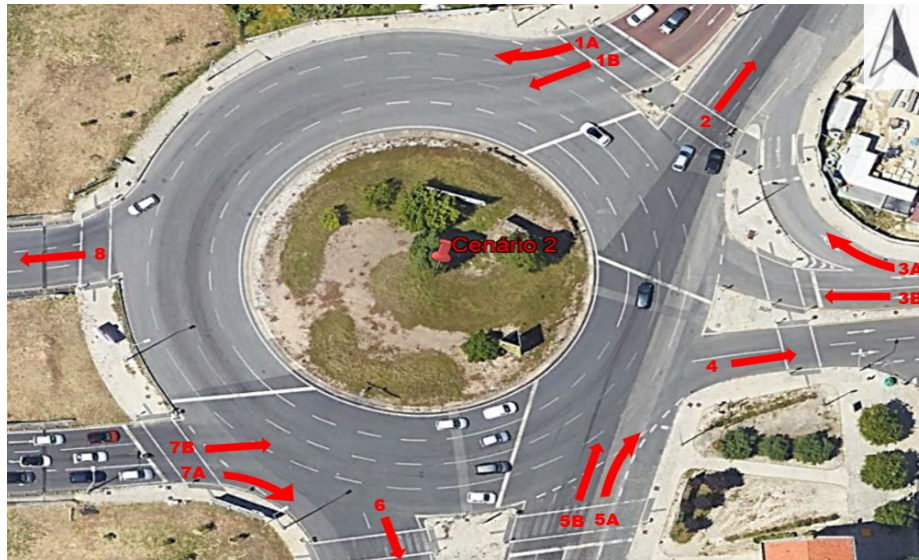


Figura 4.65 - Definição dos movimentos do Cenário 2.

Fonte: Google Earth Pro.

4.4.3.1 Análises do DataFromSky Viewer

Conforme foi apresentado no ponto 4.4.1.2, o primeiro passo a ser desenvolvido no DataFromSky, uma vez recolhida as imagens, é a fase de submissão do ficheiro de vídeo na plataforma da DataFromSky para tratamento das imagens no processo de identificação e vectorização e assim ser possível compatibilizar o vídeo com o software de leitura das imagens: o *DataFromSky Viewer*. Nessa fase foi possível identificar uma primeira anomalia: foram necessárias 3 submissões para efetivar essa etapa, sendo que, devido ao tamanho do ficheiro ser maior do que o que foi utilizado no **Cenário 1**, o período de submissão também é maior, levando cerca de 2 a 3 horas até receber a resposta por email com a nova versão do documento.

Uma vez vencida essa etapa o passo seguinte, a fase de georreferenciamento das imagens, não foi menos turbulento. Conforme descrito no ponto 4.4.1.3 e apresentado na figura 4.38, habitualmente essa etapa é desenvolvida apresentando as coordenadas reais de quatro pontos da localidade em estudo, todavia, após várias tentativas, está etapa pode ser concluída com o georreferenciamento, não de quatro, mas sim de oito pontos. Na figura 4.66 é apresentada fase de georreferenciamento do Cenário 2.

