



Simulação para Controlo de Tráfego Automóvel na Interseção do Amial

MARIANA RODRIGUES BRITO

Outubro de 2021

SIMULAÇÃO PARA CONTROLO DE TRÁFEGO AUTOMÓVEL NA INTERSECÇÃO DO AMIAL

Mariana Rodrigues Brito



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Automação e
Sistemas

Candidato: Mariana Rodrigues Brito, N° 1140566, 1140566@isep.ipp.pt

Orientação científica: Carla Manuela Alves Pinto, cap@isep.ipp.pt

Co-orientação científica: Jorge Manuel Pires Mendonça, jpm@isep.ipp.pt

Empresa: Câmara Municipal do Porto

Orientadora: Maria Flávia Ferreira Barros, flaviabarros@cm-porto.pt

Co-orientador: Bruno Miguel Aires Eugénio, brunoeugenio@cm-porto.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

31 de outubro de 2021

Agradecimentos

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais, Rogério Brito e Maria dos Anjos Brito pela oportunidade de continuar os estudos e pelo apoio incondicional ao longo de todos estes anos. À minha irmã, Adriana Brito, por todo o apoio e por acreditar em mim. Este último ano foi desafiante a vários níveis, profissional e pessoal, tanto para mim como para eles e apoio nunca faltou.

Agradeço também à Professora Doutora Carla Pinto pela orientação científica, por me aceitar e acreditar que eu seria capaz de realizar este projeto e por toda a ajuda para que me fosse possível concluir este trabalho apesar de todas várias adversidades que ocorreram devido à pandemia.

O desenvolvimento desta tese também não seria possível sem a realização do estágio na Câmara Municipal do Porto. Agradeço ao engenheiro Bruno Eugénio pela oportunidade, à engenheira Cristina Vilarinho pela ajuda e à engenheira Flávia Barros que me acompanhou desde o primeiro dia. Agradeço também a todas as pessoas que trabalham na CMP e que, de várias formas, permitiram que a experiência do estágio profissional fosse a melhor.

E por fim, não menos importante, agradeço a todos os meus amigos. Aos amigos de longa data que me acompanharam em todo o percurso escolar e académico e aos novos amigos que o ISEP me proporcionou que se mostraram um apoio essencial neste percurso académico e que fizeram tudo de forma que nunca desistisse.

Resumo

O aumento do número de veículos, públicos e privados, originou um problema de tráfego na cidade do Porto. Face a esta questão a Câmara Municipal do Porto foi obrigada a encontrar soluções que reduzissem o trânsito e priorizassem os peões, utilizando um sistema de controlo de tráfego automóvel.

Algumas das medidas implementadas passaram pela diminuição do número de veículos na estrada e o incentivo ao transporte público. Todavia, é ainda necessário criar uma boa infraestrutura para mobilidade e acessibilidade. Os últimos são dois conceitos fundamentais para a mobilidade urbana tendo como prioridade o peão. Gerar essa infraestrutura requer o conhecimento dos volumes de tráfego na zona, assim como a procura de peões. Atualmente, existem *softwares* que permitem simular o comportamento dos vários elementos que constituem uma rede viária, como por exemplo, o SUMO.

Neste projeto considera-se a interseção da Estrada da Circunvalação com a Rua do Amial e simula-se o tráfego automóvel e a procura de peões, usando o *software* SUMO. São considerados vários cenários, diferindo na presença ou ausência de conflitos e no número de passadeiras. Obtêm-se dados de Duração do percurso, Tempo de espera, Tempo perdido, entre outros. Discutem-se os resultados e sugere-se o cenário mais adequado, a implementar na interseção. Neste caso, o melhor cenário foi o Cenário Um, onde se mantêm os movimentos atuais, mas acrescentam-se duas passadeiras. Uma antes da interseção no sentido Nascente-Poente e outra após a interseção no sentido Poente-Nascente. Estas alterações permitem diminuir a distância e o tempo perdidos pelos peões. Aumenta ainda a sua segurança, dado que a tendência dos mesmos para atravessar a rua fora da passadeira é menor. Apesar de ser o cenário com maior número de conflitos, os resultados da sua simulação são os mais favoráveis para condutores e peões.

Para trabalho futuro, sugere-se a inclusão de espiras no SUMO, que contribuem para regular o tempo de luz verde de um semáforo dependendo da sua procura. Adicionalmente, dever-se-ia recorrer a mais ferramentas *Python* disponibilizadas pelo SUMO; simular mais cenários a mais horas de ponta distintas.

Palavras-Chave

Controlo de Tráfego Automóvel, ITS, Matriz OD, CMP, SUMO, mobilidade, acessibilidade, contagens de tráfego, correntes de tráfego

Abstract

The increase in the number of vehicles, public and private, created a traffic problem in the city of Porto. Faced with this issue, the Porto City Council was forced to find solutions that would reduce traffic and prioritize pedestrians, using an automobile traffic control system. Some of the measures implemented included reducing the number of vehicles on the road and encouraging public transport. However, it is still necessary to create a good infrastructure for mobility and accessibility. The latter are two fundamental concepts for urban mobility with pedestrians as a priority. Generating this infrastructure requires knowledge of the traffic volumes in the area, as well pedestrians' demands. Currently, there are software that allow simulating the behavior of the various elements that make up a road network, such as SUMO.

In this project, the intersection of Estrada da Circunvalação and Rua do Amial is considered and car traffic and pedestrian demand are simulated using SUMO software. Several scenarios are considered, differing in the presence or absence of conflicts and in the number of crossings. Is get data on Duration of the trip, Waiting time, Lost time, among others. The results are discussed and the most suitable scenario is suggested, to be implemented in the intersection. In this case, the best scenario was Scenario One, where current movements are maintained, but two crosswalks are added. One before the East-West intersection and the other after the West-East intersection. These changes make it possible to reduce the distance and time lost by pedestrians. It also increases their safety, as their tendency to cross the street outside the crosswalk is lower. Despite being the scenario with the highest number of conflicts, the results of its simulation are the most favorable for drivers and pedestrians.

For future work, it is suggested to include turns in SUMO, which help to regulate the green light time of a traffic light depending on its demand. Additionally, one should use more Python tools provided by SUMO; simulate more scenarios at more distinct peak hours.

Keywords

Traffic Control Systems, ITS, OD matrix, CMP, SUMO, mobility, accessibility, traffic counts, traffic flow

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
UNIDADES DE MEDIDA	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. CALENDARIZAÇÃO	5
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	6
2. A EMPRESA	7
2.1. CURIOSIDADES DA CIDADE DO PORTO	7
2.2. CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO	10
2.2.1. <i>A Organização</i>	10
2.2.2. <i>Direção Municipal da Mobilidade e Transportes</i>	12
2.2.3. <i>Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego</i>	12
2.4. O EDIFÍCIO	13
2.5. PARA OS CIDADÃOS DO PORTO	16
3. ESTADO DA ARTE	19
3.1. MOBILIDADE URBANA	19
3.2. SINALIZAÇÃO LUMINOSA	21
3.2.1. <i>Conceitos Básicos para Dimensionar Sinais Luminosos</i>	22
3.3. CORRENTES DE TRÁFEGO	26
3.3.1. <i>Diagrama Espaço-Tempo</i>	27
3.3.2. <i>Nível Microscópico</i>	28
3.3.3. <i>Nível mesoscópico</i>	31
3.3.4. <i>Nível Macroscópico</i>	31
3.4. MATRIZ OD	35
3.5. SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	37
3.5.1. <i>Categorias do ITS</i>	37

3.5.2.	<i>Controladores de tráfego do ITS</i>	46
4.	SOFTWARE E HARDWARE	51
4.1.	CÂMARA MIC IP <i>STARLIGHT</i> 7100I.....	51
4.2.	SUMO	53
5.	CASO DE ESTUDO – AMIAL	57
5.1.	IMPLEMENTAÇÃO NO SUMO	58
5.2.	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	62
5.2.1.	<i>Cenário Zero</i>	63
5.2.2.	<i>Cenário Um</i>	64
5.2.3.	<i>Cenário Dois</i>	64
5.2.4.	<i>Cenário Três</i>	66
5.3.	RESULTADOS	67
5.3.1.	<i>Sexta-feira, 15 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde</i>	67
5.3.2.	<i>Sábado, 16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Manhã</i>	68
5.3.3.	<i>Sábado, 16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde</i>	69
5.3.4.	<i>Segunda-Feira, 18 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Manhã</i>	70
5.4.	ANÁLISE DE RESULTADOS	71
6.	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	75
	ANEXO A: CENÁRIOS DE ESTUDO	81
	ANEXO B: CONTAGENS DE TRÁFEGO	85
	ANEXO C: VOLUMES DE PEÕES	93
	ANEXO D: DIAGRAMAS DE CICLO	98

Índice de Figuras

Figura 1	ITS [11].	4
Figura 2	Brasão da cidade do Porto [17].	8
Figura 3	Ponte Luíz I [18].	9
Figura 4	Cidade do Porto [18].	9
Figura 5	Organização da CMP [20].	11
Figura 6	Organização da Direção Municipal da Mobilidade e Transportes [20].	12
Figura 7	Câmara Municipal do Porto [22].	13
Figura 8	Escadaria Principal [24].	14
Figura 9	Sala de D. Maria II [25].	15
Figura 10	Sala das Sessões [25].	15
Figura 11	Prioridades da mobilidade urbana [8].	20
Figura 12	Prioridades da mobilidade urbana sustentável [8].	21
Figura 13	Exemplos de semáforos [9].	23
Figura 14	Exemplo de correntes de tráfego [9].	24
Figura 15	Exemplo de Conflitos Primários e Conflitos Secundários [9].	25
Figura 16	Diferentes níveis de detalhe [39].	27
Figura 17	Diagrama Espaço-Tempo [38].	28
Figura 18	Tempo e distância entre veículos [38].	29
Figura 19	Representação de uma rede de transportes [7].	36
Figura 20	Matriz OD [38].	37
Figura 21	Logótipo da aplicação <i>Waze</i> [40].	40
Figura 22	<i>Printscreen</i> com as informações relevantes, à esquerda, e de navegação, à direita.	40
Figura 23	<i>Printscreen</i> da rota escolhida, das várias rotas possíveis apresentadas em mapa e em lista para optar pela mais conveniente, da esquerda para a direita, respetivamente.	41
Figura 24	<i>Printscreen</i> do menu de programação de rota.	41
Figura 25	Centro da Gestão de Operação de Veículos Comerciais [41].	42
Figura 26	<i>Printscreen</i> da aplicação "MOVE-ME.AMP".	43
Figura 27	<i>Printscreen</i> das rotas possíveis entre a Rua Costa Cabral e a Trindade.	44
Figura 28	<i>Printscreen</i> das próximas partidas da paragem ARS3, na Areosa.	44
Figura 29	<i>Printscreen</i> com apresentação das paragens da linha D do metro.	45
Figura 30	Componentes de um veículo presentes num SACV [43].	45
Figura 31	Sensores intrusivos: a) sensor magnético; b) sensor de tubo pneumático; c) espiras eletromagnéticas [45].	47
Figura 32	Sensores não intrusivos: a) num mastro b) "ponte" de sensores c) na berma [45].	50

Figura 33	Câmaras MIC IP <i>starlight</i> 7100i da <i>Bosch</i> [47].	52
Figura 34	Logótipo SUMO [49].	54
Figura 35	<i>Printscreen</i> da interface <i>web</i> da ferramenta <i>osmWebWizard</i>	55
Figura 36	Opções do <i>osmWebWizard</i> para o caso de estudo.	58
Figura 37	Primeira interface do cenário do SUMO-GUI.	59
Figura 38	Interface de mudança do diagrama de ciclo.	60
Figura 39	Interseção com representação do ciclo semafórico.	60
Figura 40	Exemplo da execução do código para obter dados na <i>cmd</i>	62
Figura 41	Etapas e movimentos do Cenário Zero.	63
Figura 42	Diagrama de ciclo do Cenário Zero.	63
Figura 43	Etapas e movimentos do Cenário Um.	64
Figura 44	Etapas e movimentos do Cenário Dois.	65
Figura 45	Diagrama de Ciclo hora de ponta da manhã.	65
Figura 46	Diagrama de Ciclo hora de ponta da tarde.	66
Figura 47	Etapas e movimentos do Cenário Três.	66
Figura 48	Etapas e movimentos do Cenário Zero.	81
Figura 49	Etapas e movimentos do Cenário Um.	82
Figura 50	Etapas e movimentos do Cenário Dois.	83
Figura 51	Etapas e movimentos do Cenário Três.	84
Figura 52	Identificação de passeios para criar volumes de peões.	93
Figura 53	Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Manhã para Cenário Dois e Cenário Três.	98
Figura 54	Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Tarde para Cenário Dois e Cenário Três.	99
Figura 55	Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Tarde para Cenário Zero e Cenário Um.	100

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do projeto.....	5
Tabela 2	Exemplo de diferença entre débito e volume de tráfego [38].	32
Tabela 3	Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da tarde do dia 15 de outubro de 2021.....	68
Tabela 4	Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da manhã do dia 16 de outubro de 2021.....	69
Tabela 5	Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da tarde do dia 16 de outubro de 2021.....	70
Tabela 6	Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da manhã do dia 18 de outubro de 2021.....	71
Tabela 7	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.	85
Tabela 8	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul)) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.....	85
Tabela 9	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.	86
Tabela 10	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte)) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.....	86
Tabela 11	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.	87
Tabela 12	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.....	87
Tabela 13	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.	88
Tabela 14	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.....	88
Tabela 15	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.	89
Tabela 16	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.....	89
Tabela 17	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.	90
Tabela 18	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.....	90
Tabela 19	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.	91

Tabela 20	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.	91
Tabela 21	Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.....	92
Tabela 22	Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.	92
Tabela 23	Volumes de Peões da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.	94
Tabela 24	Volumes de Peões da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.	95
Tabela 25	Volumes de Peões da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.	96
Tabela 26	Volumes de Peões da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.	97

Acrónimos

AMP	– Área Metropolitana do Porto
cmd	– <i>Prompt Command</i>
CMP	– Câmara Municipal do Porto
Dep. MGMT	– Departamento Municipal de Gestão da Mobilidade e Transportes
DLR	– <i>German Aerospace Center</i>
DMGMT	– Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego
DMIV	– Divisão Municipal de Infraestruturas Viárias
DMMT	– Direção Municipal da Mobilidade e Transportes
DMPMT	– Divisão Municipal de Planeamento da Mobilidade e Transportes
DMST	– Divisão Municipal de Sinalização de Trânsito
EN	– Estrada Nacional
EUA	– Estados Unidos da América
FAJDP	– Federação das Associações Juvenis do Distrito do Porto
FAP	– Federação Académica do Porto
GERTRUDE	– Gestão Eletrónica de Regulação do Tráfego Rodoviário Urbano Desafiando os Engarrafamentos
IA	– Inteligência Artificial
IPDJ	– Instituto Português do Desporto e Juventude
ITS	– Sistema Inteligente de Transporte

LED	– Díodos Emissores de Luz
OD	– Origem-Destino
<i>OSM</i>	– <i>Open Street Map</i>
SACV	– Sistemas Avançados de Controlo de Veículos
SAGT	– Sistemas Avançados de Gestão de Tráfego
SAIV	– Sistemas Avançados de Informação para Viajantes
SATP	– Sistemas Avançados de Transportes Públicos
SATR	– Sistemas Avançados de Tráfego Rural
SIGA	– Sistema Inteligente de Gestão Autónoma
SMAV	– Serviço Municipal de Apoio ao Voluntariado
SOVC	– Sistemas de Operação de Veículos Comerciais
SUMO	– <i>Simulation of Urban MObility</i>

Unidades de medida

h	– hora
kHz	– quiloHertz
km/h	– quilometro por hora
m	– metro
m/s	– metro por segundo
s	– segundo
veic/h	– veículos por hora
veic/15min	– veículos por 15 minutos
veic/km	– veículos por quilómetro

1. INTRODUÇÃO

O controlo do tráfego automóvel tornou-se imprescindível aquando do crescimento populacional e a sua aglomeração nas grandes cidades. De forma a atender às necessidades dos indivíduos houve um aumento do número de meios de transporte, públicos e privados, que levaram a congestionamentos, acidentes, poluição do ar, poluição sonora, degradação de espaços públicos, dificuldades de circulação dos transportes de emergência e problemas na mobilidade dos transportes [1].

Uma forma de diminuir esses problemas é o incentivo ao uso de transportes públicos. Algumas das medidas que aliciam ao seu uso são, por exemplo, a informação da rota, o cumprimento dos horários e a proximidade de parques de estacionamento em algumas das suas estações. O autocarro, especificamente, tem maior dificuldade no cumprimento de horários pois depende do volume de trânsito presente na sua rota, acidentes e congestionamentos. Apesar de abranger uma maior área e apresentar variados trajetos, por vezes mais diretos face a outros transportes públicos, a oscilação de horários torna-se um entrave para os utilizadores [2]. O metro e o comboio, apesar de limitados apenas ao circuito onde passam as suas linhas, possibilitam um maior cumprimento de horários pois a sua passagem é prioridade quando à superfície. Outra possibilidade para substituir o veículo individual é a utilização de plataformas como o *carsharing* e o *carpolling*. O *carsharing* consiste no aluguer de um veículo para uma viagem entre dois pontos, não

requer o levantamento da chave do veículo, nem uma requisição muito antecipada. Tudo é efetuado através de uma aplicação e o valor cobrado à hora já inclui combustível, estacionamento e seguro [3]. O *carpolling* é a partilha de um carro por diferentes pessoas. Através de uma aplicação é permitido aos utilizadores adquirir ou fornecer boleia no seu carro pessoal, dividindo os gastos da deslocação [4]. Atualmente também se utilizam as trotinetas e bicicletas elétricas que permitem a deslocação entre dois pontos.

Uma solução para evitar congestionamentos de trânsito é movê-lo por diferentes vias e zonas. Aplicações, utilizadas em vários aparelhos eletrónicos, possibilitam adquirir informação sobre as condições das vias, fluxo de tráfego e ocorrência de acidentes. Desta forma, os condutores dos veículos visualizam alternativas ao seu percurso fazendo com que o trânsito flua de uma forma mais harmoniosa. Apesar de haver diversas medidas implementadas para reduzir o fluxo automóvel, ainda há um número extremamente elevado de veículos a circular nas cidades. Assim sendo, o uso de um sistema de controlo de tráfego automóvel é inevitável. O planeamento e controlo de tráfego é realizado pela Engenharia de Tráfego [5].

O controlo de tráfego é, maioritariamente, realizado através da utilização de semáforos. Estes permitem-no controlar, em zonas propícias a velocidades elevadas, trânsito lento e em cruzamentos. Esta sinalização permite a diminuição de acidentes, e por conseguinte, a redução do número de mortos e feridos graves que acontecem nas estradas. No entanto, é importante referir que quando surgem avarias, o trânsito pode tornar-se caótico levando a congestionamentos, atrasos, acidentes, consumo excessivo de combustível, poluição, entre outros [6].

A necessidade de controlar o tempo de luz verde de cada interseção leva ao estudo de modelos de controlo de tráfego automóvel, por forma a que o trânsito flua de uma melhor forma [7].

Inicialmente, quando começaram a surgir, esses modelos eram feitos com principal foco no veículo, colocando as suas necessidades como prioridade. No entanto, devido a complicações que surgiram posteriormente, por exemplo, a poluição e a saúde pública, os peões tornaram-se o elemento principal para a modelação de sistemas de controlo de tráfego automóvel. No controlo de tráfego automóvel, a modelação proporciona a representação do sistema real com todas as suas infraestruturas para veículos e peões. São

simulados diferentes estados, situações e componentes para estudar o seu comportamento através de várias formas de controlar o tráfego nas interseções ou troços. As simulações são feitas anteriormente à sua colocação prática em que é instalada a opção mais viável. Assim, existe uma diminuição do risco de erros aquando da sua implementação à realidade [8].

Assim, pode-se considerar o controlo de tráfego automóvel como um processo realizado para reduzir o trânsito e obter um melhor fluxo de tráfego automóvel atendendo também às necessidades dos peões.

Atualmente, umas das formas para prever se esse controlo será eficaz é através de *softwares* de simulação, como o SUMO. Dependendo do nível de estudo que se pretende, como nível microscópico e nível macroscópico, por exemplo, há *softwares* apropriados. Utilizando o mapa com a zona pretendida, onde se incluem as várias vias para veículos e peões, paragens de autocarro, movimentos de viragem, passadeiras, semáforos e outras características relevantes no tráfego automóvel é possível simular com maior aproximação da realidade. Conhecendo também o volume de veículos e peões que circulam na área pretendida, e qual o percurso que realizam, essa simulação fica ainda próxima do cenário real.

A Câmara Municipal do Porto (CMP) realiza essas simulações de controlo de tráfego automóvel em algumas situações como em interseções que requerem alterações de infraestruturas ou quando os habitantes da cidade as pedem, como a colocação de passadeiras ou a eliminação de conflitos entre fases de semáforos de veículos e peões, por exemplo.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No Porto, cidade onde se realizou este projeto, o volume de tráfego é exorbitante provocando congestionamentos e engarrafamentos, principalmente nas horas de ponta. A implementação de um sistema para controlo de tráfego automóvel é fundamental.

O sistema tem por base o uso de sinalização luminosa em interseções e o controlo do tempo de luz verde de cada semáforo. Este tipo de sinalização surgiu em *Westminster*, Londres, em 1868, através de comando manual e os semáforos a funcionarem a gás. Em

1918, em Nova Iorque, utilizam-se pela primeira vez as lâmpadas de três cores e só em 1926, em *Wolverhampton* no Reino Unido, aparece o comando automático [9].

Em 1993, o Sistema Inteligente de Gestão Autónoma (SIGA), sistema de controlo de tráfego automóvel, baseado no sistema Gestão Eletrónica de Regulação do Tráfego Rodoviário Urbano Desafiando os Engarrafamentos (GERTRUDE), desenvolvido em abril de 1976 na França, é implementado em parte dos semáforos na cidade do Porto [10]. No entanto, devido a um crescimento do volume de veículos em circulação na cidade, o sistema já demonstra falhas na sua capacidade de resposta e, por isso, a CMP implementará um novo ao longo destes próximos anos [10].

O sistema a implementar na cidade terá como base um Sistema Inteligente de Transporte (ITS) que pretende resolver os problemas de tráfego, através da análise das tecnologias existentes e a elaboração de novas tecnologias. Os ITS constituem-se por utilizadores, estradas e veículos que permitem troca de informação entre si, por forma a haver maior eficiência nos transportes, maior conforto, segurança e proteção do meio ambiente, Figura 1 [11].