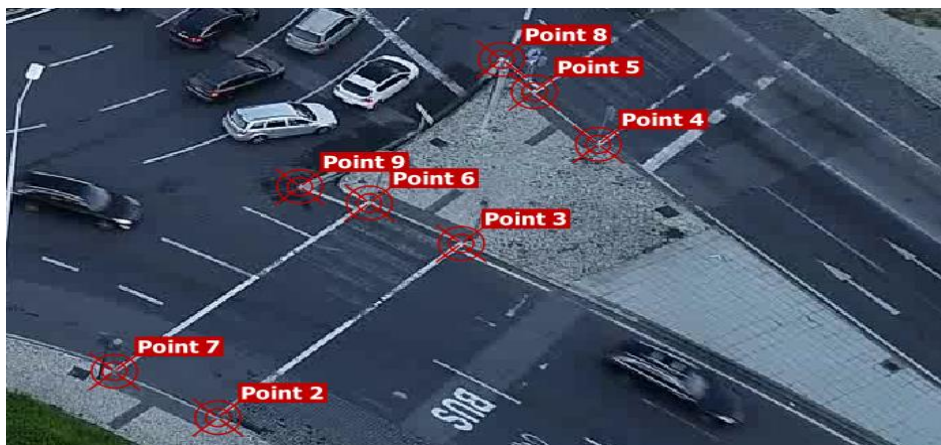


Figura 4.66 – Georreferenciamento do cenário 2.

Com o georreferenciamento e as anotações do **Cenário 2** concluídas, é possível realizar as primeiras análises disponíveis no *DataFromSky Viewer*, e aqui, mais uma vez, foi identificada mais uma incoerência: a contagem dos veículos. Na figura 4.67, do lado esquerdo é possível observar o veículo de Id 488 e do lado direito, nos resultados externados pelo *DataFromSky Viewer*, é apresentado o total de 269 veículos, o que permitiu concluir, de forma efetiva, que havia algo de errado.

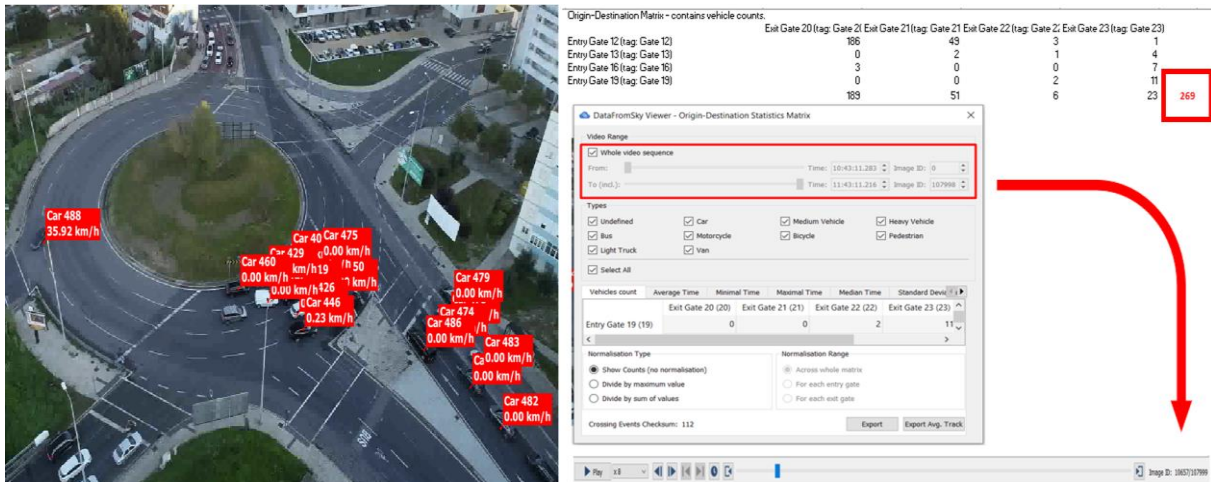


Figura 4.67 - Incoerências na contagem realizada pelo *DataFromSky Viewer*.

Na busca para solucionar essas questões optou-se por verificar novamente as anotações do **Cenário 2**, para verificar se havia algo de errado na edição dos “*Gates*” ou das “*Lanes*” e aqui, mais uma vez, foi identificado outra anomalia: as anotações não permaneciam no posicionamento original que foi estabelecido. Isso se repetiu várias vezes depois de repetir, insistentemente, o processo das anotações. É possível observar esse defeito na figura 4.68.



Figura 4.68 - Incoerência entre a edição e o posicionamento das anotações.