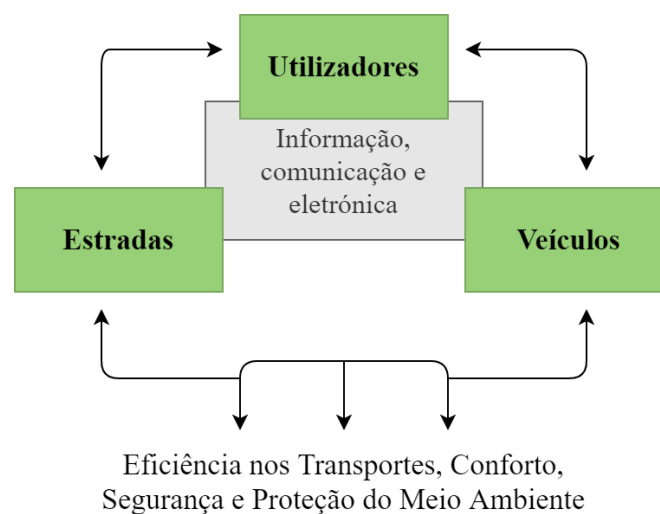


Figura 1 ITS [11].

O sistema na cidade do Porto pretende facilitar a circulação dos transportes públicos na cidade e, por isso, ajudar no cumprimento dos horários, principalmente dos autocarros, para incitar ao seu uso por parte de um maior número de utilizadores. No ano de 2019, as entidades responsáveis pelos transportes públicos diminuíram o valor máximo do passe mensal a ser usado na Área Metropolitana do Porto (AMP) para aliciar as pessoas à

utilização de transportes públicos [12]. Em 2020, na cidade do Porto, foram criados locais próprios para velocípedes ou equiparados motorizados, ou não, designados “Pontos de Partilha” sinalizados por marcações azuis no pavimento e sinalética vertical. São os designados *modos suaves de transporte* e permitem o seu aluguer pela população por curtos períodos de tempo [13].

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é a simulação de diferentes cenários como controlo de tráfego automóvel de uma interseção semaforizada da cidade do Porto e perceber qual o que se deveria implementar. Para atingi-lo foi necessário considerar alguns tópicos, tais como:

- Sistema de Controlo de Tráfego Automóvel;
- ITS e suas categorias;
- *Software* de simulação de tráfego automóvel – SUMO;
- Implementação da interseção do Amial e respetivas características no SUMO;
- Análise dos resultados.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

O meu estágio curricular, na Câmara Municipal do Porto, iniciou-se em fevereiro de 2020. Em março desse mesmo ano, surgiu uma pandemia, COVID-19, que dificultou em tudo o decorrer do estágio. A impossibilidade de estar presencial, assim como a incapacidade de aceder a dados necessários para a sua elaboração, culminou num alongamento deste projeto e, por isso, a calendarização apresenta meses em diferentes anos.

Tabela 1 Calendarização do projeto.

	Fevereiro 2020		Março 2020		Abril 2021		Maio 2021		Junho 2021		Julho 2021		Agosto 2021		Setembro 2021		Outubro 2021	
	01 a 15	16 a 30	01 a 15	16 a 31	01 a 15	16 a 31	01 a 15	16 a 30	01 a 15	16 a 31	01 a 15	16 a 30	1 a 15	16 a 31	01 a 15	15 a 31	01 a 15	15 a 31
Câmara Municipal do Porto																		
Controlo tráfego automóvel																		
Mobilidade Urbana																		
Correntes de Tráfego																		
Matriz OD																		
Sistemas Inteligentes de Transporte																		
Semáforo																		
Hardware																		
SUMO																		
Implementação SUMO																		
Análise de Dados																		
Relatório																		

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

No capítulo 1, é realizada uma pequena introdução e contextualização do problema abordado, assim como a descrição dos objetivos do trabalho e a sua calendarização.

No capítulo 2, apresenta-se a empresa que permitiu a realização deste projeto, a CMP. Descrevem-se curiosidades da história da cidade do Porto, a infraestrutura da CMP e a sua organização hierárquica, destacando a Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego (DMGMT), divisão onde foi realizado o estágio curricular.

No terceiro capítulo faz-se uma descrição do que é o controlo de tráfego automóvel e quais os parâmetros necessários para a sua realização. Alguns conceitos como a mobilidade urbana, o semáforo e correntes de tráfego são explicados para uma melhor compreensão do assunto. Também se explicam alguns cálculos e visualizações gráficas relevantes para análise de dados. E, por fim, apresenta-se o que é um ITS e as suas categorias.

No capítulo 4 apresentam-se os *softwares* e *hardwares* utilizados para a realização deste projeto, nomeadamente, a câmara utilizada pela CMP para controlo de tráfego automóvel e o *software* de simulação, SUMO.

No capítulo seguinte, o quinto, é descrito o caso de estudo. Como são apresentadas as contagens dos volumes de tráfego e como se fez a implementação no SUMO. Expõe-se os vários cenários a simular e comparar e analisam-se os resultados.

Por fim, no capítulo 6, estão as conclusões retiradas deste projeto. Ao longo do seu desenvolvimento, quais as maiores dificuldades sentidas, como foram ultrapassadas e também desenvolvimentos futuros.

2. A EMPRESA

A Câmara Municipal do Porto (CMP), empresa onde foi realizado o estágio curricular e desenvolvida a presente dissertação, é uma referência nacional. Para compreensão e conhecimento da empresa são referidas algumas curiosidades históricas da cidade do Porto. Uma breve descrição da CMP, estrutura organizacional, efetuando uma apresentação da Direção Municipal da Mobilidade e Transportes (DMMT), onde está inserida a Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego (DMGMT), infraestruturas e ações realizadas para apoiar os cidadãos da cidade.

2.1. CURIOSIDADES DA CIDADE DO PORTO

O nome da cidade do Porto, uma das mais antigas de Portugal, surgiu devido a *Portus Cale*, nome dado ao porto construído pelos romanos na foz do rio Douro numa pequena aldeia chamada *Cale* [14].

A primeira carta de foral da cidade concedida aos seus moradores foi pelo bispo do Porto, D. Hugo, em 1123. Em 1517, D. Manuel I, conferiu uma segunda carta de foral à cidade [15].

Os portuenses ficaram apelidados de “tripeiros”, a partir de 1415, devido a oferecerem toda a carne ao exército, liderado pelo Infante D. Henrique, durante a conquista de Ceuta, ficando apenas com as tripas. Este acontecimento levou à origem do prato típico da cidade do Porto, Tripas à Moda do Porto [15].

Alguns dos monumentos mais importantes da cidade, como a Torre dos Clérigos, o Palácio do Freixo e a fachada da Igreja da Misericórdia, surgiram com o arquiteto italiano *Nicolau Nasoni* que chegou ao Porto em 1725.

D. Pedro IV foi um rei importante para o Porto. Simbolizando liberdade, patriotismo e força de vontade, características presentes na Cidade e nos portuenses. Em 1835, o seu coração foi depositado na Igreja da Lapa, tal como pediu no seu testamento.

“Antiga, Mui Nobre, Sempre Leal e Invicta Cidade do Porto”, expressão utilizada, para descrever a cidade do Porto devido à bravura dos portuenses e momentos marcantes da sua história e presente no seu brasão, Figura 2. Advém de um decreto escrito por Almeida Garrett e assinado pela rainha D. Maria II, que acrescentou novos elementos às Armas do Porto – “as armas sejam esquarteladas com as do reino e tenham ao centro, num escudete de púrpura o coração de oiro de D. Pedro, sobrepoçadas por uma coroa de duque, tendo por timbre o "Dragão negro das antigas Armas dos senhores Reis destes reinos", e junte aos seus títulos o de Invicta." [15] [16].



Figura 2 Brasão da cidade do Porto [17].

Duas das célebres pontes do Porto, foram construídas e inauguradas durante o século XIX. A Ponte D. Maria, projetada por *Gustave Eiffel*, e a Ponte Luíz I, Figura 3, projetada por *Théophile Seyrig*. Em 1980 deu-se a construção do Porto de Leixões [14].

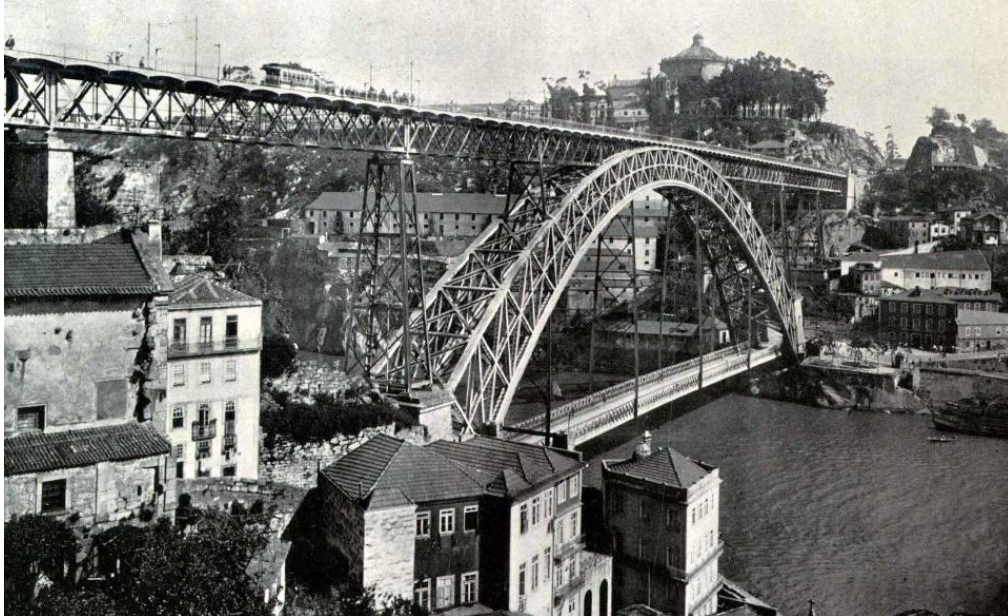


Figura 3 Ponte Luíz I [18].

A Avenida dos Aliados, uma das avenidas características da cidade, foi construída como símbolo da implantação da república, no século XX [14].

A cidade do Porto, Figura 4, foi considerada pela Unesco, devido à sua riqueza histórica, “Cidade Património Mundial”, em 1996. A nomeação de Capital Europeia da Cultura, juntamente com Roterdão, em 2001, trouxe artistas de renome para a realização de vários eventos o que agradou a população portuense e o crescimento da cultura na cidade [15].



Figura 4 Cidade do Porto [18].

2.2. CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO

O Município do Porto é representado pela CMP que toma as decisões a serem implementadas na cidade. O seu presidente é escolhido pelos habitantes da cidade nas eleições autárquicas sendo, atualmente, o presidente Rui Moreira, reeleito em outubro de 2021 [19].

A hierarquia organizacional da CMP apresenta-se estruturada pela ordem: presidente, vice-presidente, vereadores, diretores municipais, diretores de departamento e chefes de divisão. Cada vereador é responsável por um ou mais pelouros, sendo eles [19]:

1. Pelouro das Finanças;
2. Pelouro da Cultura;
3. Pelouro da Inovação e Ambiente;
4. Pelouro da Juventude e Desporto;
5. Pelouro dos Recursos Humanos e Serviços Jurídicos;
6. Pelouro da Economia, Turismo e Comércio;
7. Pelouro da Gestão de Fundos Comunitários;
8. Pelouro do Urbanismo;
9. Pelouro do Espaço Público e Património;
10. Pelouro dos Transportes;
11. Pelouro da Fiscalização e Proteção Civil;
12. Pelouro da Habitação e Coesão Social;
13. Pelouro da Educação.

Os pelouros dividem-se em direções municipais e/ou departamentos, dirigidos pelos diretores municipais e/ou de departamento, dos quais fazem parte uma ou mais divisões municipais chefiadas pelos respetivos chefes de divisão.

O edifício onde inicialmente se encontravam as várias unidades orgânicas pertencentes à CMP, o edifício dos Paços do Concelho, é um dos ícones da cidade do Porto. Atualmente, a maior parte das divisões municipais já não se encontram a desempenhar as suas funções nesse edifício.

O bem-estar dos cidadãos é primordial para a Câmara do Porto. A CMP, no seu site oficial, fornece relevante informação para os seus habitantes e abraça variados projetos assim como diferentes causas, quer para a população mais jovem, quer para a população adulta.

2.2.1. A ORGANIZAÇÃO

A CMP apresenta a estrutura organizacional apresentada no organograma da Figura 5.

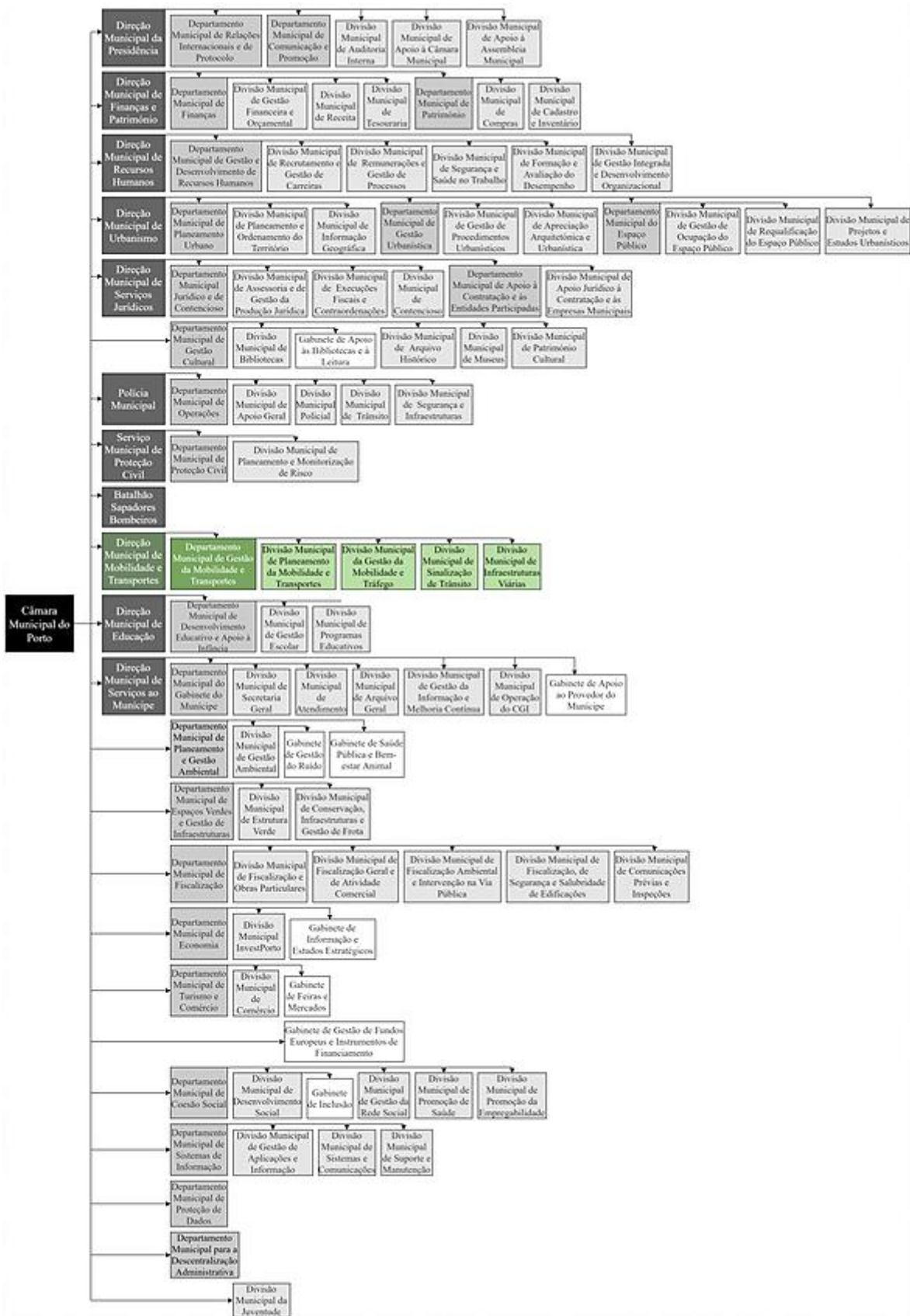


Figura 5 Organização da CMP [20].

2.2.2. DIREÇÃO MUNICIPAL DA MOBILIDADE E TRANSPORTES

A DMMT tem como dever cumprir diferentes funções, entre elas: apoiar o Executivo na conceção e implementação de estratégias e políticas de mobilidade; estimular o uso dos transportes públicos; efetuar, se necessário, a manutenção das infraestruturas rodoviárias e pedonais e sinalização; incentivar a eficiência energética; e certificar-se que as entidades presentes nas políticas de mobilidade e transportes efetua um trabalho conjunto [21].

A DMMT é constituída por um Departamento Municipal que por sua vez se divide em quatro Divisões Municipais, visível na Figura 6.

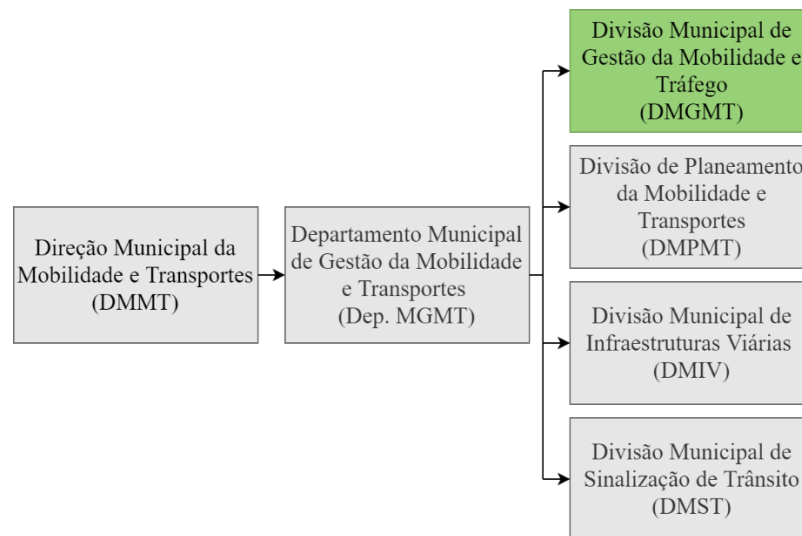


Figura 6 Organização da Direção Municipal da Mobilidade e Transportes [20].

O Departamento Municipal de Gestão de Mobilidade e Transportes (Dep. MGMT) é responsável por: implementar as estratégias e políticas de mobilidade definidas; gerir o uso da infraestrutura rodoviária e pedonal e respetivos contratos de iluminação pública e estacionamento, implementar e gerir as políticas de eficiência energética; gerir a manutenção das infraestruturas e definir as obras a realizar, assim como verificar se estão a ser realizadas em conformidade; e incentivar a realização de estudos nas áreas [21].

2.2.3. DIVISÃO MUNICIPAL DE GESTÃO DA MOBILIDADE E TRÁFEGO

A DMGMT tem a responsabilidade de gerir o sistema de gestão de tráfego; administrar os projetos de infraestruturas no âmbito do licenciamento de operações urbanística, assim como, realizar os projetos de sinalização de iniciativa municipal, sinalização horizontal, sinalização vertical e sinalização luminosa; administrar os parques de estacionamento municipais; gerir e executar contratos de fornecimento e prestação de serviços; desenvolver modelos de tráfego e outras ferramentas de apoio à decisão [21].

2.4. O EDIFÍCIO

A construção do edifício da CMP, Figura 7, no topo da Avenida dos Aliados, surgiu devido a uma requalificação da zona urbana pelo Decreto de 31 de dezembro de 1864. Consistiu na demolição de todo o edificado entre a Praça da Liberdade e a Praça da Trindade dando espaço a um jardim e um novo edifício dos Paços do Concelho [22].

O edifício foi projetado pelo arquiteto António Correia da Silva e a sua construção iniciou-se no dia 24 de junho de 1920. Em 1950, já com a direção do arquiteto Carlos Ramos e inúmeras alterações ao projeto inicial, começaram a conclusão das obras, tendo sido inaugurado em 24 de junho 1957 [22].

A sua construção é de estilo neoclássico apresentando semelhanças com os palácios comunais do norte da França e da Flandres, com uma torre central que atinge os setenta metros de altura e à qual pertence um relógio de carrilhão [22].

O edifício construído em granito, compõe-se por uma cave, seis pisos e dois pátios interiores. Do exterior, o edifício, apresenta amplas portas, janelas e varandas, sendo rematado por entablamento com balaústres e jarrões apoiados em cariátides geminadas de tradição grega [23].



Figura 7 Câmara Municipal do Porto [22].

O seu interior, principalmente constituído por granito e mármore, apresenta locais majestosamente decorados, nos quais se realizam as cerimónias mais solenes e as Assembleias Municipais e Reuniões de Executivo [22]. Entre eles destaca-se:

- o átrio ou Passos Perdidos, é a entrada principal do edifício. Tem tetos abobadados de estuque com acabamento artístico onde se destacam as armas da cidade; duas estátuas intituladas a “Indústria” e a “Arte” aquando da passagem para os corredores centrais; e, no átrio das traseiras estão três bustos de mármore que representam um marítimo, uma peixeira e uma ceifeira [22];
- a escadaria principal, Figura 8, é revestida a mármore negro e, no patamar intermédio, apresenta-se um busto de mármore de Francisco de Almada e Mendonça, e no topo da escadaria, quatro pinturas que representam “As Origens de Portugal”, “A Expansão Geográfica”, “ Expansão Comercial” e “O Porto Romântico” [22];

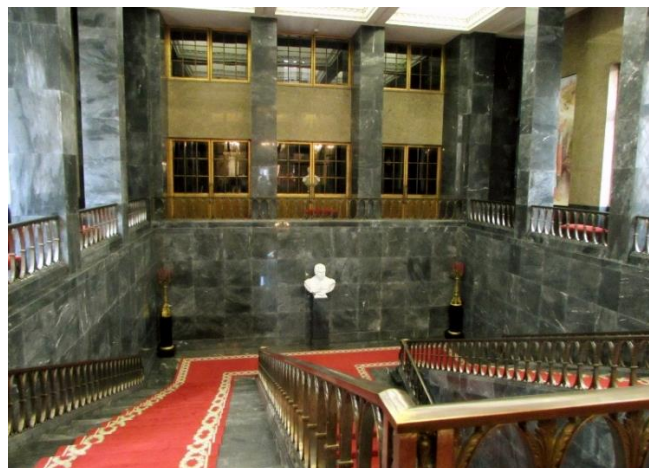


Figura 8 Escadaria Principal [24].

- o Salão Nobre, onde se realizam atos solenes, sobressaindo-se duas figuras em mármore simbolizando a Honra e a Concórdia de Gustavo Bastos, entre outras peças e pinturas [22];
- a Sala de D. Maria II, Figura 9, onde ocorrem receções oficiais e protocolares, nobremente decorada com uma pintura a óleo em tamanho natural de D. Maria II, um relógio, duas ânforas em porcelana rosa e dois jarrões japoneses do século XIX, uma mesa em mogno que se encontra no centro com um único suporte central que termina em garras de leão e dois luxuosos candelabros de cristal de Veneza [22];



Figura 9 Sala de D. Maria II [25].

- a sala das Sessões, Figura 10, onde se realizam as reuniões de Executivo e as Assembleias Municipais, é decorada com três tapeçarias que representam símbolos da cidade do Porto e figuras características, como a Noite de S. João, uma alegoria à produção e comercialização do vinho do Porto e a expansão ultramarina, entre outras [22].



Figura 10 Sala das Sessões [25].

2.5. PARA OS CIDADÃOS DO PORTO

A CMP, para conveniência dos cidadãos da cidade, dispõe no seu site várias informações essenciais para a sua vida na cidade. Notícias, obras, condicionamentos, eventos culturais, eventos desportivos, projetos de grandes dimensões, causas e parcerias, projetos sociais e descrição de vários elementos do Porto, são apenas alguns dos componentes da página *cm-porto.pt*.

Porto. é o portal de notícias da cidade do Porto onde apresenta também o trânsito, as condições meteorológicas e a agenda da cidade [26]. Os condicionamentos, “gravidade” dos mesmos e as obras podem também ser consultadas no *GoPorto* [27]. O Município do Porto gere o sistema de supervisão de tráfego e câmaras de vídeo. A localização destas pode ser consultada no site relativo à mobilidade disponibilizado pela CMP através do *site mobilidade.cm-porto.pt*. Neste site existem várias informações sobre como a câmara realiza e soluciona os problemas de mobilidade, neste caso, as câmaras de vídeo visualizam-se no separador Serviços, seguido de Gestão de Tráfego. O objetivo da consulta das ruas da cidade, passa pela *deteção em tempo real de perturbações na circulação rodoviária em pontos críticos da estrutura da rede viária da cidade; a deteção em tempo real de acidentes rodoviários e outros incidentes com implicações na circulação rodoviária e na mobilidade em geral; avaliação dos fluxos de tráfego e/ou fluxos de circulação pedonal; monitorização da rede viária; monitorização das infraestruturas de sinalização luminosa e sinalização horizontal* [13].

Os projetos de grandes dimensões, como a requalificação do Mercado do Bolhão, a construção do Terminal Intermodal de Campanhã, a conversão do Matadouro, os projetos integrados de habitação acessível Monte Pedral e Monte Bela e o plano estratégico para a Zona Leste do Porto também podem ser consultados [28].

A cultura dos portuenses é fundamental e a Câmara propicia o seu crescimento. A empresa de cultura, desporto e animação do Município do Porto, *Ágora*, fornece no seu site todas as informações e eventos culturais, desportivos e entretenimento a decorrer na cidade. Assenta-se na ideia *de que o Porto pode ser uma cidade onde tudo pode acontecer, em todo o lado* [29].

O Município procura apoiar os jovens, os naturais da cidade e os que para ela se mudam devido a algumas circunstâncias como Erasmus, procura de emprego ou universidade, por exemplo. Alguns dos projetos a decorrer adequados à juventude são [30]:

- Programa Aconchego: uma iniciativa, em parceria com a Federação Académica do Porto (FAP) Social, para combater a solidão de seniores. Consiste no alojamento de jovens universitários em casas com uma pessoa ou um casal, com mais de 60 anos, residentes na cidade do Porto.;
- Porto Acolhe: iniciativa, a par da integração feita pela universidade, para integrar os estudantes na vida da cidade. Inclui um conjunto de visitas ao Património Cultural e Histórico da cidade, aos projetos de Reabilitação Urbana e acesso a visitas de espaços municipais e não municipais. Este programa satisfaz a *vontade de acolher bem e de promover uma boa integração dos estudantes que optam pela cidade do Porto para estudar ou investigar.*;
- Debate a Tua Cidade: programa realizado anualmente em parceria com a Federação das Associações Juvenis do Distrito do Porto (FAJDP), FAP e apoio do Instituto Português do Desporto e Juventude (IPDJ). É um espaço de reflexão, discussão e recomendação onde os jovens expressam as suas ideias e pensamentos através do diálogo estruturado.;
- Capacita.te: iniciativa em parceria com a FAJDP e a FAP. É um *plano orientado de capacitação tendo em vista melhorar aptidões e competências dos jovens da cidade.*

A CMP apoia várias causas como, por exemplo, a violência doméstica, criando o Plano Municipal Contra a Violência Doméstica, a população com necessidades especiais, o voluntariado, através de formações e um Serviço Municipal de Apoio ao Voluntariado (SMAV). Diversas outras ações sociais estão a decorrer a pensar na população do Porto, como por exemplo, a promoção da empregabilidade; protocolos efetuados com a Fundação Serralves e a Casa da Música; o projeto Porto Amigo, parceria entre a CMP/Fundação Porto Social e a Fundação Manuel António da Mota que consiste na reabilitação das habitações da população sénior dependente do concelho do Porto, em situação de pobreza que permitam a sua melhoria dos níveis de mobilidade e de salubridade; entre outras [31].

A CMPH – Domus Social – Empresa de Habitação e Manutenção do Município do Porto, EM, foi fundada em 2000. Compete-lhe adquirir, promover, administrar, construir, reabilitar e renovar o parque habitacional do Município, realizar programas de habitação com valores monetários controlados e realizar e conseguir planos de reabilitação, renovação ou reconstrução de habitações danificadas [32].

3. ESTADO DA ARTE

O controlo de tráfego automóvel é, maioritariamente, feito através de sistemas apropriados às diferentes características do tráfego da cidade, tendo como elementos principais o Homem, o veículo e a infraestrutura. A assertividade para a escolha e implementação de um sistema requer alguns conhecimentos fundamentais.

A Engenharia de Tráfego é a engenharia que estuda a eficiência e segurança do movimento de pessoas e bens na rede viária. O seu objetivo é potenciar o sistema viário certificando que existe acessibilidade (acesso das pessoas aos locais) tendo como ponto o estudo da mobilidade (capacidade de deslocação) [33].

A compreensão deste trabalho, pede o conhecimento de conceitos fundamentais dos sistemas de controlo de tráfego automóvel, assim como da análise do comportamento do tráfego automóvel, de peões e das suas infraestruturas. Por exemplo, a mobilidade urbana, a sinalização luminosa, a modelação de transportes, os modelos de simulação de tráfego e os ITS.

3.1. MOBILIDADE URBANA

O conceito mobilidade, muitas vezes confundido com acessibilidade, surgiu como atributo ao que é móvel, que tem possibilidade de se deslocar a pé ou em veículos motorizados e

não motorizados. Assim, a mobilidade urbana é a competência de um indivíduo se mover de um ponto para outro tendo em atenção o desempenho do sistema de transporte usado e particularidades do indivíduo. Inicialmente, a prioridade da mobilidade urbana era o veículo individual, nomeadamente o carro, seguido do transporte coletivo e, por fim, o peão, Figura 11 [8].

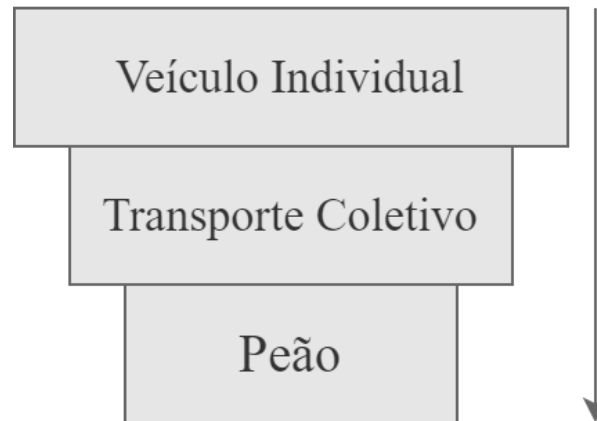


Figura 11 Prioridades da mobilidade urbana [8].

A mobilidade urbana implica diversas complicações na cidade como congestionamentos, perturbações nas distintas formas de transporte, diminuição da segurança dos peões, destruição dos espaços verdes para construção de novas infraestruturas de circulação e estacionamento, e multiplicação do número de acidentes de trânsito, da poluição sonora e poluição do ar. Estas adversidades obrigaram a repensar na organização dos usos e ocupação da cidade de forma a restabelecer a preservação do meio ambiente, ou seja, a conexão entre as pessoas e os bens que a cidade oferece, e não somente considerar os meios de transporte e trânsito. Estes fatores incitaram a mobilidade urbana sustentável que, segundo o *World Business Council for Sustainable Development*, é a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, transacionar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos hoje e no futuro [34]. A mobilidade urbana sustentável provocou uma alteração nas prioridades anteriormente usadas, na mobilidade urbana, dando maior importância ao Homem e à sua deslocação de forma mais sustentável, como a circulação pedonal e a bicicleta, seguidamente a relevância é dos transportes coletivos e, por fim, o veículo individual motorizado, Figura 12 [8] [35] [36].

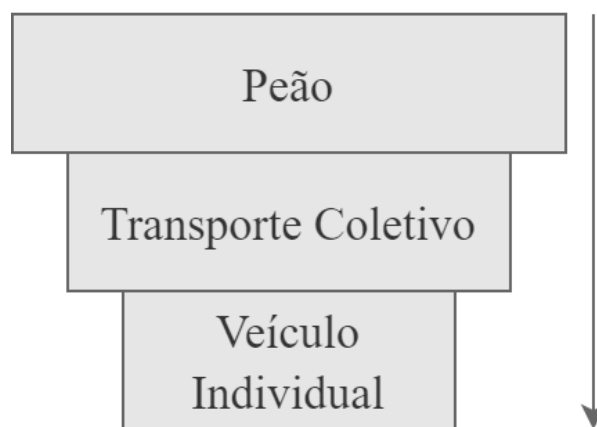


Figura 12 Prioridades da mobilidade urbana sustentável [8].

A mobilidade deixa de ser a capacidade de um indivíduo se deslocar entre dois lugares, mas sim a transferência de indivíduos, bens, comunicações, informação e a relação mantida entre o emprego e a habitação, o acesso aos bens que a cidade oferece e um conjunto de questões políticas [8].

A acessibilidade é um conceito que está intimamente ligado à mobilidade. O Conceito Europeu de Acessibilidade diz que *“acessibilidade é a característica de um meio físico ou de um objeto que permite a interação de todas as pessoas com esse meio físico ou objeto e a utilização destes de uma forma equilibrada/amigável, respeitadora e segura. Isto significa igualdade de oportunidades para todos os utilizadores ou utentes, quaisquer que sejam as suas capacidades, antecedentes culturais ou lugar de residência no âmbito do exercício de todas as atividades que integram o seu desenvolvimento social ou individual. Portanto, a acessibilidade promove a igualdade de oportunidades, não a uniformização da população (em termos de cultura, costumes ou hábitos)”* [37]. Não se limita somente aos indivíduos que possuem algum tipo de limitação, mas também aos que não têm acesso e exibem restrições às infraestruturas urbanas e no transporte público. Exemplos são a ausência de pavimento, as vias em más condições, a falta de segurança de peões, os transportes públicos antiquados e os seus preços elevados, entre outros [8] [37].

3.2. SINALIZAÇÃO LUMINOSA

O semáforo é uma das sinalizações mais utilizadas no controlo de tráfego automóvel em interseções simples e complexas. A sua implementação e manutenção são relativamente acessíveis monetariamente e apresentam um bom nível de eficácia [9].

Inicialmente estes sinais eram programados através de ciclos com tempos fixos de luz verde para cada semáforo, independentemente das alterações que os fluxos de tráfego registam ao longo do tempo. Esta implementação, apesar de diminuir os congestionamentos, levava a que os condutores esperassem demasiado tempo para que passasse um ciclo. Nas vias com menor tempo de luz verde e uma procura considerável, o escoamento era escasso o que provocava grandes filas e tempo de espera. Esta situação é uma das maiores desvantagens neste tipo de sinalização, mas que pode ser resolvida caso se tenha em atenção a variação cíclica e previsível do tráfego. Ou seja, permite verificar alguma homogeneidade na procura das diferentes vias, como nas pontas da manhã e da tarde e diferenciá-las das horas noturnas e acontecimentos especiais, por exemplo [9].

Este problema gerou a criação de diferentes sistemas, cada vez mais aprimorados, que melhorassem a utilização de semáforos e o tempo de luz verde dado a cada movimento, até se conseguir recolher permanentemente dados acerca da situação de tráfego permitindo assim ao sistema adaptar-se às circunstâncias registadas em tempo real. Este é o princípio dos sinais luminosos atuados pelo tráfego em que o avanço ou tempo de luz verde pode ser adaptado, dentro de certos limites, à procura de tráfego rodoviário existente. Esta hipótese requer sensores de peões e/ou veículos que transmitam os dados recolhidos e de um modelo que analise esses dados e opte pela melhor solução de regulação dos movimentos rodoviários e pedonais de uma dada interseção num dado momento [9].

A modelação, assim como instalação de sensores nas interseções semaforicas incrementam o custo da solução, no entanto, a sua eficácia é substancialmente superior. Uma melhoria a considerar é, também, os estudos das diferentes interseções como uma só. Ou seja, além do modelo ter em conta uma só interseção, também é relevante a situação das interseções mais próximas [9].

3.2.1. CONCEITOS BÁSICOS PARA DIMENSIONAR SINAIS LUMINOSOS

O dimensionamento de sinais luminosos é realizado tendo em atenção alguns conceitos previamente estudados e várias características da interseção a ser sinalizada. A procura, quer por veículos, quer por peões e o tempo de partida dos veículos que determinam a capacidade de escoamento da interseção são apenas alguns dos exemplos essenciais para que haja uma regulação dos sinais luminosos adequada [9].

Alguns dos conceitos fundamentais que permitem a compreensão do dimensionamento de sinais luminosos são:

3.2.1.1. Semáforo

A utilização de semáforo, Figura 13, é fundamental para dar indicações aos peões e condutores sobre se é permitido, ou não, avançar na sua via. Essa indicação é dada através de uma sequência de cores dependendo se é semáforo para veículos ou peões [9].

No caso dos peões existe o verde que permite a passagem e o vermelho que a proíbe e, nos mais recentes, o verde intermitente, que ocorre na passagem de verde para vermelho, para indicar aos peões a mudança de estado. Além da sinalização luminosa, os semáforos de peões mais recentes também têm sinalização sonora para os invisuais. Quando está vermelho não há som, no verde o som repete-se de forma intermitente e no verde intermitente o som acelera.

Os condutores têm três cores, mas quatro indicações. A passagem proibida é dita pela luz vermelha, a luz amarela é indicação para parar, caso seja possível em segurança, é permitido avançar aquando da luz verde ou luz amarela intermitente, mas com esta última é necessário ter em atenção as regras da prioridade do código da estrada [9]. Em Portugal a luz amarela só aparece após a luz verde, no entanto, em alguns países ela também aparece após a luz vermelha por forma a indicar que irá abrir o tempo de passagem (luz verde).



Figura 13 Exemplos de semáforos [9].

3.2.1.2. Correntes de tráfego

Por forma a simplificar a procura numa interseção, é possível agrupar os veículos que têm movimentos direcionais que, atendendo às suas características, podem ser tratados de modo igual e que requerem uma resposta diferenciada através da regulação. Este agrupar de movimentos dá origem às correntes de tráfego, Figura 14. Por isso, o número de correntes de tráfego que determina a proporção do problema numa interseção, deve ser o menor possível [9].

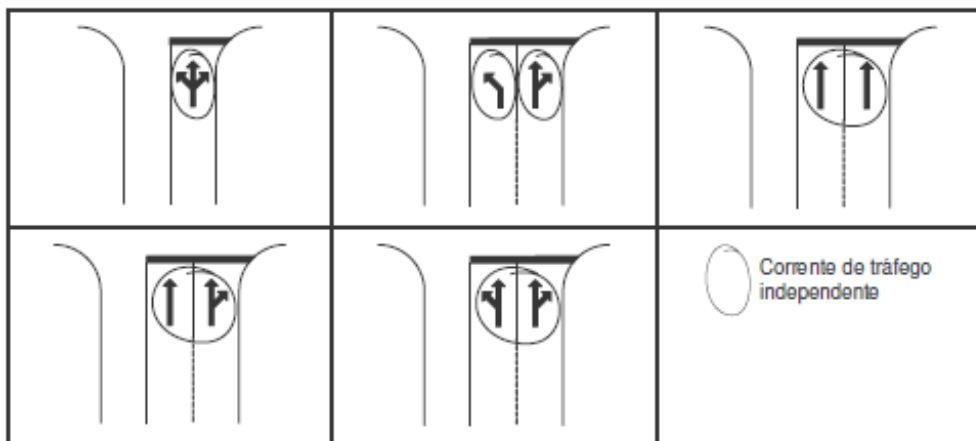


Figura 14 Exemplo de correntes de tráfego [9].

Quando duas ou mais correntes de tráfego têm, ao mesmo tempo, a mesma indicação de semáforo para os veículos, o seu conjunto, designa-se por grupo semafórico. Geralmente, os grupos semafóricos constituem-se por movimentos direcionais que não se cruzam. No entanto, existem interseções em que as correntes de tráfego são semelhantes e, por isso, dão-se movimentos de conflito. Tendo em conta o nível de perigosidade há dois tipos de conflitos, os de 1º nível ou Primários, e os de 2º nível ou Secundários. Os de 1º nível apresentam uma perigosidade demasiado elevada e, por isso, são inaceitáveis em qualquer situação. Os de 2º nível tem um nível de aceitabilidade dependendo do seu grau de perigosidade, é necessário ter conta alguns parâmetros como os movimentos envolvidos e a carga de tráfego. Na Figura 15, estão alguns exemplos de tipos de conflitos entre movimentos direcionais incompatíveis.

No subcapítulo 3.3. Correntes de Tráfego, são explicadas as correntes de tráfego dependendo do nível de detalhe a ser estudado, nível microscópico, nível mesoscópico ou nível macroscópico.

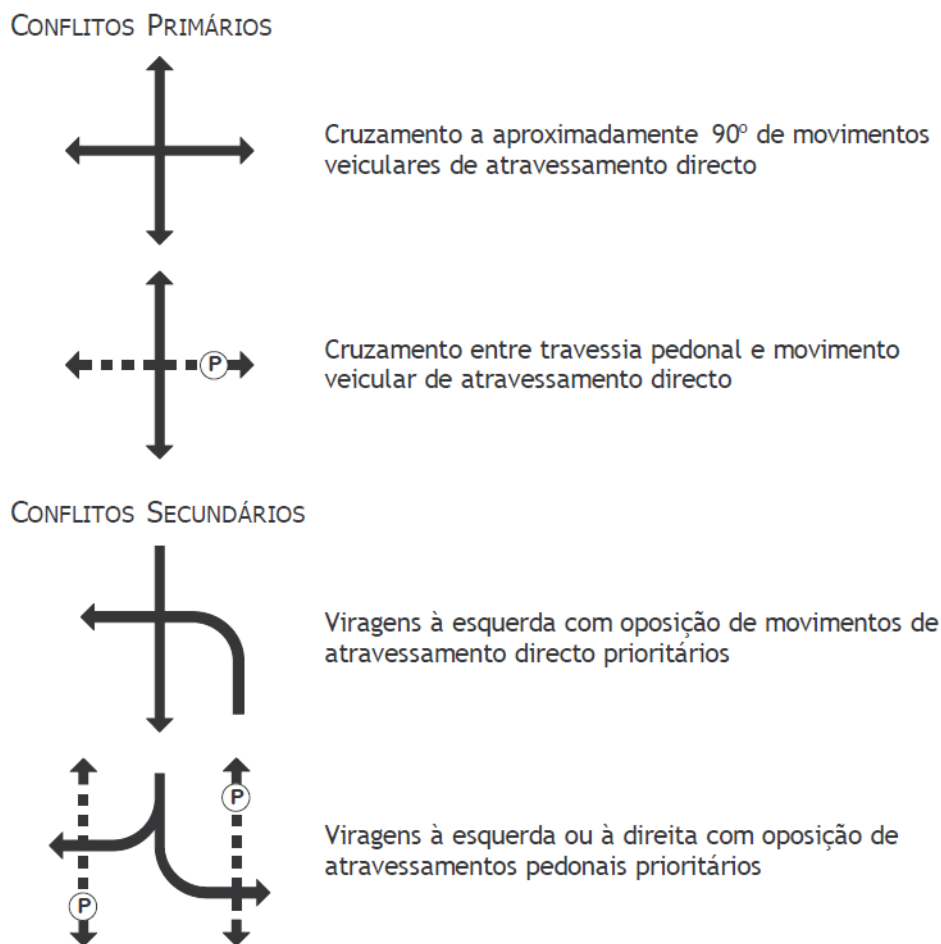


Figura 15 Exemplo de Conflitos Primários e Conflitos Secundários [9].

A caracterização de correntes de tráfego requer também algumas noções de outros conceitos que permitem o êxito da solução. Entre eles estão: a Procura que é *o volume/débito dos veículos referente a cada uma das correntes de tráfego que chegam ao cruzamento no período para o qual se pretende definir o plano de regulação é obtido, preferencialmente, por contagens locais*; a Partida dos veículos que acontece durante os tempos de luz verde e amarelo e, o ritmo de partidas é aceite como constante ao longo tempo exceto nos instantes inicial e final. No início o ritmo é mais lento, pois os condutores ainda estão em fase de arranque. No período final, aquando do sinal amarelo, o ritmo abranda até se tornar nulo.; e o débito de saturação que é o fluxo máximo de passagem de veículos, ou seja, desde que o primeiro veículo avança até que a distância entre veículos é a menor ao longo do tempo de luz verde. Este é calculado para cada via, logo, quando uma corrente de tráfego é composta por mais do que uma via, o seu débito de saturação é a soma dos débitos de cada via [9].

3.2.1.3. Plano de regulação

O plano de regulação caracteriza-se pelos parâmetros ciclo, fases e períodos de transição [9].

Uma fase é um período de tempo durante a qual uma ou mais correntes de tráfego podem avançar, enquanto as outras estão proibidas de o fazer. O início da fase ocorre quando, pelo menos uma corrente de tráfego, fica com luz verde e termina quando perde a permissão de passagem, ou seja, no início de luz amarela ou verde intermitente [9].