Por fim foi possível desvendar os mistérios que estavam se passando nesse estudo e que não permitiam a conclusão do mesmo. Recorrendo a análise das *Zonas de Travagem*, em diferentes períodos da visualização da filmagem, foi possível identificar que a variação do posicionamento não era das anotações mas sim do vídeo. É possível observar essa valiosa informação na figura 4.69, tendo bastante atenção na localização da marca “BUS” que aparece no pavimento referente ao movimento 6.

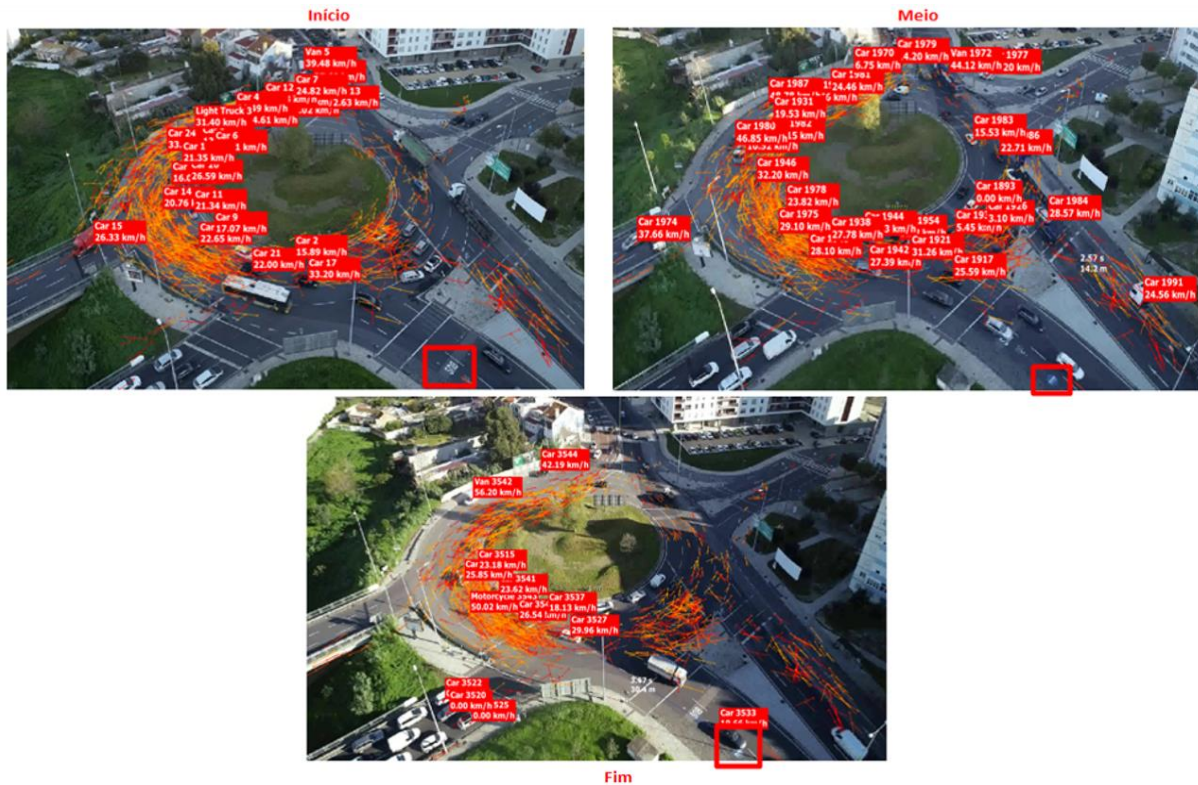


Figura 4.69 - Variação no posicionamento da marca "BUS" presente no pavimento.

Com a identificação dessa anomalia foi rapidamente possível identificar o motivador do problema: uma vez que as imagens foram obtidas a partir de vários voos realizados pelo drone, e por mais que na tela de controle do mesmo apareça vários pontos de referência, para identificar a localização exata da posição em que se está realizando a filmagem, é impossível que ângulo de captura do drone seja sempre o mesmo e a mínima diferença na posição implica em alterações bem perceptíveis nas imagens.