Um ciclo compõe-se pela sequência de fases que ocorre quando todas as correntes de tráfego têm permissão para avançar. Este é medido entre instantes homólogos, ou seja, desde que se inicia uma fase, passa por todas as correntes de tráfego, e volta a esse mesmo instante de início dessa primeira fase [9].

Os períodos de transição caracterizam-se pela transição entre fases, ou seja, depois do fim de uma fase e o início da próxima. Entre duas fases ocorrem os tempos de luz amarela e vermelha que permitem que as mudanças de fases se realizem com segurança. Há dois tempos essenciais para a transição de fases, o tempo de amarelo e o tempo de limpeza [9].

O tempo de amarelo existe para avisar os condutores da mudança de estado do semáforo e para que haja uma adaptação do seu comportamento como abrandar com a aproximação do semáforo, caso seja possível. Como tal, e sendo que por vezes os veículos já se encontram na linha do semáforo, é necessário que o amarelo dê tempo suficiente para que o condutor consiga percorrer o troço necessário ao seu movimento em segurança.

O tempo de limpeza é o conjunto de tempo de luz amarela e luz vermelha para que não ocorram conflitos entre correntes de tráfego. Este tempo depende da corrente de tráfego que sucede a atual, uma vez que o seu movimento pode ser mais complexo e precisar de mais tempo para que esteja completo em segurança. Tal como o nome indica, este tempo permite “limpar” a interseção entre fases.

3.3. CORRENTES DE TRÁFEGO

As correntes de tráfego, neste caso unicamente constituídas por veículos, podem ser caracterizadas pela forma como estão distribuídos os veículos ao longo do espaço e tempo

recorrendo ao uso de probabilidades e estatística, atendendo que algumas características do escoamento de tráfego apresenta dados aleatórios [38].

O estudo das correntes de tráfego pode ser realizado através de três diferentes níveis de detalhe, o nível microscópico, o nível mesoscópico e o nível macroscópico, Figura 16.

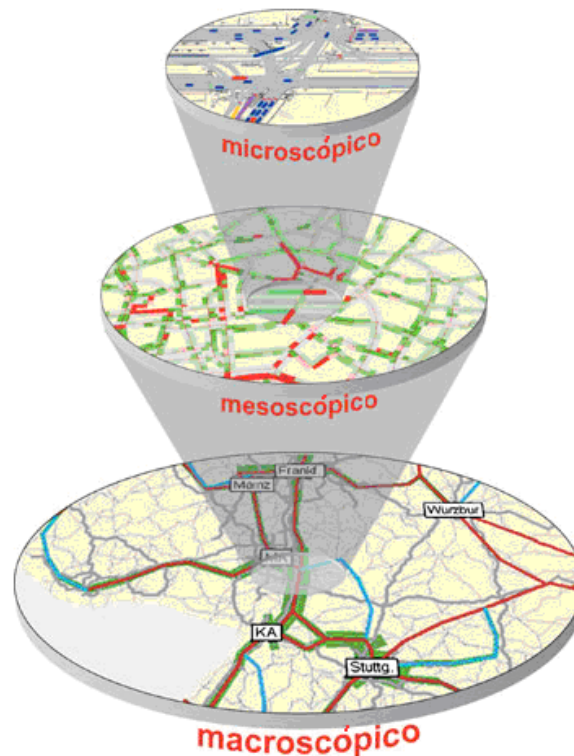


Figura 16 Diferentes níveis de detalhe [39].

3.3.1. DIAGRAMA ESPAÇO-TEMPO

O diagrama espaço-tempo permite visualizar as trajetórias de itinerário dos veículos e analisar vários problemas de tráfego, como a coordenação de sinais luminosos, a ultrapassagem entre veículos, a interação dos veículos em passagens estreitas, etc. [38].

O diagrama, Figura 17, é a representação dos movimentos dos veículos através da função $x(t)$. x , eixo das ordenadas, é a distância percorrida pelo veículo partindo de um ponto de referência e t , eixo das abcissas, o tempo gasto para percorrê-la.

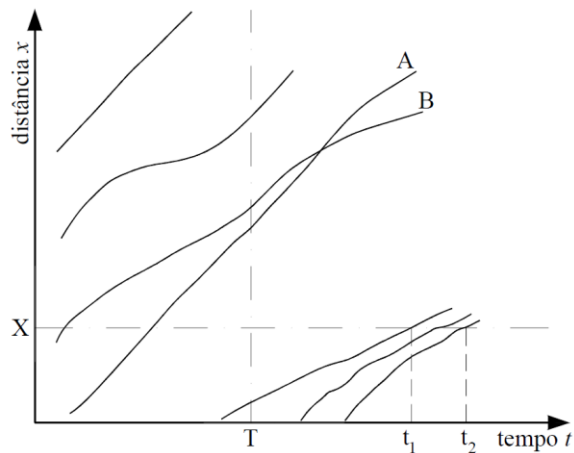


Figura 17 Diagrama Espaço-Tempo [38].

As curvas apresentadas na Figura 17 permitem entender o movimento dos veículos, nomeadamente a velocidade e a aceleração que são, respetivamente, a primeira e a segunda derivada de $x(t)$. O declive e curvatura da reta indicam o valor da velocidade e aceleração.

Analisando as linhas do gráfico é possível afirmar que a velocidade é constante, quando se apresenta uma reta, ou variável, quando se visualiza uma curva. Havendo variação de velocidade, é permitido verificar se há aceleração ou desaceleração dependendo se a curva é convexa ou côncava, respetivamente.

Pela análise gráfica também é permitido afirmar que o veículo B foi ultrapassado pelo veículo A, e que os veículos estiveram muito próximos entre t_1 e t_2 na secção X.

3.3.2. NÍVEL MICROSCÓPICO

A caracterização microscópica realiza-se considerando os veículos isoladamente e atribuindo às suas propriedades (velocidade, espaçamento, etc.) variáveis aleatórias e respetiva distribuição de probabilidade [38].

3.3.2.1. Tempo entre veículos

O tempo entre veículos, h , é o tempo que se verifica entre a passagem de dois veículos sucessivos tendo em atenção um ponto de referência, como o para-choques ou a roda dianteira, registados num local fixo [38].

No diagrama espaço-tempo da Figura 18, é possível observar trajetórias de dois veículos, i e $i + 1$.

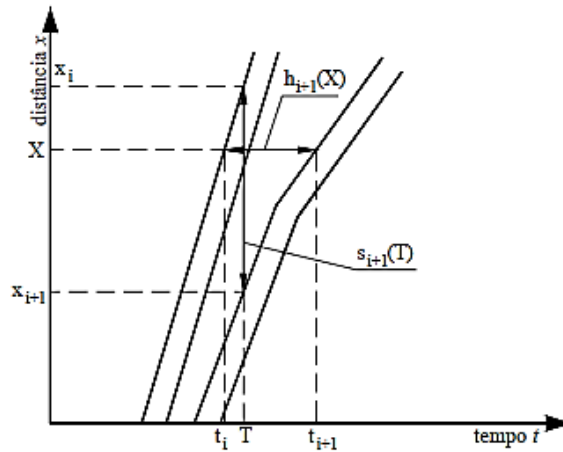


Figura 18 Tempo e distância entre veículos [38].

h_{i+1} , corresponde ao veículo $i + 1$., inclui o tempo de passagem do veículo anterior, i , e o intervalo de tempo entre a passagem do para-choques traseiro do veículo i e o para-choques dianteiro do veículo $i + 1$. O seu cálculo é dado pela diferença entre os instantes de passagem dos veículos de ordem i e $i + 1$, pela Equação (1).

$$h_{i+1} = t_{i+1} - t_i. \quad (1)$$

em que,

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

t_i – instante de passagem do veículo i ;

t_{i+1} – instante de passagem do veículo $i + 1$.

O tempo entre veículos é, sobretudo, usado na análise da segurança rodoviária, para distinguir os veículos que circulam ou não em regime congestionado, na normalização dos sinais luminosos, nos estudos de capacidade em cruzamentos prioritárias, etc. [38].

3.3.2.2. Distância entre veículos

A distância entre veículos, s , é a extensão que se verifica entre a passagem de dois veículos sucessivos tendo como ponto de referência o para-choques ou a roda dianteira, num dado instante [38].

Através da Figura 18 é possível observar a distância entre dois veículos, i e $i + 1$. s_{i+1} , distância correspondente ao veículo $i + 1$, é dada pela diferença entre as distâncias à origem dos veículos de ordem i e $i + 1$, dado pela Equação (2).

$$s_{i+1} = x_i - x_{i+1}. \quad (2)$$

em que,

s_{i+1} – distância entre veículos do veículo $i + 1$;

x_i – distância à origem do veículo i ;

x_{i+1} – distância à origem do veículo $i + 1$.

A distância entre veículos é pouco usada em estudos de tráfego pois o conteúdo que se obtém é equiparado ao obtido no cálculo do tempo entre veículos e o seu processo de medição é mais complicado. No entanto, esta permite definir a distância a respeitar entre veículos, necessária na segurança rodoviária [38].

3.3.2.3. Velocidade individual

A velocidade, distância percorrida por unidade de tempo, é uma das características fundamentais para o estudo das correntes de tráfego. O seu conhecimento permite determinar o nível de serviço de uma estrada, estimar os níveis de consumo de combustível e poluição gerada, realizar estudos económicos, estudar fatores da segurança rodoviária, e outros [38].

A velocidade dos veículos que circulam num determinado troço, ao longo do tempo, não é constante por isso, a velocidade é uma variável aleatória. Nalguns estudos de tráfego, é relevante ter o registo contínuo da velocidade ao longo de um percurso, para ser possível traçar o perfil de velocidade num sistema de eixos, a velocidade nas ordenadas e a distância percorrida nas abcissas. A velocidade de percurso ou velocidade de operação considera o tempo em que o veículo está em movimento e parado, a velocidade de marcha apenas considera o tempo em que o veículo se encontra em movimento.

3.3.3. NÍVEL MESOSCÓPICO

O nível de detalhe mesoscópico é de carácter intermédio, não distingue os veículos como elementos singulares, mas sim em grupos de veículos, por exemplo de uma forma probabilística. Apresenta menor nível de detalhe nas atividades e interação entre veículos que o nível microscópico. No entanto, é utilizado para a reduzir do tempo necessário para a simulação através da junção dos resultados dos modelos microscópicos. O nível mesoscópico apresenta um maior nível de detalhe do que o nível macroscópico [39].

3.3.4. NÍVEL MACROSCÓPICO

Na caracterização macroscópica considera-se o tráfego como um todo, não há distinção de veículos de forma individual nem em grupo. Não é um nível de detalhe individual mas sim generalizado [38].

3.3.4.1. Débito

O débito, q , é a distribuição de veículos no tempo, determinado pelo número de veículos que percorrem uma dada secção num intervalo de tempo considerado, geralmente expresso em $veic/h$ e calculado pela Equação (3) [38].

$$q(t_1, t_2, x) = \frac{n(t_1, t_2, x)}{t_2 - t_1}. \quad (3)$$

em que,

$n(t_1, t_2, x)$ – número de veículos que percorrem a secção x num intervalo de tempo considerado;

$t_2 - t_1$ – intervalo de tempo considerado.

É possível relacionar o débito, q , com o valor médio do intervalo entre veículos, \bar{h} , através da Equação (4).

$$q = \frac{1}{\bar{h}} \quad (4)$$

O débito determina-se através da contagem de veículos em intervalos de tempo inferiores a 1 hora, o que indica qual seria o volume de tráfego que se escoaria caso o ritmo de passagem dos veículos se mantivesse. A diferença entre débito e volume de tráfego ocorre

devido à diferença dos intervalos de tempo considerados, mas expressam-se nas mesmas unidades, *veic/h*.

De forma a melhor uma compreensão destes dois conceitos, débito e volume de tráfego, apresenta-se um exemplo onde se expõe contagens realizadas em 4 períodos sucessivos de 15 minutos, entre as 10h00 e as 11h00, na Tabela 2.

Tabela 2 Exemplo de diferença entre débito e volume de tráfego [38].

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

No intervalo de tempo considerado, é possível afirmar-se que o volume de tráfego é igual a 1300 *veic/h* e que o débito, dependendo do intervalo de tempo considerado, varia entre 1120 *veic/h* e 1600 *veic/h*.

3.3.4.2. Concentração

A concentração, k , refere-se à distribuição dos veículos no espaço, evidenciando a possibilidade de manobra dos condutores [38]. É avaliada pelo número de veículos por unidade de comprimento, exprimindo-se, geralmente, em *veic/km*. A concentração no instante t num comprimento de estrada considerado, $x_2 - x_1$, é obtida pela Equação (5).

$$k(x_1, x_2, t) = \frac{n(x_1, x_2, t)}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

em que,

$n(x_1, x_2, t)$ – número de veículos no instante t ;

$x_2 - x_1$ – comprimento de estrada considerado.

É possível determinar a concentração com o valor médio da distância entre veículos, \bar{s} , através da Equação (6).

$$k = \frac{1}{\bar{s}}. \quad (6)$$

3.3.4.3. Taxa de ocupação

A taxa de ocupação, \emptyset , é a percentagem de tempo que o sensor de tráfego, espira eletromagnética que se encontra enterrada no pavimento, está ativado pela presença de veículos sucessivos [38]. O seu cálculo é feito através da Equação (7).

$$\emptyset = \frac{\sum t_i}{T} \times 100. \quad (7)$$

em que,

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

T – tempo de observação.

3.3.4.4. Velocidade média

Nas correntes de tráfego aplicam-se duas diferentes definições para velocidade média, a velocidade média no espaço e a velocidade média no tempo.

A velocidade média no espaço, u_s , refere-se à média ponderada pelas concentrações das velocidades, num certo instante, dos veículos observados numa secção da estrada. A velocidade média no espaço é obtida pela Equação (8) sendo dada em unidade de distância por unidade de tempo [38].

$$u_s = \frac{\sum k_i u_i}{\sum k_i}. \quad (8)$$

em que,

u_i – velocidade dos veículos numa corrente de tráfego constituída por correntes de tráfego elementares cujos veículos têm todos a mesma velocidade;

k_i – concentração da corrente de tráfego elementar i .

A velocidade média no tempo, u_t , caracteriza-se pela média ponderada das velocidades dos veículos, num dado intervalo de tempo, que passam numa secção. A velocidade média no tempo é obtida pela Equação (9) sendo dada em unidade de distância por unidade de tempo [38].

$$u_t = \frac{\sum q_i u_i}{\sum q_i} \quad (9)$$

em que,

u_i – velocidade dos veículos numa corrente de tráfego constituída por correntes de tráfego elementares cujos veículos têm todos a mesma velocidade;

q_i – débito da corrente de tráfego elementar i .

3.3.4.5. Relação entre Débito, Velocidade e Concentração

Admitindo uma corrente de tráfego analisada em n correntes de tráfego elementares i , em que os veículos se movimentam à mesma velocidade [38]. O débito, q , é obtido pela Equação (10) e a concentração, k , é dada pela Equação (11).

$$q = \sum q_i \quad (10)$$

$$k = \sum k_i \quad (11)$$

em que,

q_i – débito da corrente de tráfego i ;

k_i – concentração da corrente de tráfego i .

É possível calcular o débito da corrente de tráfego elementar i , q_i , através da relação da Equação (12).

$$q_i = k_i u_i \quad (12)$$

em que,

k_i – concentração da corrente de tráfego i ;

u_i – velocidade dos veículos da corrente de tráfego i .

Atendendo à definição de velocidade média no espaço, u_s , assim como, a Equação (8) e as relações antes apresentadas pela Equação (10) e Equação (11) é possível estabelecer a relação da Equação (13) designada por relação fundamental das correntes de tráfego.

$$u_s = \frac{q}{k}. \quad (13)$$

3.4. MATRIZ OD

A matriz Origem-Destino (OD) representa os percursos de cada veículo entre duas diferentes zonas, num certo espaço de tempo [1].

O conceito de zona, áreas geográficas distintas com características semelhantes, permite que se considerem percursos interzonas, começam e terminam em diferentes zonas, mas não percursos intrazonas, começam e terminam na mesma zona. Aquando da utilização de zona, admite-se que os percursos iniciam e findam no seu centroide, centro de atividade. Há dois tipos de zonas, as zonas internas, apresentam-se dentro da área de estudo, e as zonas externas, estão fora da área considerada [7].

A dimensão das zonas é um fator importante para que o modelo seja fiável e caracterize a realidade, dependendo não só do objetivo do estudo a realizar, mas também do tipo e tamanho da área a considerar. Normalmente, zonas com grande dimensão são utilizadas em meios rurais, os fluxos de tráfego não serão estimados com muita precisão, mas a matriz será mais fiável. Nos meios urbanos, as zonas serão consideravelmente mais pequenas, o que causa uma amostra inferior para as células da matriz e, conseqüentemente, diminui a fiabilidade das estimativas dos percursos e dos fluxos, podendo exigir recursos possivelmente incompatíveis.

A Figura 19 é uma representação da infraestrutura de transportes. Através dela é possível observar uma rede, constituída por arcos, nós e centroides. Os arcos representam os segmentos de vias rodoviárias ou linhas de transportes públicos. Os nós definem as interseções ou outros lugares da rede em que haja discontinuidades. Os centroides estão ligados à rede pelos seus conectores.

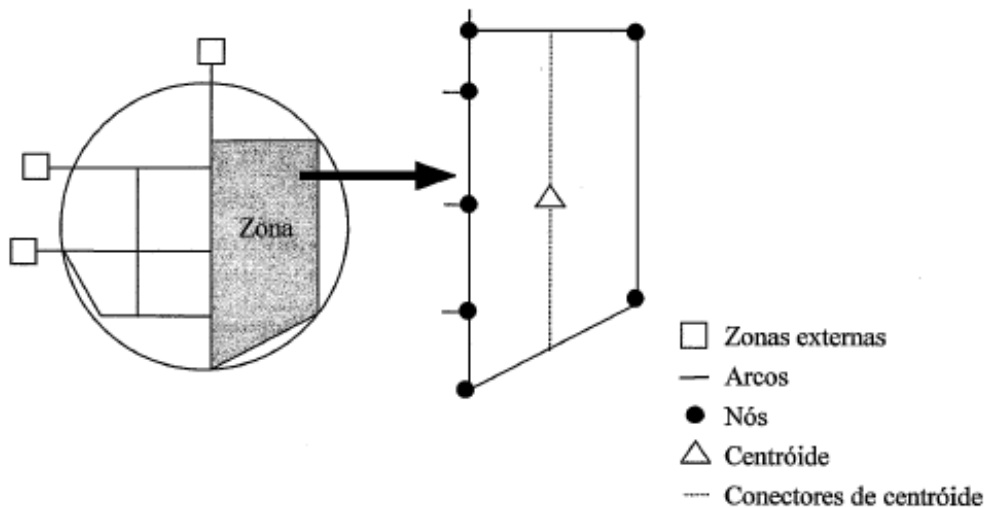


Figura 19 Representação de uma rede de transportes [7].

O reconhecimento dos nós inicial e final, os tempos de percurso ou as velocidades para as características normais de tráfego, as capacidades e os sentidos da circulação são os principais fatores que caracterizam os arcos. Definem-se pela identificação da sua localização geográfica e particularidades operacionais das interseções, como tipologia, níveis de prioridade, capacidades, etc. Ao representar a rede é exequível simular os percursos ao longo da rede constituída por arcos e nós que iniciam na sua zona de geração e acabam na sua zona de atração [7].

A matriz OD define a procura de transporte quantificando as viagens realizadas entre uma origem e um destino num dado período de tempo [1]. Na Figura 20 é possível observar uma matriz OD onde cada linha corresponde a uma origem, i , e cada coluna a um destino, j [39].

No cruzamento entre uma linha e uma coluna apresenta-se a quantidade de viagens efetuadas entre a origem e o destino correspondentes [5]. A diagonal, células correspondentes à mesma origem e destino, intrazonas, apresentam o valor nulo por não haver possibilidade de as contabilizar. A última coluna representa o débito total com destino no ramo j , $O_i = \sum_j T_{ij}$, por exemplo, O_1 é a soma total das contagens efetuadas nas viagens entre a origem 1 e os destinos considerados. A última linha demonstra o débito total com origem no ramo i , $D_j = \sum_i T_{ij}$, por exemplo, D_2 é a soma de todas contagens feitas entre as origens disponíveis e o destino 2. A célula onde se cruzam as últimas linha e coluna, apresenta o valor total das contagens entre as diferentes origens e os vários destinos, $\sum_{ij} T_{ij} = T$ [38].

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{cccccc}
 & & & \text{Destino} & & \\
 \text{Origem} & 1 & 2 & \dots & j & \dots & n & \sum_j T_{ij} \\
 1 & 0 & t_{12} & \dots & t_{1j} & \dots & t_{1n} & O_1 \\
 2 & t_{21} & 0 & \dots & t_{2j} & \dots & t_{2n} & O_2 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\
 i & t_{i1} & t_{i2} & \dots & 0 & \dots & t_{in} & O_i \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\
 n & t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nj} & \dots & 0 & O_z \\
 \sum_i T_{ij} & D_1 & D_2 & \dots & D_j & \dots & D_n & \sum_{ij} T_{ij} = T
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figura 20 Matriz OD [38].

O desenvolvimento de uma matriz OD requer atenção em vários fatores [5]. Entre eles, planejar os sítios e momentos em que se fará a recolha dos dados, monitorizar imagens, fazer entrevistas, analisar os serviços das forças de segurança, entre outros que solicitam uma quantidade significativa de recursos. Recursos esses que, quando não obtidos, podem não possibilitar obter dados exatos, fiáveis e atualizados em tempo útil.

3.5. SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Os ITS surgem como necessidade de controlar o tráfego automóvel. Requerem uma pesquisa de diferentes aspetos como eletrónica, controlo, comunicação, sensores, robótica, processamento de sinal e sistemas de informação de forma a implementar a melhor solução nas diferentes vias onde atua. Por conseguinte, aplica comunicação avançada, informação e tecnologia eletrónica para resolver os problemas de transporte como os congestionamentos, a segurança, a eficiência dos transportes e a conservação do meio ambiente [1] [11].

O sistema ITS tem sido feito, progressivamente, desde os anos 30 sendo os seus principais criadores a Europa, os Estados Unidos da América (EUA) e o Japão [1] [11].

3.5.1. CATEGORIAS DO ITS

O ITS tem várias categorias, sendo as seis apresentadas as mais importantes.

3.5.1.1. Sistemas Avançados de Gestão de Tráfego (SAGT)

Esta categoria é uma das mais importantes do ITS. Uma central localizada recebe, processa e dá resposta às informações de tráfego em tempo real através de câmaras de vídeo, sinais de rede, sinais de mensagens variáveis, semáforos, entre outros [11].

Os principais componentes do SAGT são:

- Equipa de recolha de dados – monitoriza as condições rodoviárias;
- Sistemas de suporte – utilização de câmaras, sensores, semáforos e ecrãs eletrónicos que ajudam os operadores do sistema a controlar o tráfego em tempo real;
- Sistemas de controlo de tráfego em tempo real – combinação da informação fornecida pelos dois componentes anteriores por forma a alterar semáforos, enviar mensagens para ecrãs eletrónicos e controlar acessos às estradas.

Um exemplo de *software* do tipo SAGT é o GERTRUDE, desenvolvido pela GERTRUDE SAEM. É o sistema de controlo de tráfego utilizado pela CMP.

O *software* GERTRUDE tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de melhorar a fluidez do tráfego automóvel. Este sistema leva à redução da poluição provocada pelos veículos e dá maior segurança à população da cidade. Permite a resolução de problemas de trânsito, facilitando a circulação dos transportes públicos, onde também é possível dar prioridade aos veículos de emergência [6].

Este sistema atua nos semáforos de cada interseção tendo por base dois princípios [7]:

- i. circulação fluida – existe um conjunto de planos de regulação para cada zona. Estes são previamente calculados e escolhidos, em função do ciclo compatível com os dados fornecidos pelos detetores estratégicos de contagens de tráfego e das taxas de ocupação. A transição desses planos é realizada de cinco em cinco segundos;
- ii. circulação com saturação – procede-se a áreas de armazenamento de veículos, de forma que a circulação em geral se mantenha fluida. Isto é conseguido através da redução da capacidade das interseções, que controlam as artérias e que permitem o armazenamento de alguns veículos, sem que se prejudique a circulação geral.

O *software* concede prioridade absoluta aos veículos de emergência, baseado num sistema centralizado. Essa prioridade é conseguida, caso os veículos tenham equipamento específico que possa enviar um dado pedido ao controlados de tráfego existente na interseção luminosa e que comunicará com o sistema central. O *software* possibilitará a passagem desse veículo ao longo das instalações que o passe (desde que estejam ligadas ao sistema).

Para que os transportes públicos tenham prioridade, podem criar-se faixas rodoviárias nas áreas de armazenamento e antecipar-se o sinal verde nas interseções que controlam estas zonas. Assim, estes veículos são os primeiros a beneficiar da fluidez da zona central. Este controlo é realizado através de equipamentos de regulação de tráfego sendo que existem dois principais, os controladores de tráfego e os sensores eletromagnéticos.

3.5.1.2. Sistemas Avançados de Informação para Viajantes (SAIV)

O SAIV tem como função fornecer informação de tráfego, em tempo real, aos viajantes. Este sistema permite diminuir congestionamentos, melhorar o fluxo de tráfego e reduzir a poluição pois os condutores, através da informação obtida, decidem qual a melhor rota a tomar.

A informação pode ser transmitida através de ecrãs eletrónicos portáteis, com ligação à Internet, ou sistemas do próprio veículo. Estas opções, dependendo do seu nível tecnológico, permitem visualizar o mapa em tempo real com informação de tráfego na localização atual assim como das áreas envolventes. Possibilitam evitar eventuais atrasos ou acidentes, verificar a passagem de transportes públicos, conhecer estradas alternativas, estações de combustíveis, parques de estacionamento, hotéis, entre outros. Caso haja um destino predefinido, estes sistemas ajudam na escolha da melhor via dependendo do tipo de rota que deseja adotar, como mais rápida ou mais económica, por exemplo. A informação do trânsito também pode ser recolhida através das estações de rádio, mas de forma pontual e apenas fornecida, normalmente, sobre as grandes cidades ou através do contacto telefónico fornecido pelas mesmas [11].

Um exemplo de SAIV é a aplicação *Waze*, Figura 21, desenvolvida em 2009 [40]. Esta permite realizar uma rota entre a origem e o destino, alertando para diversas situações em tempo real, Figura 22, como trânsito (moderado, intenso ou parado), polícia (visível, não visível ou no sentido contrário), acidentes (ligeiro, grave ou no sentido contrário), perigos (na berma, na estrada ou tempo meteorológico), passagem de nível, radares, cortes, etc.

Apresenta várias possibilidades de percursos entre a origem e o destino mostrando a distância, o tempo médio e as situações a ocorrer para cada um deles, Figura 23. Os alertas são colocados na aplicação pelos vários utilizadores da plataforma por forma a facilitar o seu percurso e dos restantes utentes. Cada um pode avaliar os demais alertas, ou alterá-los conforme a sua experiência ao longo da sua deslocação. Ou seja, os avisos da aplicação *Waze* são colocados pelos seus vários utilizadores. A aplicação permite também programar uma rota, dependendo da hora a que se pretende sair da origem ou chegar ao destino, enviando um aviso para sair, ou ainda verificar as horas de mais e menos trânsito para fazer um dado percurso, Figura 24.



Figura 21 Logótipo da aplicação *Waze* [40].

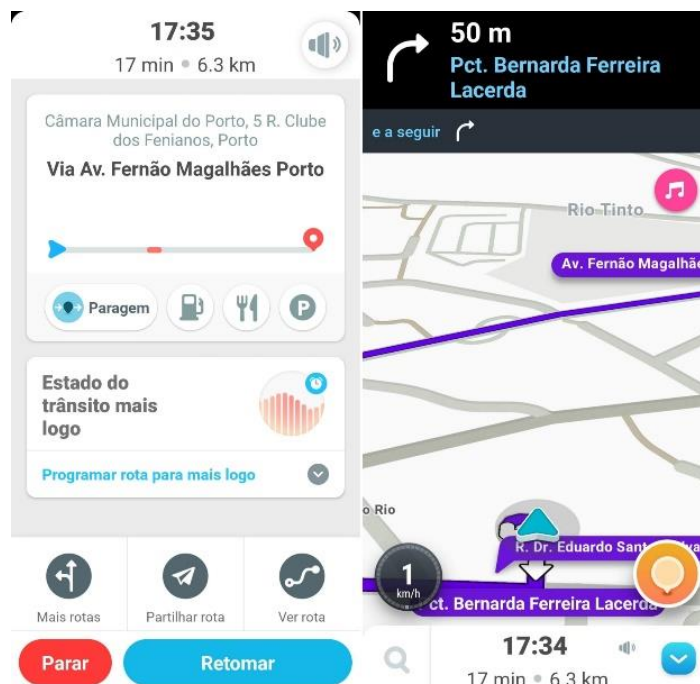


Figura 22 *Printscreen* com as informações relevantes, à esquerda, e de navegação, à direita.

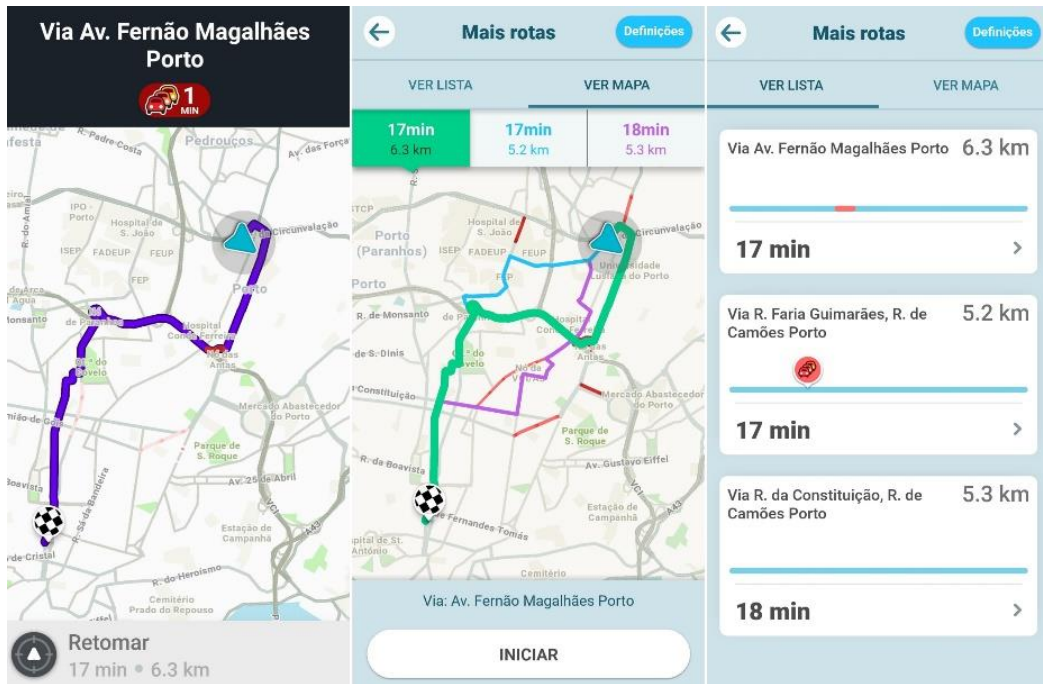


Figura 23 *Printscreen* da rota escolhida, das várias rotas possíveis apresentadas em mapa e em lista para optar pela mais conveniente, da esquerda para a direita, respetivamente.

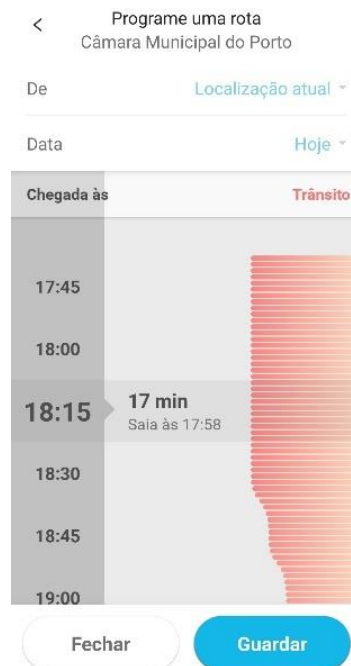


Figura 24 *Printscreen* do menu de programação de rota.

3.5.1.3. Sistemas de Operação de Veículos Comerciais (SOVC)

Os sistemas SOVC utilizam tecnologias do ITS de forma a responder às necessidades dos veículos comerciais, sendo eles, camiões, camionetas, autocarros interurbanos e veículos de emergência.

Os SOVC possibilitam gerir todos os veículos de uma empresa como controlar a velocidade, o tempo e o local de paragem por forma a cumprir o destino, Figura 25. Assim, acresce a segurança e eficiência dos veículos comerciais e respetivas frotas [11].

Estes sistemas apresentam funcionalidades dos já referidos como a informação para viajantes, a gestão de tráfego e o controlo de veículos, e permitem:

- Identificação Automática de Veículos;
- Classificação Automática de Veículos;
- Localização Automática de Veículos;
- Detecção de Movimento Pedestre;
- Computadores de Bordo;
- Transmissão de Tráfego em Tempo Real.

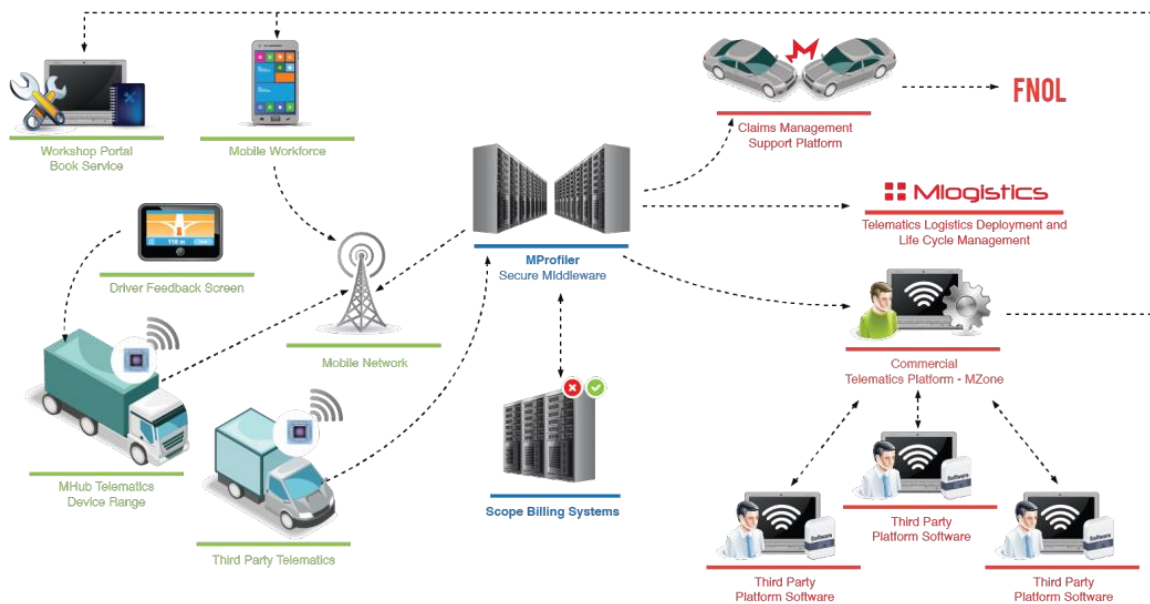


Figura 25 Centro da Gestão de Operação de Veículos Comerciais [41].

3.5.1.4. Sistemas Avançados de Transportes Públicos (SATP)

Os SATP combinam as tecnologias dos SAGT e SAIV por forma a melhorar a eficiência dos transportes públicos como o autocarro, o comboio e o metro. Estes fornecem informações sobre as estradas, os horários, os custos, as ligações entre os transportes e a passagem de um transporte em tempo real. Uma das características que permite os transportes públicos operar de melhor forma é dar-lhes prioridade, atuando os semáforos para verde [11].

Uma das aplicações que existe para visualizar as características dos transportes públicos no Porto é a “MOVE-ME.AMP”, Figura 26. A “MOVE-ME” é um serviço implementado pelo projeto europeu CIVITAS ELAN que a partir de maio de 2017 foi disponibilizado pela Área Metropolitana do Porto (AMP) com novas funcionalidades para um melhor serviço. Além de aplicação para tecnologias *Android* ou *iOS*, também é possível aceder a uma versão para *website* [42].

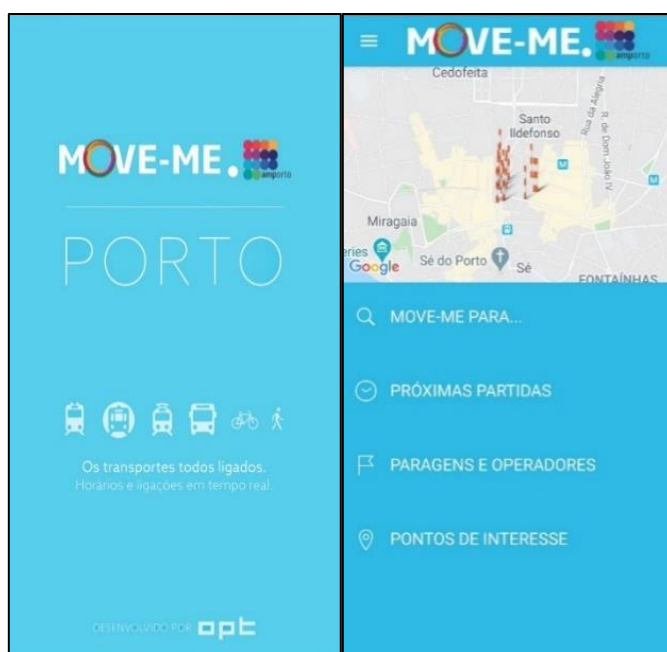


Figura 26 Printscreen da aplicação "MOVE-ME.AMP".

A aplicação apresenta várias funcionalidades como criar várias rotas entre um destino e uma origem para que o utilizador opte pela que lhe é mais conveniente, Figura 27, visualizar as próximas partidas de uma determinada paragem, Figura 28, verificar as paragens, Figura 29, e operadores assim como os respetivos horários e linhas e pesquisar por pontos de interesse para saber qual o melhor percurso.



Figura 27 *Printscreen* das rotas possíveis entre a Rua Costa Cabral e a Trindade.

amp PRÓXIMAS PARTIDAS

ARS3 Areosa

Linha	Destino	Tempo (MIN)
701	Bolhão - Prt1	3*
703	Cordoaria - Prt1	3*
703	Cordoaria	10
702	Bolhão - Prt1	12*
701	Bolhão - Prt1	21*
701	Bolhão	27
702	Bolhão - Prt1	33*
703	Cordoaria - Prt1	34*
703	Cordoaria	40
701	Bolhão - Prt1	44*
702	Bolhão - Prt1	55*

Figura 28 *Printscreen* das próximas partidas da paragem ARS3, na Areosa.

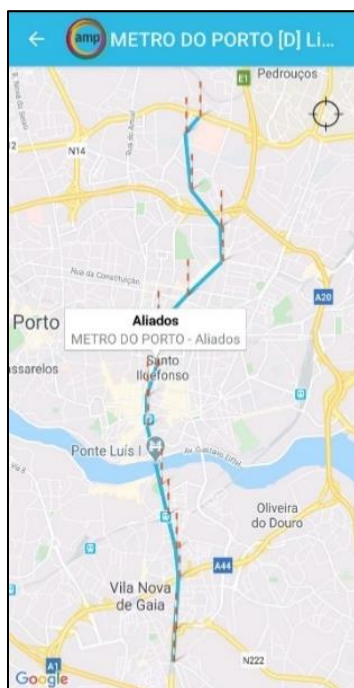


Figura 29 *Printscreen* com apresentação das paragens da linha D do metro.

3.5.1.5. Sistemas Avançados de Controlo de Veículos (SACV)

Os sistemas SACV têm como objetivo aumentar a segurança dos condutores, diminuindo os congestionamentos e acidentes nas estradas e autoestradas. Para tal, combina sensores, computadores e controlo de sistemas de forma a alertar os condutores. Estes componentes podem estar presentes na via ou no veículo, Figura 30, fornecendo informação visual ou audível sobre o tráfego [11].

Atualmente, a utilização de sensores nos veículos é comum o que facilita a condução a utilizadores com tempo de reação mais lento, como os idosos ou os condutores fadigados, evitando acidentes.

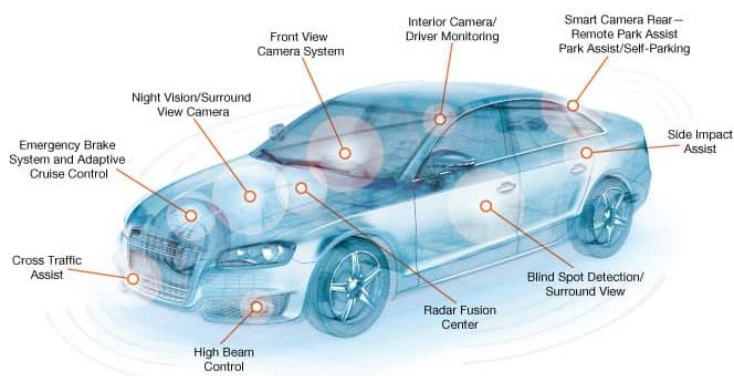


Figura 30 Componentes de um veículo presentes num SACV [43].

3.5.1.6. Sistemas Avançados de Tráfego Rural (SATR)

Os SATR são realizados para dar resposta ao tráfego das zonas rurais, comunidades ou áreas com menos de 50 000 residentes [11].

Os problemas que surgem nas estradas das zonas rurais devem-se a fatores como estradas estreitas, curvas e contracurvas, fraco sinal GPS, curvas, entroncamentos e cruzamentos com pouca visibilidade, muitos utilizadores e poucas estradas alternativas.

De forma a dar resposta a estes problemas, reduzir os acidentes e os custos e aumentar a informação turística, a segurança e o controlo de tráfego, existem os SATR. Estes sistemas utilizam, de forma adaptada, sistemas usados nas zonas urbanas como SAIV, SAGT e SATP.

3.5.2. CONTROLADORES DE TRÁFEGO DO ITS

Os controladores de tráfego possibilitam o funcionamento de um semáforo atendendo às suas etapas, fases, ciclos e planos de programação. Permitem, através de elementos que lhes estão ligados, como por exemplo sensores, detetores e outros, a receção de transmissão de dados para gestão de tráfego. Estes controladores conseguem executar as funções de regulação: temporização, funções de relógio, prioridade ao transporte público e prioridade a veículos de emergência [44].

Os sensores do sistema ITS podem dividir-se em duas categorias, intrusivos e não intrusivos [45].

Os sensores intrusivos são instalados no pavimento e têm uma elevada precisão, uma tecnologia “madura” e já está implementada em vários locais. No entanto apresentam um custo elevado quer na instalação, quer na manutenção e implicam o corte do tráfego na via aquando da sua colocação, manutenção e reparação.

Os sensores intrusivos, Figura 31, podem classificar-se em quatro grupos [45] [46]:

- sensores magnéticos – consiste num sensor instalado no pavimento que deteta veículos através da alteração do campo magnético. Permitem obter informações acerca do fluxo de tráfego, da presença de viaturas paradas e da velocidade dos veículos. São os sensores adequados para pontes.;

- sensores de tubo pneumático – consiste em um ou mais tubos, colocados no pavimento, que quando um pneu de um veículo o atinge, cria uma pressão de ar que origina um sinal elétrico e este é transmitido para a unidade de processamento. Possibilitam controlar e contabilizar o número de veículos que passam na via rodoviária, assim como classificá-los.;
- espira eletromagnética – é o sensor utilizado com mais frequência, apesar de ser necessária uma quantidade elevada de espiras para uma boa precisão e requerer o levantamento de pavimento para a sua instalação, manutenção e reparação. A espira consiste num fio enrolado formando um circuito fechado usado para detetar variação do campo eletromagnético na espira e transformá-lo num sinal elétrico, enviado para a unidade de processamento. Permite obter informações sobre movimento, presença e velocidade da viatura e ainda contabilizar o número de veículos.;
- piezelétrico – consiste num disco colocado no pavimento que, aquando da passagem de um veículo, sofre uma deformação que se traduz numa variação de tensão. Estes sensores possibilitam recolher os dados de, no máximo, quatro faixas de rodagem, verificar a velocidade do tráfego, assim como contabilizar e classificar os veículos que o atravessam (um veículo ligeiro provocará uma diferença de tensão inferior à de um veículo pesado, por exemplo).