4.4.3.1.1 Soluções propostas

Uma vez identificada essa problemática do **Cenário 2**, foram estudadas, de forma superficial, algumas alternativas que fossem capazes de resolver esse impasse no processo de recolha das imagens e permitir a continuidade no processo de recolha das imagens e dessa forma efetivar o tratamento de dados, recorrendo a IA.

Uma das alternativas encontradas foi o sistema de "drone amarrado", disponibilizado pela empresa DataFromSky. Esse sistema permite que ao drone um voo sem limite de tempo, devido o mesmo ser alimentado através de um cabo que o mantém ligado a uma base. Esse cabo limita a altitude máxima de 70 metros. Na imagem 4.70, apresentada a seguir, é possível observar o sistema de "drone amarrado" da DataFromSky:



Figura 4.70 - Sistema de "drone amarrado" (datafromsky, 2022).

Outra solução possível, porém inviável por questões de tempo, seria a sobreposição de drones durante a captura. Isso iria permitir que os valores externados pelo DataFromSky fossem sobrepostos e assim obter uma linha contínua nos valores das contagens. Por outro lado, na edição das anotações seria necessário múltiplos processos, consoante a quantidade de voos necessários para o período de recolha, além do processo de edição para sobrepor os valores das contagens. A figura 4.71 demonstra uma sobreposição na captura de imagens, recorrendo a drones.



Figura 4.71 - sobreposição na captura de imagens, recorrendo a drones (datafromsky, 2022).

4.4.3.2 Modelo Vissim

Uma vez que foi impossível dar continuidade no processo de tratamento dos dados através do *DataFromSky Viewer*, não houve possibilidade de continuar o estudo e alimentar o modelo em Vissim para desenvolver simulações. Porém, uma vez que o modelo já se encontra praticamente finalizado, o mesmo é

apresentado, de dois ângulos diferentes, na figura 4.72 a seguir, permitindo uma comparação do modelo em Vissim com o cenário real de estudo:



Figura 4.72 - Comparação do modelo Vissim com o cenário real.

Fonte: Google Earth Pro.

4.5 Avaliação Global do Estágio

De forma generalizada, essa experiência de estágio se demonstrou muito produtiva e proveitosa por ter tido a oportunidade, não só de desenvolver, mas também de conseguir perceber como são extraídas as informações primárias a respeito das contagens que são indispensáveis para a elaboração dos estudos de tráfego, a nível profissional, dentro da engenharia de tráfego.

Entre alguns pontos, esse benefício pode ser exemplificado no grande proveito de poder observar a distinção que se faz presente nos estudos desenvolvidos a nível profissional com as atividades que são elaboradas de acordo com a realidade e a disponibilidade da vida acadêmica, na área da engenharia de transportes. Um exemplo que pode ser citado foi a elaboração do modelo Base_Tratamento_Dados_Contgens,

O conhecimento em si de ambas as realidades (vida profissional x mundo acadêmico) não se apresentam distantes uma da outra, todavia, ter contado com a realidade profissional permitiu observar e ter uma noção de pontos que são de grande viabilidade na fase final da vida acadêmica, como por exemplo: como funciona esse mercado, quais são as suas tendências, quem são os Stakeholder, entre outros.

Outro ponto que permitiu obter grande evolução, e está mais presente na realidade do título proposto para o documento, foi a possibilidade de poder acompanhar de perto como os modelos de análise de tráfego são

desenvolvidos, como são empregues e quando devem e não devem ser empregues, de forma a de fato alcançar o principal objetivo dos mesmos: contribuir para o estudo de um sistema (sendo este real ou não).