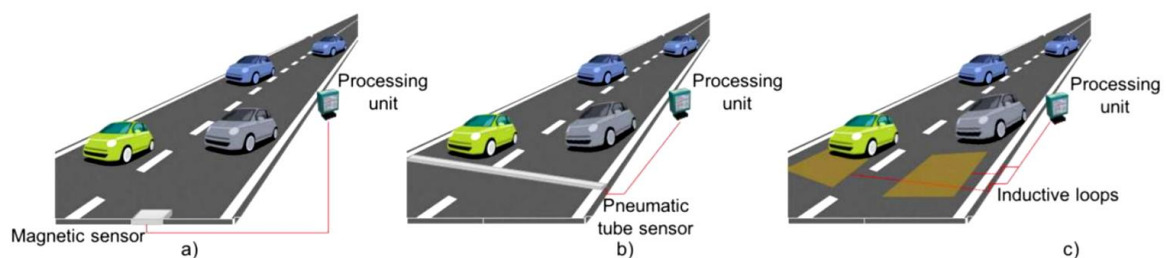


Figura 31 Sensores intrusivos: a) sensor magnético; b) sensor de tubo pneumático; c) espiras eletromagnéticas [45].

Os sensores não intrusivos são instalados em diferentes locais da faixa rodoviária. Alguns são colocados num mastro que cobre a área de interesse. Outros numa estrutura tipo ponte colocada sobre a estrada e que deteta diretamente os veículos das várias faixas rodoviárias. E, por fim, na berma, perto do solo, com um laser que atravessa a faixa rodoviária e sofre

alterações aquando do atravessar dos veículos (normalmente colocado em ruas com uma única faixa rodoviária devido à sua sensibilidade a interferências de outros objetos).

Estes sensores são colocados em zonas estratégicas dependendo das informações que se pretendem recolher e permitem verificar o fluxo de trânsito, a velocidade dos veículos, a fila causada por um semáforo, as condições atmosféricas e de pavimento, por exemplo. No entanto são caros e podem ser afetados pelas condições climáticas como a neve, nevoeiro, chuva, poeiras e outros. Além disso, como são mais facilmente detetados pelos utilizadores das viaturas, estes acabam por mudar o seu comportamento na estrada como reduzir a velocidade, por exemplo.

Os sensores não intrusivos, Figura 32, podem classificar-se em sete grupos [45][46]:

- Processador de imagens de vídeo – é um sistema constituído por câmaras de vídeo, um computador para processar as imagens e um *software* capaz de interpretar as imagens de vídeos captadas e transformá-las em dados de tráfego. Permitem classificar os veículos, detetar a velocidade para cada categoria, identificar viaturas nas diferentes vias, em circulação ou paradas e o fluxo de trânsito. A maior desvantagem das câmaras de vídeo é a sua suscetibilidade às condições climáticas que diminuem o seu desempenho.;
- Radares – Este tipo de sensores transmite micro-ondas de baixa energia que é refletida pelos objetos dentro da zona de cobertura. Dividem-se em dois tipos: sistema *Doppler* e radar de ondas contínuas. O sistema *Doppler* usa a mudança de frequência para identificar o número de veículos e determinar de forma precisa a velocidade de cada um. O radar de ondas contínuas é modulado por uma frequência contínua onde as ondas são irradiadas com uma potência contínua e recolhem dados como o fluxo do tráfego e a presença e velocidade dos veículos. Os radares permitem verificar o volume de veículos, gerir a sua velocidade, detetar a direção do movimento e efetuar a gestão dos semáforos. Estes sensores, geralmente, são muito precisos e fáceis de instalar e possibilitam detetar várias zonas que seja dia ou noite. A sua principal desvantagem é a suscetibilidade a interferências eletromagnéticas.;
- Sensores por infravermelhos – Estes sensores detetam a energia que os veículos, as superfícies rodoviárias ou outros objetos geram, convertem-na em sinais elétricos e

envia-os para a unidade de processamento. Dividem-se em duas categorias, sensores infravermelhos passivos e sensores infravermelhos ativos. Os sensores infravermelhos passivos detetam os veículos com base na emissão ou reflexão da radiação infravermelha e permitem receber informação sobre o fluxo de tráfego e a presença e ocupação de veículos. Os sensores infravermelhos ativos usam díodos emissores de luz (LED) ou díodos de laser para medir o tempo de reflexão e obter dados sobre a presença, velocidade e categoria dos veículos, assim como fluxo e volume de tráfego.;

- Sensores de ultrassons – Estes sensores calculam a distância entre dois objetos baseados no tempo percorrido entre uma onda sonora transmitida, com frequências entre os 25 kHz e os 50 kHz e refletida no sensor por um objeto. A energia recebida é convertida em energia elétrica e enviada para a unidade de processamento. Os sensores de ultrassons permitem recolher dados como o fluxo de trânsito e a velocidade dos veículos. A maior desvantagem deste tipo de sensores é a sensibilidade a alterações atmosféricas.;
- Sensores acústicos – Estes sensores utilizam um conjunto de microfones para detetar o aumento da energia sonora gerada por um veículo a aproximar-se da zona de cobertura do sensor. Usados no desenvolvimento de aplicações para medir a presença e passagem de veículos, assim como a sua velocidade e o volume de tráfego. Este tipo de sensores tem vindo a substituir as espiras eletromagnéticas para recolher dados como volume de tráfego, ocupação e velocidade média dos veículos.;
- Sensores que informam sobre as condições da estrada – Estes sensores utilizam tecnologias laser e infravermelho para saber as condições climatéricas como a temperatura, as condições e aderência da estrada para possibilitar segurança rodoviária. Este sensor requer manutenção regular para manter o seu nível de desempenho.
- Sensores de identificação por radiofrequência (RFID) – Este tipo de sensores utiliza a frequência de rádio para recolher dados. São usados para identificar veículos na estrada e para parques de estacionamento inteligente.

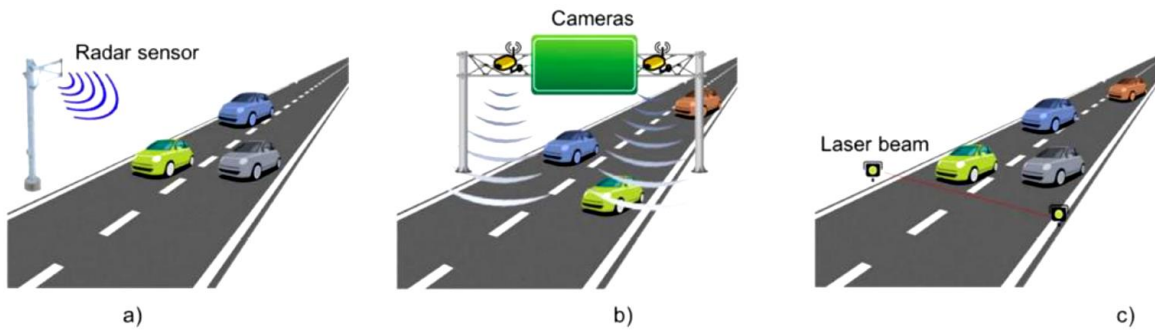


Figura 32 Sensores não intrusivos: a) num mastro b) “ponte” de sensores c) na berma [45].

Qualquer um dos sensores é importante, mas, para uma recolha de dados fiável é necessário que haja uma calibração correta de cada um deles. O ITS utiliza todos os tipos sensores para obter uma avaliação adequada a cada situação. Os dados recolhidos permitem que a resposta, por parte do ITS, seja feita de forma rápida e eficaz.

4. SOFTWARE E HARDWARE

O controlo de tráfego automóvel pela CMP requer o uso de vários *softwares* e *hardwares* específicos para que seja possível dar a resposta expectável. Entre eles estão as câmaras utilizadas em diferentes pontos e cruzamentos estratégicos, respetivos programas para a sua calibração e/ou manuseio e, eventualmente, algum *software* que permita simulação de tráfego, como o SUMO por exemplo.

4.1. CÂMARA MIC IP STARLIGHT 7100I

Atualmente a CMP tem vindo a alterar algumas das câmaras presentes na cidade do Porto, assim como acrescentar algumas em locais estratégicos para um melhor controlo do tráfego automóvel. A câmara instalada em vários desses pontos, recentemente, é a MIC IP *starlight* 7100i da *Bosch*, Figura 33. Esta já tem Inteligência Artificial (IA), o que facilita na instalação, no reconhecimento de veículos e peões e, caso necessário, na sua calibração [47].

A câmara MIC IP *starlight* 7100i pode ser utilizada em diversos cenários como, por exemplo [47]:

- Transportes: autoestradas/vias-rápidas, pontes/túneis e portos;
- Infraestruturas críticas: gerar/transmitir energia, refinarias e exploração mineira;

- Alta Segurança: facilidades governamentais e *data center*;
- Aplicações que envolvem ambientes rigorosos e requerem grande resolução de imagem;
- Situações complexas com vários detalhes sob qualquer condição de iluminação;
- Instalações onde o tempo de inatividade é indesejado.



Figura 33 Câmaras MIC IP *starlight* 7100i da *Bosch* [47].

A MIC IP *starlight* 7100i apresenta um corpo de metal projetado para que não sofra corrosão e sujeito a poeira rigorosa, testes de imersão e teste de impacto (IP68, *Type* 6P, IK10). O seu *design* robusto permite que o seu desempenho não se altere por fatores externos, como um grande choque ou vibrações, devido a uma posição pré-definida, ou seja, quando um evento incomum ocorre, ela volta a essa posição de forma autónoma [47].

Esta câmara é de fácil instalação, tem um mecanismo de movimentação panorâmica (360° com velocidade de rotação de 120°/segundo) e inclinação (290° com velocidade de 90°/segundo). Permite ajustar o *zoom* mantendo a estabilidade da imagem, possibilita uma *performance* excepcional em cenários de fraca luminosidade, desembacia a janela de visualização, tem dinâmica de alto alcance (captura quatro imagens com diferentes exposições e reproduz uma só que permite visualizar e distinguir detalhes como uma cara, por exemplo). A sua imagem é captada por *streaming* inteligente, ou seja, apenas a

informação relevante, como o movimento ou algum objeto, é codificada permitindo uma banda de consumo consideravelmente reduzida.

O *software* utilizado para a configurar é o *Configuration Manager* que apresenta uma interface intuitiva para uma configuração fácil e rápida. Esse *software* inclui funcionalidades que possibilitam ensinar a câmara a distinguir objetos móveis e imóveis, classificá-los como tipo, cor ou tamanho, por exemplo, detetar falhas ou erros como excesso de velocidade ou estacionamento abusivo e gerar alarmes. A câmara também tem a capacidade de seguir objetos controlando automaticamente a movimentação, inclinação e *zoom*. A MIC IP *starlight 7100i* também faz a gestão de gravação e armazenamento, o diagnóstico da câmara e inclui um assistente de projeto assim como a gestão de gravação e armazenamento. Fornece uma confiabilidade insuperável, bem como segurança de dados.

Após a configuração da câmara e caso não volte a ser alterada, os administradores do sistema podem ativar a proteção de *software* e selar a configuração da câmara. Qualquer alteração que seja feita na configuração acidental ou intencional irá desativar a proteção que sela a configuração. É então enviada uma mensagem de alarme para o sistema de gestão de vídeo que pode ser usada para criar um cenário de alarme, caso necessário. A câmara cria um ficheiro separado onde estão todas as alterações na proteção do *software* [47].

4.2. SUMO

SUMO, acrónimo de *Simulation of Urban MObility*, é um *software open-source* que permite a simulação de tráfego automóvel a nível microscópico. O seu desenvolvimento iniciou-se em 2001 pela *German Aerospace Center (DLR)* e o seu lançamento ocorreu em 2002. Desde então o *software* tem tido atualizações por forma a que a sua função seja a melhor possível. Existem duas razões para ser um *software open-source*. Uma delas é a possibilidade de dar suporte continuado à comunidade de controlo de tráfego com uma ferramenta gratuita que permite implementar os seus próprios algoritmos. Muitas das outras ferramentas existentes permitem a sua utilização gratuita em versão estudante ou *trial*, mas que depois não possibilitam a continuidade desse suporte. Outra razão é o desejo de ganhar apoio de outras instituições [48].



Figura 34 Logótipo SUMO [49].

SUMO não é somente um *software* de simulação de tráfego. É um conjunto de ferramentas suportadas pelo *Python* e permitem realizar a toda a simulação. Para criar um cenário de simulação de tráfego aproximado da realidade há elementos essenciais como a representação de infraestruturas rodoviárias, alguns constituintes adicionais como semáforos e a correspondente procura de veículos e peões [48].

Após definir o cenário é possível, através da aplicação SUMO-GUI, observar o comportamento dos veículos, peões, semáforos e outros elementos de simulação através de uma representação visual. Permite fazê-lo com diferentes velocidades e com várias opções de cor para evidenciar vários aspetos como velocidades, densidades de tráfego, direito de passagem e outros [48].

As redes SUMO consistem em nós e *edges* unidirecionais que representam vias rodoviárias, passeios, ciclovias, trilhos e vias marítimas. Cada *edge* tem uma geometria descrita por vários segmentos de linhas e consistem numa ou mais *lanes* paralelas. Atributos como comprimento, largura, limite de velocidade e permissões de acesso (por exemplo, só autocarros) são modeladas como constante ao longo da *lane*. O SUMO inclui, nas suas redes, informação detalhada sobre possíveis movimentos nos cruzamentos e as correspondentes regras do direito de passagem que possibilitam conseguir um comportamento adequado de uma simulação dinâmica. Para garantir uma representação correta do cenário de simulação, as redes SUMO são criadas usando as aplicações *netconvert* e *netedit* [48].

A aplicação *netconvert* é uma ferramenta de linha de comando que permite importar redes rodoviárias de diferentes origens, por exemplo, *Open Street Map (OSM)*, *Shapefiles* ou ficheiros gerados por outras ferramentas de simulação, como VISSIM ou MATsim. O *netedit* é um editor gráfico que permite criar, analisar e editar arquivos de rede rodoviárias.

É utilizado como complemento manual na melhoria dos detalhes da rede e também suporta algumas características adicionais na infraestrutura de tráfego que não podem ser importadas pela *netconvert*. Entre esses recursos de suporte estão, por exemplo, elementos básicos de rede (como *edges* e *lanes*), elementos avançados de rede (como semáforos) e infraestruturas adicionais importantes (como paragens de autocarro) [48]. O *netedit* gera ficheiros do tipo *.xml* com a informação organizada e permite que seja visualizada e editada através de um editor de texto, por exemplo o Bloco de Notas.

Uma aplicação necessária para a preparação do cenário inicial é a *osmWebWizard* que faz parte das ferramentas *Python* do SUMO. Esta possibilita gerar uma simulação de forma fácil e intuitiva devido a uma interface baseada num navegador *web*. O utilizador seleciona a área pretendida e escolhe que parâmetros serão essenciais na sua simulação tais como, por exemplo, o tempo de simulação ou a inclusão da rede de transportes públicos, Figura 35. Esta ferramenta também permite optar pela presença, ou não, de pões e tipos de veículos necessários para a simulação e gerar tráfego aleatório tendo em conta todo o tipo de transportes e peões presentes nessa informação [48].

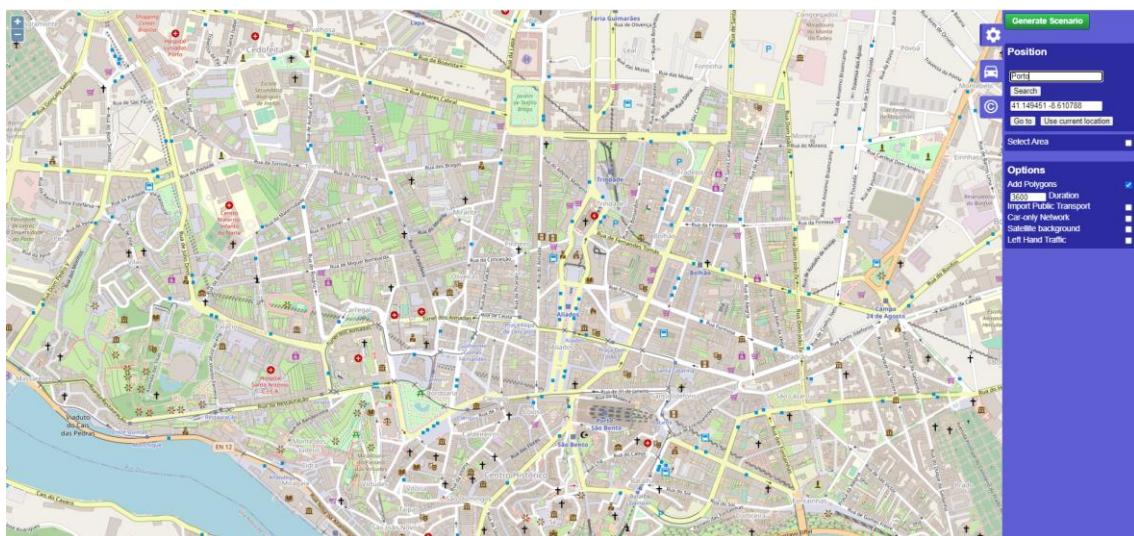


Figura 35 *Printscreen* da interface *web* da ferramenta *osmWebWizard*.

Uma das necessidades para simular tráfego é a demanda de veículos e peões. No SUMO, é possível defini-la através de *routes* que contenham *persons*, *vehicles* e *trips* (só para veículos) para percurso individual e *flows* para conjuntos de veículos ou peões. A informação básica deve incluir horário de partida, origem, destino e modo de transporte sendo que este pode ser diferente nos peões ou tipos de veículo. Um dos modos de introduzir o número de veículos para o cenário é pela matriz OD permitindo a introdução

de dados e analisando-os por zonas. Cada matriz OD corresponde a um tipo de veículos ou pões. Outros exemplos de ferramentas que possibilitam importar e gerar a procura de tráfego são, por exemplo, as ferramentas *ACTIVITYGEN*, *Flowrouter*, *DFROUTER*, *JTRROUTER* e *randomTrips.py*.

O SUMO, através da rede viária apresentada proporciona a hipótese de criar interseções semaforizadas. O *software* gera um ciclo de semaforização automaticamente e possibilita a sua simulação. No entanto, em termos práticos os tempos de cada luz do semáforo podem não ser adequados para que o tráfego flua em segurança. O ciclo semaforico deve ser alterado para o que se encontra na realidade, ou para aquele que se criou após a modelação de tráfego na interseção [50]. Cada alteração na rede que se pretende simular, requer um estudo das contagens de tráfego e, por conseguinte, das fases de cada semáforo. Por vezes é possível manter o ciclo tal como está, mas em vários casos é necessário proceder a uma nova modelação do sistema de controlo de tráfego automóvel e, por isso, diferentes fases, ciclos e períodos de transição. Este *software* permite também simular semáforos com ciclo pré-definido, controlo semi atuado e controlo atuado. Este último controlo requer a simulação da utilização de sensores como espiras eletromagnéticas, por exemplo, que permitem uma simulação mais real quando o volume de tráfego numa via é alto e o tempo de verde precisa de ser incrementado. O controlo é gerado através da ferramenta *Python* “*tlsCycleAdaption.py*” que cria um ficheiro adicional *.xml* para ser importado na simulação SUMO [48]. No entanto, atualmente, esta só é possível utilizar aquando da criação de uma *route* com *vehicles*, caso haja presença de *trips* ou *flows* não é possível executá-la. O *software* permite colocar sensores de espiras para contagens de veículos por via, ou num conjunto de vias e gera um ficheiro *.xml* com os valores obtidos para cada veículo, como velocidade, em que segundos começou e terminou a passagem, tempo perdido e outros, variando com o tipo de espira.

O foco de um modelo de tráfego automóvel é a pessoa. O SUMO possibilita um plano individual para cada uma que esteja presente na simulação desde que lhe associem diferentes tipos de veículos, podendo ser mais do que um do mesmo tipo. Permite que possa viajar em qualquer dos transportes possíveis, como caminhar, autocarro, automóvel pessoal, bicicleta e outros, e que possa mudar a cada viagem dependendo do que se torna mais conveniente [48].

5. CASO DE ESTUDO — AMIAL

Atualmente na cidade do Porto já existe um sistema de controlo de tráfego automóvel com os tempos de luz verde de cada semáforo definidos. No entanto, há várias interseções com conflitos entre eles, por exemplo, uma viragem de carros e uma passadeira para peões, ou algumas interseções que precisam de alterar as suas infraestruturas e requerem uma adaptação do ciclo de semáforos. Também há pedidos realizados por munícipes, quer seja na ótica do condutor ou peão, para algumas alterações que poderão ser levadas em consideração e, para tal, é necessário criar um novo diagrama de ciclo para determinada interseção.

Neste projeto, a interseção de estudo é a do Amial, junção da Rua do Amial com a Estrada Nacional (EN) 12, conhecida por Estrada da Circunvalação. Nesta interseção existem dois casos a ser considerados. A eliminação de conflitos entre movimentos, assim como vários pedidos por parte da população para acrescentar passadeiras, uma na Estrada da Circunvalação previamente à interseção no sentido Nascente-Poente, e outra após a interseção no sentido oposto. Os dados de volume de tráfego para simulação foram obtidos nas horas de ponta da manhã, entre as 7h30 e as 9h30, e nas horas de ponta da tarde, entre as 17h30 e as 19h00. Os dias foram dias 15 de outubro de 2021, sexta-feira, e 16 de

outubro de 2021, sábado, de tarde e 16 de outubro de 2021, sábado, e 18 de outubro de 2021, segunda-feira de manhã. A escolha das horas de ponta recaiu sobre uma hora de ponta da manhã e uma hora de ponta da tarde durante a semana e fim-de-semana. Assim consegue observar-se o comportamento dos veículos e peões em dias muito distintos nessa interseção, referindo que é uma zona mais residencial e de estudantes.

5.1. IMPLEMENTAÇÃO NO SUMO

O primeiro passo para efetuar uma simulação no SUMO é gerar ou importar as redes rodoviárias. Neste caso optou-se pelo uso da ferramenta *osmWebWizard* disponibilizada no pacote do *software*, Figura 35. Após se seleccionar que veículos e/ou peões, o tempo de simulação e outros elementos disponíveis em opção gera-se o cenário e fica disponível uma pasta com vários ficheiros necessários para a simulação como é o caso da interface gráfica de simulação SUMO-GUI que abre automaticamente. Na presente situação considerou-se o tempo de simulação de 7200 segundos, 2 horas, importou-se as viagens dos transportes públicos e seleccionou-se apenas a interseção pretendida, imagem da esquerda da Figura 36. Nos tipos de veículos e peões, seleccionaram-se os que podem circular naquela interseção como é o caso de peões, automóveis, camiões, autocarros, motas e bicicletas. Esta seleção permitiu criar a infraestrutura necessária para a circulação de veículos e peões, no entanto, os valores foram colocados a zero para que a procura fosse acrescentada de acordo com os volumes de tráfego considerados na interseção, imagem da direita da Figura 36.

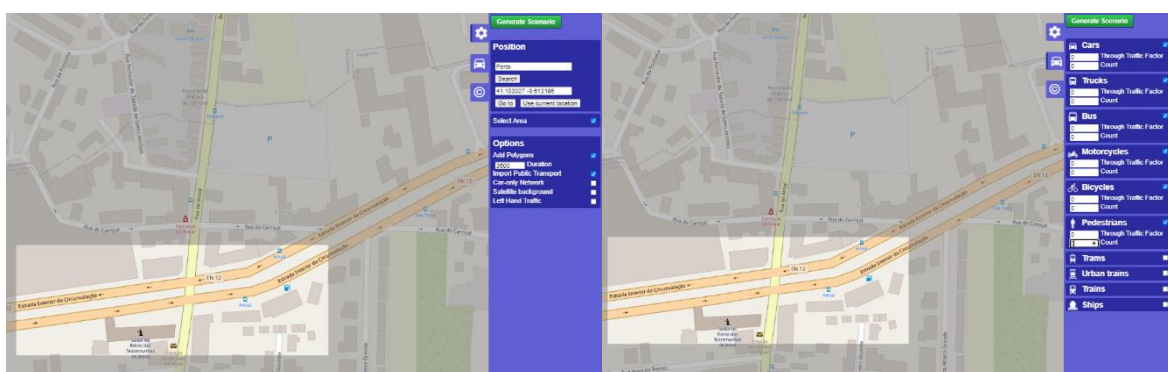


Figura 36 Opções do *osmWebWizard* para o caso de estudo.

Após a análise do cenário gerado, Figura 37, notou-se algumas diferenças da realidade como é o caso da possibilidade de inversão de macha na Rua do Amial, em ambos os

sentidos, a falta de semáforos na interseção e a presença de passadeiras que não fazem parte da interseção.

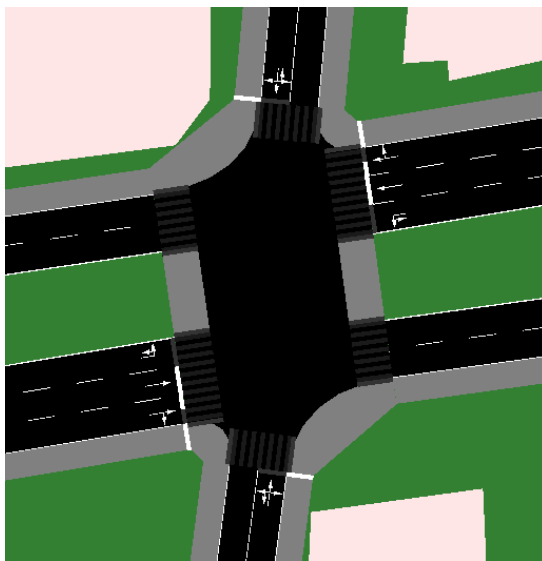


Figura 37 Primeira interface do cenário do SUMO-GUI.

Através da utilização da aplicação *GoogleMaps* ou da observação presencial é possível comparar os cenários e proceder às alterações necessárias através do editor com interface gráfica, *netedit*. Nesta situação, e numa fase inicial e temporária, o ciclo de semáforos foi gerado pelo SUMO de forma automática utilizado para a realização de testes como estudo do *software*. Com estes, notou-se a necessidade de criar passeios paralelos aos existentes para que houvesse movimento de peões em ambos os sentidos e o cenário de simulação se tornasse mais próximo da realidade. Também foi necessário alterar os valores de velocidade de cada via, sendo que a sua unidade de medida é m/s. Nas vias de veículos optou-se por uma velocidade máxima de 50km/h, que corresponde a, aproximadamente, 13.89m/s. Nos passeios, e tendo em conta a velocidade do ser humano, optou-se pelo valor de 1.2m/s [51]. Desta forma, para um cenário mais refinado, é necessário colocar o diagrama de ciclo implementado na interseção, assim como o volume de tráfego de cada movimento.

Para alterar o diagrama de ciclo recorre-se ao *netedit* por ser visual e permitir alterá-lo de forma manual. Essa atualização é feita alterando o tempo de fase, tempo de amarelo e tempo de vermelho de cada semáforo. O valor do semáforo de cada movimento também precisa de ser mudado, sendo que “r” corresponde à luz vermelha, “y” à luz amarela e “G” ou “g” à luz verde dependendo a total prioridade ou a atenção necessária a outros

movimentos, respetivamente. É importante colocar os diferentes tempos e fases pela ordem que devem suceder na interseção.

Na Figura 38 apresenta-se a interface de mudança do diagrama de ciclo. É possível observar o tempo de ciclo e alterar a duração de cada estado, a implementação do estado, o nome, inserir fase, eliminar fase e outros.

Phases				
dur	state	nxt	name	
40.00	gGGrrrrrrgGGrrrrrGrRG		etapa1	
3.00	yyyyyyyyyyyyyyyyyy		etapa1	
1.00	rrrrrrrrrrrrrrrrrrrr		etapa1	
20.00	rrrGGrrrrrrGgrrrrrGr		etapa2	
3.00	rrrrrrrrrrrrrrrrrrrr		etapa2	
3.00	rrrrrrrrrrrrrrrrrrrr		etapa2	
40.00	rrrrrrgggrrrrrrgggrGr		etapa3	
3.00	rrrrrrrrrrrrrrrrrrrr		etapa3	
6.00	rrrrrrrrrrrrrrrrrrrr		etapa3	

Cycle time: 119.00

Insert Phase	Delete Phase
Clean States	Add States
Group Signals	Ungroup Signals

Figura 38 Interface de mudança do diagrama de ciclo.

A sequência de estados é obtida através do número correspondente a cada movimento, Figura 39, começando no 0 e terminando, no caso da Figura 39, no 19. Estes valores podem ser visíveis se, nas *View settings* das *Junctions* se seleccionar “*Show link tls index*”.

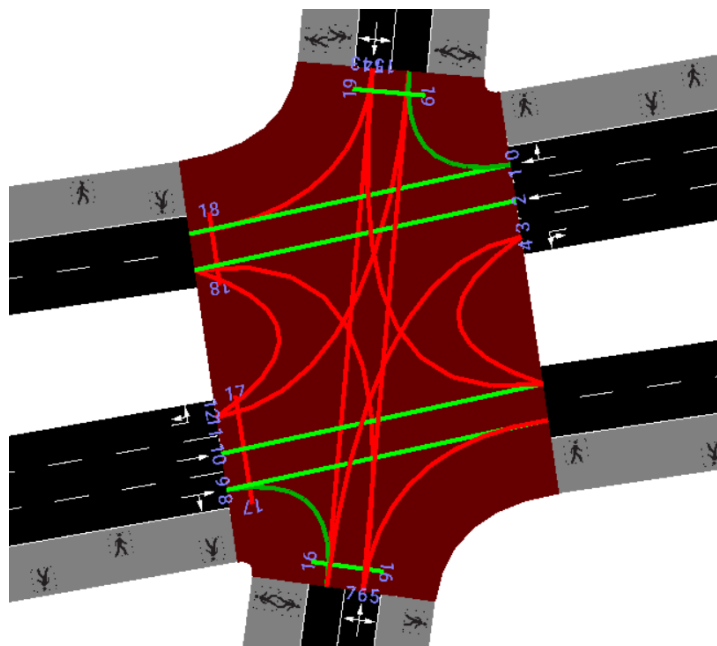


Figura 39 Interseção com representação do ciclo semafórico.

Após as alterações necessárias à rede rodoviária, é necessário introduzir os volumes de tráfego das contagens. Esses volumes são colocados no *netedit*. Através do modo *Demand* é possível criar tipo de veículos ou peões e acrescentar veículos, dependendo do seu tipo e peões. Neste caso, utilizaram-se os tipos de veículos predefinidos para veículos ligeiros, veículos de duas rodas (para bicicletas e motos) e os peões. Foi necessário criar o tipo de veículos para pesados (camiões e autocarros que não fazem parte da rede de transportes importada), nomeadamente `TRUCK_TYPE`. Para este projeto, criaram-se fluxos de veículos ligeiros, fluxos de veículos de duas rodas, fluxos de veículos de pesados e fluxos de peões. Estes fluxos permitem adicionar, num certo intervalo de tempo, um número de veículos que, na simulação, aparecem distribuídos uniformemente ao longo desse tempo. Os fluxos foram introduzidos em intervalos de 15 minutos, com uma cor para cada tipo de veículo e tendo em conta o movimento do veículo, ou seja, as suas vias de origem e destino. Foi necessário criar um ficheiro para cada sentido, ou seja, quatro ficheiros. É importante notar que as variáveis não podem ser repetidas em nenhum dos ficheiros para não ocorrerem erros aquando da execução do programa.

Em seguida é possível visualizar a simulação através da interface gráfica SUMO-GUI e ver qual o comportamento dos veículos e peões na interseção. Para retirar dados como a velocidade média, o tempo de espera, o tempo perdido dos elementos, e outros aspetos relevantes para o estudo da interseção, utilizou-se a consola *Windows*. A *Prompt Command* (*cmd*) deve estar no arquivo onde está o ficheiro de simulação e após correr o comando `sumo -c osm.sumocfg` (*osm* corresponde ao nome do ficheiro), os dados aparecem na *cmd* como na Figura 40. Além dos dados também é possível visualizar alguns avisos, nomeadamente de não estar a ser usado o transporte público e algumas travagens bruscas em determinados veículos.

```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19043.1288]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\maria\Sumo\16outubro_manha\2. cenario_dois>sumo -c osm.sumocfg
Loading configuration ... done.
Loading net-file from 'osm.net.xml' ... done (8ms).
Loading additional-files from 'osm.poly.xml' ... done (10ms).
Loading additional-files from 'osm_stops.add.xml' ... done (8ms).
Loading done.
Simulation version 1.10.0 started with time: 0.00
Warning: Not using public transport line '704:0' for routing persons. It has less than two usable stops.
Warning: Not using public transport line '600:0' for routing persons. It has less than two usable stops.
Warning: Not using public transport line '205:0' for routing persons. It has less than two usable stops.
Warning: Not using public transport line '704:1' for routing persons. It has less than two usable stops.
Warning: Not using public transport line '600:1' for routing persons. It has less than two usable stops.
Warning: Vehicle 'ligfre_15_66' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=743.00.
Warning: Vehicle 'ligfre_30_50' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=1580.00.
Warning: Vehicle 'ligfre_60_73' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=3480.00.
Warning: Vehicle 'ligfre_60_88' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=3601.00.
Warning: Vehicle 'ligfre_75_114' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=4552.00.
Warning: Vehicle 'ligfre_90_109' performs emergency braking with decel=-9.00 wished=4.50 severity=1.00, time=5266.00.
Simulation ended at time: 7135.00
Reason: All vehicles have left the simulation.
Performance:
Duration: 1.87s
Real time factor: 3811.43
UPS: 157189.636752
UPS-Persons: 62319.444444
Vehicles:
Inserted: 2085
Running: 0
Waiting: 0
Persons:
Inserted: 160
Running: 0
Statistics (avg):
RouteLength: 1062.20
Speed: 8.09
Duration: 141.13
WaitingTime: 38.68
TimeLoss: 57.40
DepartDelay: 1.47
Pedestrian Statistics (avg of 160 walks):
RouteLength: 751.40
Duration: 729.14
TimeLoss: 185.41
DijkstraRouter answered 18258 queries and explored 33.83 edges on average.
DijkstraRouter spent 0.05s answering queries (0.00ms on average).
DijkstraRouter answered 160 queries and explored 83.12 edges on average.
DijkstraRouter spent 0.00s answering queries (0.01ms on average).
DijkstraRouter answered 2041 queries and explored 3.36 edges on average.
DijkstraRouter spent 0.00s answering queries (0.00ms on average).
```

Figura 40 Exemplo da execução do código para obter dados na *cmd*.

5.2. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

A realização deste projeto foi feita simulando quatro cenários, inclusive o original. As suas maiores diferenças passam por eliminar conflitos de movimentos e/ou acrescentar passadeiras. É importante notar que haverá três diagramas de ciclo diferentes, o atual, um novo para a cada hora de ponta, da manhã e da tarde, onde é expectável um aumento do volume de tráfego rodoviário em relação às restantes horas do dia. Nos Anexo A e Anexo D apresentam-se os cenários e os diagramas de ciclo para uma melhor visualização.

Atualmente existem espiras eletromagnéticas, em cada via, a uma certa distância da interseção que permite aumentar o tempo de luz verde até um valor pré-definido. Ou seja, existe um ciclo mínimo implementado na interseção e, quando as espiras eletromagnéticas detetam presença contínua de veículos, aumentam o tempo de luz verde para esse semáforo dentro de um limite máximo definido. Esse limite é considerado de forma a melhorar a fluidez do trânsito no local. No entanto, como no SUMO ainda não é possível simular este tipo de espiras aquando da criação de fluxos de veículos, os diagramas de ciclo considerados para todos os cenários correspondem ao ciclo máximo admitido.

5.2.1. CENÁRIO ZERO

O Cenário Zero é o cenário original, Figura 41, o que se encontra, atualmente, implementado na interseção. Este cenário funcionará como referência para a construção dos restantes. É composto por três etapas e inclui conflitos entre movimentos. Os conflitos ocorrem entre viragens de veículos em movimentos distintos, na Etapa azul, movimentos de viragem de veículos e peões, nas Etapas laranja e verde. Realça-se que em ambos os casos, tratam-se de conflitos secundários.

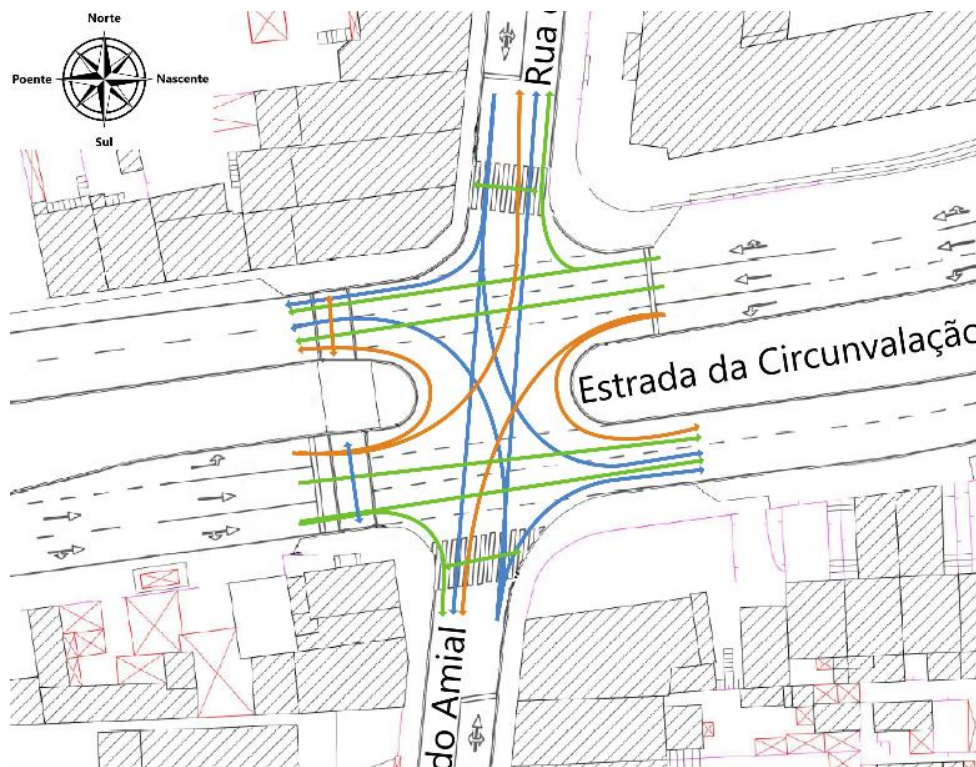


Figura 41 Etapas e movimentos do Cenário Zero.

Neste caso o diagrama de ciclo é o que se encontra atualmente na interseção, apresentado na Figura 42. Este divide-se em seis grupos semafóricos que se dividem em três etapas de movimentos, a Etapa laranja, a Etapa azul e a Etapa verde. Os movimentos, no diagrama de ciclo, distinguem-se por “azul veículos” e “azul peões”, por exemplo.

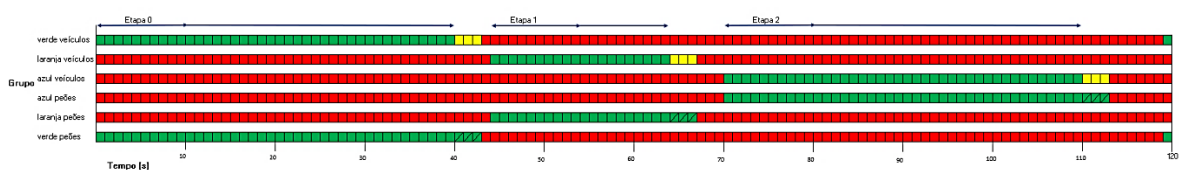


Figura 42 Diagrama de ciclo do Cenário Zero.

5.2.2. CENÁRIO UM

No Cenário Um, Figura 43, acrescentaram-se duas passadeiras na Estrada da Circunvalação, uma antes da interseção no sentido Nascente-Poente e a outra, após a interseção, no sentido oposto. O que permite aos peões efetuarem o atravessamento da EN12 do lado Nascente da interseção. Nesta simulação, o aparecimento das passadeiras surge como necessidade para os peões, no entanto, os conflitos secundários entre movimentos mantêm-se. Conflitos nos movimentos de viragem de veículos e peões, na Etapa verde e na Etapa laranja, e conflitos nos movimentos de viragem de veículos, na Etapa azul. Neste caso o diagrama de ciclo é o mesmo do Cenário Zero, Figura 42, pois as passadeiras acrescentadas pertencem aos movimentos “azul peões” e “laranja peões”.

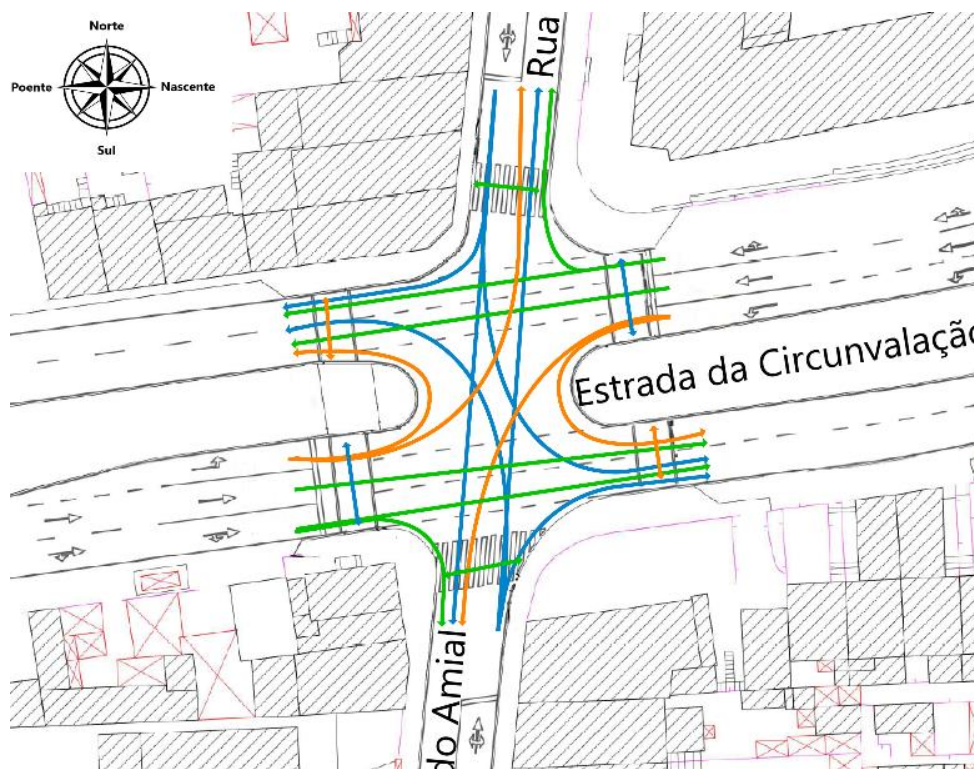


Figura 43 Etapas e movimentos do Cenário Um.

5.2.3. CENÁRIO DOIS

No Cenário Dois, Figura 44, face ao Cenário Zero, procedeu-se à total eliminação de conflitos entre movimentos. Assim, os seis grupos semafóricos ao invés de dividirem os seus movimentos em três etapas, dividem em cinco. Uma das etapas acrescida é a de passadeiras, e a outra surge com divisão de uma etapa onde há conflito de movimentos em duas.

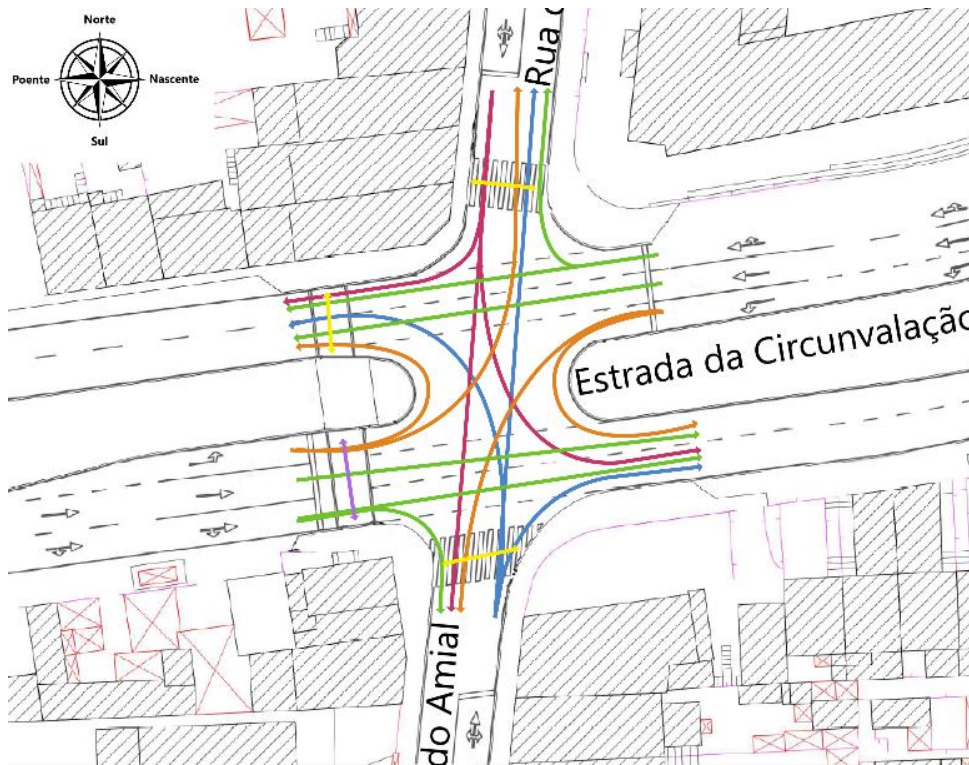


Figura 44 Etapas e movimentos do Cenário Dois.