A materialização desse período de estágio nos dois trabalhos principais desenvolvidos nesse relatório forneceu uma perceção clara da distinção e da sequência lógica da utilização dos dados primários referentes ao tratamento das contagens de tráfego realizadas no primeiro trabalho e como as zonas das contagens são apresentadas nessa fase posterior, na concretização dos modelos e a elaboração dos relatórios. Em comparação do primeiro com este o segundo trabalho apresenta características mais objetivas e específicas, representando a fase final de um estudo da modelação desenvolvida.

Outro ponto de destaque foi poder analisar a apresentação dos resultados dos estudos desenvolvidos no âmbito da engenharia de tráfego e estruturados na forma de relatório, contendo essas informações de forma coerente e sequencial, e como a elaboração de cada um deles traz com os mesmos as suas especificidades que se fazem presentes durante a fase de cada etapa.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS SUBSEQUENTES

5.1 Conclusões

Com base nos resultados obtidos no desenvolvimento dos trabalhos executados durante o período do estágio académico conclui-se que foram alcançados os objetivos expectáveis sobre o estudo e aplicação dos modelos de análise de tráfego em ambiente real, assim como sobre o enquadramento e o estudo da viabilidade das recolhas de dados com uso de drones.

É possível perceber a tendência para cada vez mais se recorrer a utilização dos modelos de tráfego rodoviário durante o desenvolvimento deste tipo de estudos. Além do fato de ser uma consequência cronológica dos desenvolvimentos da engenharia computacional e da transição digital, os mesmos permitem aumentar a viabilidade dos estudos, sendo ferramentas fundamentais para fazer a simulação da escala real de funcionamento destes sistemas complexos, permitindo a comparação e avaliação das soluções possíveis.

A característica marcante dos modelos de conseguirem desenvolver e analisar um sistema, independente da sua existência ou não, tende a ser um ponto de grande importância, como foi ilustrado com o desenvolvimento do segundo trabalho, por exemplo. O emprego do Visum e das potencialidades de análise macroscópica é indispensável para prever estimativas de débitos futuros, níveis de serviço, matrizes O/D, entre outras informações desejadas sobre o ano horizonte dos projetos.

Outro ponto que proporcionou noções importantes sobre o emprego dos modelos está relacionado com a forma de obtenção dos dados que os alimentam. Correntemente ainda são empregues, na grande maioria, as contagens manuais, recorrendo a equipas de pessoas especificamente preparadas para essa função. Todavia, a recolha de dados com recurso a drone e o tratamento das imagens por extração de características do tráfego, como: contagem e classificação dos veículos, velocidades excessivas, utentes em zonas indesejadas, entre outras informações, permite recolher uma grande quantidade de informação de forma automática, recorrendo a sistemas IA, como é o caso do DataFromSky. Esta é uma aposta de futuro com grande potencial já para uma realidade não muito distante.

Como foi possível perceber, independente da informação e das características recolhidas sobre o tráfego local, a realidade em que os modelos de análises se encontram, já permite construir as mesmas digitalmente de forma muito eficaz. Esse potencial ficou evidente através da utilização do software Vissim na reconstrução dos

cenários observados e na simulação das características do tráfego desenvolvidos no terceiro trabalho do estágio, em que foram exploradas várias características deste software, como a identificação de zonas com grande potencial para acidentes ou a identificação de comportamentos de determinados veículos que são inadequados, ou pelo seu excesso de velocidade, ou por desobediência às regras de trânsito.

Por fim acredita-se na tendência incontestável para o emprego de inteligência artificial nas recolhas e no tratamento das imagens para poder extrair características do tráfego local de uma zona a ser estudada, assim como dados técnicos sobre o mesmo, sendo que a realidade dos modelos de análise de tráfego desenvolvido com recurso a softwares como o Vissim e o Visum por exemplo, já se encontram preparados para reproduzirem esse nível de informação utilizando os dados recolhidos por estes novos processos.

5.2 Trabalhos Subsequentes

Os procedimentos de análise desenvolvidos durante o estágio, cujas atividades foram complementadas pela utilização do software DatafromSky, devido à parceria existente entre o ISEL e esta empresa, tiveram como objetivo obter informação adicional sobre a aplicação de metodologias inovadoras de IA na recolha e tratamento de dados de tráfego. Espera-se que este trabalho tenha correspondido a uma mais-valia no que diz respeito a essa utilização e à melhoria da empregabilidade dos atuais modelos nos estudos de tráfego rodoviário. Espera-se também que tenha sido também um contributo para o estudo da tendência e da viabilidade da recolha e tratamento dos dados empregando sistemas de IA.

No caminho percorrido passou-se por todas as etapas distintas que fazem parte de uma análise de tráfego rodoviário, nomeadamente a fase de contagem dos veículos que compõem o tráfego local, a transformação dos números em dados de tráfego, a reprodução dos mesmos nos modelos para análise, a identificação de estimativas futuras de tráfego e por fim a apresentação sob a forma de modelos e indicadores dos resultados alcançados. Com esse processo foi possível identificar algumas sugestões de trabalhos futuros a serem desenvolvidos:

- Aprofundamento da análise de viabilidade do emprego de drones no processo de recolha de imagens para o desenvolvimento de estudos de tráfego e sua sistematização;
- Identificação de limitações e desvantagens no desenvolvimento de estudos de tráfego rodoviário com recorrendo exclusivamente a sistemas de Inteligência Artificial;
- Comparação dos resultados extraídos de modelos desenvolvidos com recurso ao Vissim com modelos elaborados no Visum, discriminando a viabilidade entre a micro e a macrossimulação;
- Comparação dos modelos, dos resultados e do desempenho entre softwares que desenvolvem simulações de análise de tráfego, como é o caso do Vissim, do Anylogic, do Aimsum, o Paramics, entre outros softwares que disponibilizam simulações com nível de escala de aplicação microscópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, W. F., (1936). "Road traffic considered as a Random Series". The Institution of Civil Engineers.
- Anu, M., (1997). "Introduction to Modeling and Simulation". Winter Simulation Conference.
- Cardoso, C. E. P., (2010). "Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego." Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo.
- Carson, J. S., (2005). "Introduction to modeling and simulation". Em Proceedings of the Winter Simulation Conference.
- Costa, A. H. P., (2008). "Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Correntes de Tráfego". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Costa, A. H. P. & Macedo, J. M. G., (2008a). "Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Costa, A. H. P. & Macedo, J. M. G., (2008b). "Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Níveis de Serviço em Estradadas e Autoestradas". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Costa, A. S. et al., (2021). "Análise de tráfego rodoviário através do software DataFromSky". ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- Ehrlich, P. J., (1985). "Pesquisa Operacional: Curso introdutório". São Paulo: Atlas.
- Eissfeldt, N. G., (2004). "Vehicle-based modelling of traffic". Theory and application to environmental impact modelling.
- FHWA (2004). "Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools". US Department of Transportation.
- GROUP, P., (2017). "PTV Visum 16 Manual". Karlsruhe, Germany.
- Hensher, D. A., (2004). "Handbook of transport geography and spatial systems". Emerald Group Publishing Limited.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J., (2005). "Introduction to Operations Research". Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Hoogendoorn, S. P. e Bovy, P. H. L., (2001). "State of the art of Vehicular Traffic Flow Modelling". Special Issue on Road Traffic Modelling and Control of the Journal of Systems and Control Engineering.
- IMTT, (2001). "Coleção de brochuras técnicas / Temáticas - Contagens e inquéritos de tráfego". Gabinete de Planeamento, Inovação e Avaliação.
- Jennings, N. R. (2000). "On agent-based software engineering". Artificial Intelligence.
- KAMAN Sciences Corporation (1996). "A compendium of traffic model validation documentation and recommendations". FHWA – US department of transportation.

- Leduc, G., (2008). "Road Traffic Data: Collection Methods and applications. Seville: Joint Research Centre". Institute for Prospective Technological Studies.
- Ledermann, M. e Kinalski, N. M. (2012). "Pesquisa Operacional". Editora Unijuí da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;
- Lopes, V. et al., (2013). "Plano de acessibilidade pedonal de Lisboa". Câmara Municipal de Lisboa. Área Operacional Via Pública.
- Macal, C. M. e North, M. J. (2005). "Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation". Conference Paper in Proceedings – Winter Simulation Conference;
- Martins, P. M., (2018). "Modelação de Políticas Integradas Para a Redução do Congestionamento Rodoviário Através do Conceito de Responsabilidade Partilhada". Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil, IST. Lisboa;
- Martins, P. M. (2021a). "Engenharia de Tráfego", ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa;
- Martins, P. M. (2021b). "Modelação e Análise de Sistemas de Transportes", ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa;
- May, A. (1990). "Traffic Flow Fundamentals. Prentice-Hall", Englewood Cliffs, N. J., EUA.
- Mimbela, L., & Klein, L. (2000). "A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems". Fall: The Vehicle Detector Clearinghouse.
- Ortúzar, J. D. e Willumsen, L. G., (1990). "Modeling Transport", Ed. Jhon Wiley & Sons. Chichester;
- Rao, L., Owen, L. & Goldsam, D., (1998). "Development and Application of a Validation Framework for Traffic Simulation Models". Proceedings of the Winter Simulation Conference.
- Rodrigues, J. (1996): "Aplicações da teoria de sistemas". Ediliber editora. Coimbra.
- Samboni, A. F.I., (2020). "Análise de desempenho de rodovias de múltiplas faixas considerando a relação entre a velocidade de fluxo livre e os valores de capacidade para áreas suburbanas e rurais". Tese de doutoramento em transportes. Universidade de Brasília.
- SCHMIDT, J. W., and Taylor, R. E., (1970): "Simulation and Analysis of Industrial Systems", Richard D. Irwin, Homewood, Ill;
- Seabra, M. I. C. et al., (2011). "Contagens e Inquéritos de Tráfego". Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres;
- Silva, E. M., (1998). "Pesquisa Operacional". São Paulo: Atlas;
- Silva, P. C. M. e Tyler, N., (2002) "Sobre a Validação de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego". Transportes, Vol. 10.
- Sousa, F. F. L. M., (2016). "Metodologia de calibração para modelos integrados dos transportes e uso do solo". Engenharia de Transporte. Fortaleza, CE;
- Tavares, J. P. M. P., (2003). "Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afetação de Tráfego em Redes Urbanas". Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil, FEUP. Porto.
- Transportation Research Board (2010). "Executive Committee" – Highway Capacity Manual (HCM): Volume 2, Uninterrupted Flow. Washington, DC: TRB; 2010. 978-0-309-16079-7.
- VIEGAS, J. M., (2000). "A Utilização de Modelos Matemáticos para a Estimação da Procura de Transportes". Lisboa;
- VIEWER, D., (2019). "USER GUIDE". RCE systems sro. Czech Republic.

Sites e outros

Aeroexpo (2022). <https://www.aeroexpo.online/pt/prod/airport-research-centre-gmbh/product-172219-21639.html>. Acessado em 16 de Ago 2022;

Businesswire (2022). <https://www.businesswire.com/news/home/20181024006056/pt/>. Acessado em 16 de Ago 2022;

Paramics-online (2022). <http://www.paramics-online.com/>. Acessado em 16 de Ago 2022;

Myptv (2022). <https://www.myptv.com/en/mobility-software/>. Acessado em 16 de Ago 2022;

SimWalk (2022). <https://www.simwalk.com/projects/index.html>. Acessado em 16 de Ago 2022;

Amaral, P. (2015). Modelo do Edifício Ferreira Cardoso orientado pelo Prof. Dr. José Alberto Rodrigues, no âmbito do estágio Ciência Viva D3DR - Digital 3D Research, 2015.