As alterações feitas levaram à necessidade de adaptar o diagrama de ciclo aos movimentos escolhidos, dependendo da sua hora de ponta. Para a hora de ponta da manhã, o diagrama de ciclo é o da Figura 45. O diagrama de ciclo referente à hora de ponta da tarde é o da Figura 46. Ambos são compostos por cinco etapas, divididas em seis movimentos. De forma a não aumentar o ciclo drasticamente, poderá optar-se por na mesma etapa possibilitar-se a passagem a alguns grupos que não têm conflito entre si, nomeadamente o movimento “roxo peões” pode ocorrer aquando dos movimentos “azul veículos” e “vermelho veículos”. No caso em apreço, os peões poderão assim efetuar parte da travessia Sul-Norte do lado poente e aguardar em segurança no separador central.

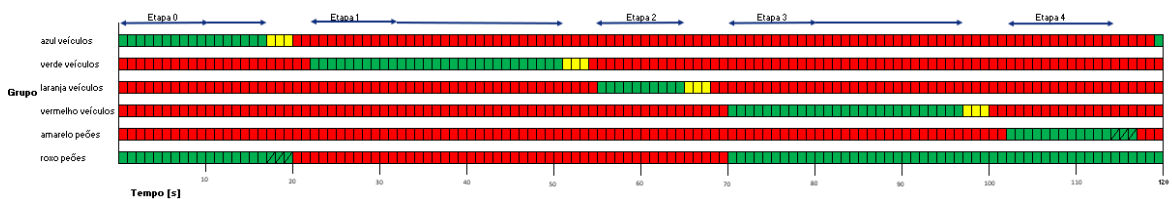


Figura 45 Diagrama de Ciclo hora de ponta da manhã.

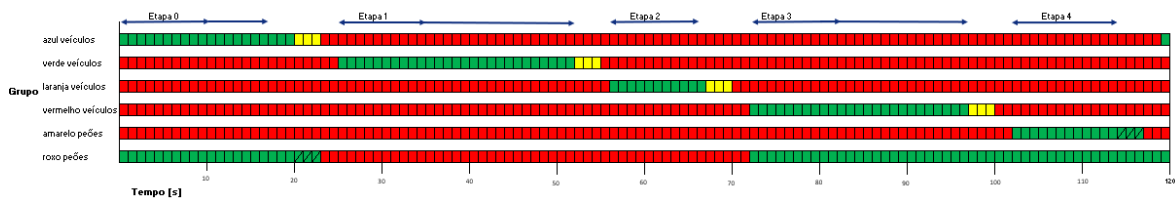


Figura 46 Diagrama de Ciclo hora de ponta da tarde.

5.2.4. CENÁRIO TRÊS

No Cenário Três, Figura 47, a simulação elimina todos os movimentos de conflito e acrescenta duas passadeiras, uma na entrada da interseção na Estrada da Circunvalação no sentido Nascente-Poente e outra depois da Estrada da Circunvalação no sentido oposto. Neste caso, tal como no Cenário Dois, existem seis grupos semaforicos que dividem os seus movimentos em cinco etapas. Os diagramas de ciclo desta interseção, tal como no Cenário Dois, dividem-se nas horas de ponta da manhã e da tarde sendo, respetivamente, os das Figura 45 e Figura 46.



Figura 47 Etapas e movimentos do Cenário Três.

5.3. RESULTADOS

Os volumes de tráfego utilizados para simulação estão nos Anexo B. Esses dados foram utilizados nas diferentes simulações para se estudar o comportamento dos veículos e peões nos distintos cenários.

Outras características a ter em conta são o número de autocarros e o número de peões. Tal como referido anteriormente, o SUMO, possibilita incluir a rede de transporte e, por isso, não se acrescentaram novamente os dados das contagens para que não haja duplicação de autocarros. Além disso, o SUMO já simula os tempos de paragem que têm significância para o fluxo do tráfego. Os valores de peões em cada movimento, ao contrário dos veículos não foi realizado através de contagens, uma vez que se tornaria uma tarefa praticamente impossível. Existem vários pedestres que atravessam a rua fora de passadeiras, o que contribuiu para que se optasse por atribuir valores para os diferentes movimentos tendo em conta a hora de ponta. Apesar de não existir forma de verificar quão díspares são da realidade, permitem o estudo dos seus comportamentos nos diferentes cenários. Os valores utilizados encontram-se no Anexo C.

Os resultados de cada simulação estão descritos neste capítulo, divididos por dias e respetivas horas de ponta para uma comparação entre cenários.

5.3.1. SEXTA-FEIRA, 15 DE OUTUBRO DE 2021 – HORA DE PONTA DA TARDE

Os dados obtidos após a simulação dos diferentes cenários para a hora de ponta da tarde no dia 15 de outubro de 2021, sexta-feira, apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3 Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da tarde do dia 15 de outubro de 2021.

	<i>Cenário Zero</i>	<i>Cenário Um</i>	<i>Cenário Dois</i>	<i>Cenário Três</i>
<i>Tempo de Simulação (s)</i>	7979.00	7979.00	9345.00	9254.00
<i>Número de veículos</i>		4628		
<i>Números de peões</i>		1283		
<i>Estatísticas de veículos (média)</i>				
<i>Via Percorrida (m)</i>	1061.07	1061.07	1061.07	1061.07
<i>Velocidade (m/s)</i>	3.03	2.93	2.24	2.24
<i>Duração (s)</i>	531.40	475.58	668.14	616.76
<i>Tempo de Espera (s)</i>	292.50	263.43	434.79	403.47
<i>Tempo Perdido (s)</i>	447.66	391.84	584.40	533.01
<i>Atraso de Partida (s)</i>	652.44	634.91	1178.21	1027.43
<i>Estatísticas de peões (média)</i>				
<i>Passeio Percorrido (m)</i>	787.51	787.08	787.51	787.08
<i>Duração (s)</i>	728.33	692.89	760.37	695.65
<i>Tempo Perdido (s)</i>	154.00	118.88	186.05	121.64

Analisando os valores obtidos neste horário, Tabela 3, pode afirmar-se que o cenário mais adequado seria o Cenário Um. Apesar de se verificar que o Tempo de Simulação é igual para os Cenários Zero e Um e que a Velocidade média de veículos no Cenário Um é inferior à do Cenário Zero. Segundo os dados obtidos após a simulação, o Cenário Um, é o que apresenta valores mais baixos em características de veículos muito relevantes, como a Duração de viagem, o Tempo de Espera e o Tempo Perdido. Assim como nas de peões, nomeadamente, a Duração de viagem e o Tempo Perdido.

Os cenários Dois e Três, demonstram um aumento significativo nos Tempos de Espera e Tempos Perdidos dos veículos . O Cenário Dois é o que apresenta piores resultados para os condutores, incluindo o Tempo de Simulação (tempo necessário para que todos os veículos saiam da interseção) e o Atraso de Partida (tempo que os veículos demoram no arranque). Também nos tempos de Duração e Tempo Perdido dos peões, o Cenário Dois é o que apresenta valores mais elevados. O Cenário Três, pelo contrário, é o mais favorável para os peões apresentando valores mais baixos, mas que com as estatísticas de veículos não se torna muito favorável.

5.3.2. SÁBADO, 16 DE OUTUBRO DE 2021 – HORA DE PONTA DA MANHÃ

Na Tabela 4 visualizam-se os dados obtidos da simulação de cada cenário da hora de ponta da manhã do dia 16 de outubro de 2021, sábado.

Tabela 4 Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da manhã do dia 16 de outubro de 2021.

	<i>Cenário Zero</i>	<i>Cenário Um</i>	<i>Cenário Dois</i>	<i>Cenário Três</i>
<i>Tempo de Simulação (s)</i>	7194.00	7196.00	7135.00	7134.00
<i>Número de veículos</i>	2085			
<i>Números de peões</i>	160			
<i>Estatísticas de veículos (média)</i>				
<i>Via Percorrida (m)</i>	1062.20	1062.20	1062.20	1062.20
<i>Velocidade (m/s)</i>	8.74	8.73	8.09	8.10
<i>Duração (s)</i>	130.66	130.75	141.13	141.07
<i>Tempo de Espera (s)</i>	28.41	28.46	38.68	38.79
<i>Tempo Perdido (s)</i>	46.89	47.02	57.40	57.34
<i>Atraso de Partida (s)</i>	1.46	1.45	1.47	1.46
<i>Estatísticas de peões (média)</i>				
<i>Passeio Percorrido (m)</i>	751.40	751.27	751.40	751.27
<i>Duração (s)</i>	686.14	658.88	729.14	655.64
<i>Tempo Perdido (s)</i>	142.41	115.24	185.41	112.00

Nesta hora de ponta o Cenário mais adequado a ser implementado seria o Cenário Um. Apesar de o Tempo de Simulação ser superior face aos restantes cenários, os valores obtidos das estatísticas de veículos compensam em relação aos cenários Dois e Três. Comparando as estatísticas de veículos ao cenário original, Cenário Zero, apesar de os valores não diferirem muito, a Velocidade é inferior e a Duração, o Tempo de Espera, o Tempo Perdido são superiores. Este Cenário é, neste caso, vantajoso para os peões pois o Passeio Percorrido, a Duração e o Tempo Perdido são menores.

O Cenário Dois é o que apresenta resultados menos favoráveis, ainda que as estatísticas de veículos tenham uma pequena diferença face aos do Cenário Três. No entanto, o Cenário Três é o mais favorável, entre todos os cenários, aos peões apresentando a menor Duração e Tempo Perdido de todos os cenários.

5.3.3. SÁBADO, 16 DE OUTUBRO DE 2021 – HORA DE PONTA DA TARDE

Na tabela seguinte, Tabela 5, apresentam-se os dados relativos à hora de ponta da tarde do dia 16 de outubro de 2021, sábado, após a simulação dos distintos cenários no SUMO.

Tabela 5 Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da tarde do dia 16 de outubro de 2021.

	<i>Cenário Zero</i>	<i>Cenário Um</i>	<i>Cenário Dois</i>	<i>Cenário Três</i>
<i>Tempo de Simulação (s)</i>	7195.00	7197.00	7134.00	7134.00
<i>Número de veículos</i>	3400			
<i>Números de peões</i>	206			
<i>Estatísticas de veículos (média)</i>				
<i>Via Percorrida (m)</i>	1064.05	1063.95	1063.96	1063.96
<i>Velocidade (m/s)</i>	7.90	7.89	3.87	4.12
<i>Duração (s)</i>	148.72	147.83	381.19	334.71
<i>Tempo de Espera (s)</i>	41.07	39.70	223.32	190.41
<i>Tempo Perdido (s)</i>	65.88	65.06	298.44	251.95
<i>Atraso de Partida (s)</i>	8.26	5.01	12.07	22.71
<i>Estatísticas de peões (média)</i>				
<i>Passeio Percorrido (m)</i>	724.44	724.35	724.44	724.35
<i>Duração (s)</i>	664.90	633.59	691.80	635.54
<i>Tempo Perdido (s)</i>	140.65	107.87	166.01	109.81

Avaliando os dados obtidos da simulação dos volumes de tráfego e peões para a hora de ponta da tarde do dia 16 de outubro de 2021 pode afirmar-se que o cenário mais favorável seria o Cenário Um. Apesar de o cenário apresentar um maior Tempo de Simulação, todos os restantes valores são os mais baixos, inclusive o da velocidade, mas todos próximos dos valores do Cenário Zero. Neste caso o Cenário Um é o que mais favorece os veículos e os peões.

O Cenário Dois é o que tem os valores menos favoráveis, excetuando o Atraso de Partida que é inferior face ao do Cenário Três o que demonstra que não seria um cenário a considerar implementar face aos outros estudados.

O Cenário Três é mais adequado que o Cenário Dois, no entanto, não o é em relação aos Cenários Zero e Um.

5.3.4. SEGUNDA-FEIRA, 18 DE OUTUBRO DE 2021 – HORA DE PONTA DA MANHÃ

Os dados obtidos após simulação dos diferentes cenários com as características da hora de ponta da manhã do dia 18 de outubro de 2021, sexta-feira, expõe-se na Tabela 6.

Tabela 6 Dados obtidos após simulação dos diferentes cenários na hora de ponta da manhã do dia 18 de outubro de 2021.

	Cenário Zero	Cenário Um	Cenário Dois	Cenário Três
<i>Tempo de Simulação (s)</i>	8336.00	8367.00	8815.00	9612.00
<i>Número de veículos</i>	4778			
<i>Números de peões</i>	884			
<i>Estatísticas de veículos (média)</i>				
<i>Via Percorrida (m)</i>	1094.90	1094.90	1094.90	1094.90
<i>Velocidade (m/s)</i>	4.29	4.45	2.78	2.70
<i>Duração (s)</i>	330.55	330.78	528.35	562.20
<i>Tempo de Espera (s)</i>	168.44	165.86	333.52	356.48
<i>Tempo Perdido (s)</i>	247.11	247.34	444.91	478.77
<i>Atraso de Partida (s)</i>	470.17	811.58	786.08	1103.69
<i>Estatísticas de peões (média)</i>				
<i>Passeio Percorrido (m)</i>	757.55	757.78	757.55	757.78
<i>Duração (s)</i>	693.04	664.21	744.99	660.36
<i>Tempo Perdido (s)</i>	140.02	111.03	191.97	107.18

Analisando os dados da Tabela 6 é possível verificar que, neste horário, os valores de estatísticas de veículos do Cenário Um são muito semelhantes aos do Cenário Zero. Sendo mais favorável o primeiro no Tempo de Espera e na Velocidade e menos favorável nos restantes. A característica mais dispare entre eles é o atraso de partida sendo superior no Cenário Um. Em relação às estatísticas de peões, o Cenário Um é mais adequado.

Relativamente aos Cenários Dois e Três, as suas estatísticas de veículos são as que apresentam valores menos adequados, sendo o Cenário Três pior que o Cenário Dois. Já nas estatísticas de peões, o Cenário Dois é o pior e o cenário Três o melhor de todos os cenários estudados.

5.4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Independentemente de as horas de ponta analisadas serem durante a semana ou ao fim-de-semana, após a análise dos dados obtidos na simulação dos quatro cenários nas diferentes horas de ponta, é possível afirmar que os Cenários Zero e Um são mais favoráveis para os veículos e os cenários Um e Três mais adequados para os peões. O cenário Dois revelou ser o menos adequado para ambos os grupos, isto é, veículos e peões.

Os cenários mais favoráveis para pedestres são os que apresentam passadeiras em todas as vias visto que permitem aos peões optarem pelo percurso mais adequado de acordo com o

local onde se encontram e para onde pretendem ir. Este percurso é também feito em segurança, uma vez que as travessias se encontram sinalizadas.

Em relação aos veículos, a eliminação de conflitos entre veículos e entre veículos e peões levou à necessidade de criar uma fase de semáforos para peões e, por conseguinte, diminuir o tempo de verde para veículos. Esta alteração cria problemas ao escoamento de veículos, assim como maior tempo de espera e tempo perdido. Por isso, o cenário Três não é o mais adequado para a interseção.

O Cenário Um, apesar apresentar mais conflitos entre veículos e peões face ao Cenário Zero, é o mais adequado para a interseção em causa. As estatísticas de veículos são muito semelhantes em ambos, sendo umas vezes mais apropriadas as do Cenário Um e outras as do Cenário Zero. No entanto, e tendo em conta os peões, elemento de extrema importância no estudo da segurança rodoviária, o Cenário Um deve ser implementado na interseção. Não só diminui o tempo percorrido pelos pedestres, como o tempo perdido e aumenta a segurança. Uma vez que, na realidade, estes, para efetuar o menor percurso, optam por atravessar fora das passadeiras, colocando-se em perigo.

6. CONCLUSÕES

Neste projeto realizou-se um estudo de simulação de tráfego automóvel na interseção do Amial, dada pela Estrada da Circunvalação com a Rua do Amial.

A simulação foi feita recorrendo ao *software* SUMO. Simularam-se quatro cenários diferenciando-se com o aumento do número de passadeiras e/ou a eliminação de conflitos entre movimentos. O Cenário Zero é o cenário original, ou seja, o que está implementado atualmente na interseção do Amial. Para Cenário Um adicionaram-se duas passadeiras, uma antes da interseção no sentido Nascente-Poente e outra após a interseção no sentido contrário. Este cenário mantém conflitos entre veículos e entre peões e veículos. O Cenário Dois, face ao cenário Zero, eliminaram-se os conflitos de movimentos. No Cenário Três também se acrescentaram duas passadeiras, como no Cenário Um, e eliminaram-se todos os conflitos de movimentos, como no Cenário Dois. Com a execução da simulação obtiveram-se dados relevantes que permitiram verificar qual seria o melhor cenário a ser implementado.

Após a análise dos resultados, concluiu-se que o Cenário Um seria uma mais-valia para o conforto e segurança dos peões e, por isso, aquele que se deveria implementar. Os cenários Dois e Três, apesar de serem os dois que permitiriam maior segurança aos condutores e peões, não são muito favoráveis na evacuação do tráfego, aumentando os tempos de espera, tempo perdido e tempo necessário para percorrer o percurso entre vias.

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação surgiram vários problemas que foram ultrapassados da melhor forma possível. Problemas na implementação das infraestruturas

da interseção no SUMO. E claro, com a pandemia surgiu a impossibilidade de continuar presencialmente no estágio curricular o que complica toda a evolução do trabalho.

Num projeto futuro e, quando possível, poderia realizar-se as simulações dos diferentes cenários com a simulação das espiras que permitem começar com o ciclo de semáforo mínimo e, quando necessário, atingir o ciclo máximo. Também poderia ser útil utilizar outras ferramentas disponibilizadas pelo SUMO com o auxílio do *Python*. A utilização de mais horas de ponta para simulação, com diferentes fatores, como época de férias, altura do regresso às aulas ou ainda as estações do ano, levam a uma grande alteração do comportamento do tráfego automóvel.

Referências Documentais

- [1] L. M. B. Figueiredo, “Sistemas Inteligentes De Transporte,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [2] F. D. Cunha *et al.*, “Sistemas de Transporte Inteligentes: Conceitos, Aplicações e Desafios,” 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/317170523_Sistemas_de_Transporte_Inteligentes.
- [3] “Carsharing em Portugal: funcionamento, preços e operadores,” *economias.pt*, 2019. <https://www.economias.pt/carsharing-em-portugal/> (accessed Feb. 20, 2020).
- [4] “Carpooling em Portugal,” *economias.pt*, 2016. <https://www.economias.pt/carpooling-em-portugal/> (accessed Feb. 20, 2020).
- [5] P. C. E. Laranjeira, “Análise de Componentes Principais dos Detetores de um Sistema Inteligente de Transportes Engenharia e Sistemas de Transporte Júri,” Instituto Superior Técnico, 2018.
- [6] B. Ghazal, K. EIKhatib, K. Chahine, and M. Kherfan, “Smart Traffic Light Control System,” *2016 IEEE*, pp. 140–145, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580282.
- [7] J. P. M. P. Tavares, “Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afectação de Tráfego em Redes Urbanas,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [8] O. M. J. Teixeira, “Mobilidade e Acessibilidade Urbana: estudo de caso do Município de Viana,” Instituto Superior de Educação e Ciências, 2014.
- [9] A. Costa, “Capítulo 6 - Sinais luminosos,” vol. 1918, 2009, pp. 247–303.
- [10] M. Nogueira, “Porto vai ter um dos mais avançados sistemas de controlo de tráfego,” *Porto.*, 2017, [Online]. Available: <http://www.porto.pt/noticias/porto-vai-ter-um-dos-mais-avancados-sistemas-de-controlo-de-trafego?lang=pt>.

- [11] L. Figueiredo, I. Jesus, J. A. Tenreiro Machado, J. Rui Ferreira, and J. L. Martins De Carvalho, “Towards the development of intelligent transportation systems,” *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC*, no. February, pp. 1206–1211, 2001, doi: 10.1109/itsc.2001.948835.
- [12] M. Nogueira, “Porto vai entrar no Século XXI da gestão de tráfego e reformar sistema de gestão com software de 1993,” *Porto.*, 2017, [Online]. Available: <http://www.porto.pt/noticias/futuro-sistema-de-gestao-de-trafego-sera-um-salto-no-tempo-e-qualidade-de-vida-dos-cidadaos-do-porto>.
- [13] “Mobilidade - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <https://mobilidade.cm-porto.pt/servicos/gestao-de-trafego> (accessed Feb. 28, 2020).
- [14] N. Geographic, “Como Era o Porto de Antigamente?,” 2019. <https://www.natgeo.pt/historia/2019/09/como-era-o-porto-de-antigamente> (accessed Feb. 04, 2020).
- [15] “História da Cidade - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <http://www.cm-porto.pt/historia-da-cidade> (accessed Feb. 04, 2020).
- [16] “A historia do coracao de D. Pedro iV.” <https://made-portugal.blogspot.com/2017/09/a-historia-do-coracao-de-d-pedro-iv.html?m=1> (accessed Sep. 19, 2021).
- [17] “Brasão da Cidade do Porto.” <https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk00hXl65pHDlFO6AajE6lshsLu8Rgw:1582823239737&q=brasao+do+porto&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEWjcmHnPLnAhVJTBoKHWeGBJMQsAR6BAgKEAE&biw=1536&bih=722#imgrc=DOpWmBACE29YHM> (accessed Feb. 27, 2020).
- [18] “Centro Histórico do Porto.” <https://www.portopatrimoniomundial.com/> (accessed Feb. 06, 2020).
- [19] *cm-porto.pt*, “Executivo - Câmara Municipal do Porto.” <https://www.cm-porto.pt/executivo> (accessed Sep. 19, 2021).
- [20] “Estrutura Orgânica - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <https://www.cm->

porto.pt/estrutura-organica (accessed Sep. 17, 2021).

- [21] C. Grilo, “Diário da República, 2.^a série — N.º 170 — 4 de setembro de 2018,” *Diário da República*, pp. 24852–24879, 2018.
- [22] “Autarquia - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <https://www.cm-porto.pt/autarquia/edificio-pacos-do-concelho> (accessed Feb. 05, 2020).
- [23] “Ficha de Edifício,” *portoxxi.com*. http://www.portoxxi.com/cultura/ver_edificio.php?id=30 (accessed Feb. 06, 2020).
- [24] “Escadaria Principal - CMP.” https://www.google.com/search?q=escadaria+principal+camara+municipal+do+porto&sxsrf=AOaemvJFIYnbubIINr-dwGgNLs7kYSZUGw:1632052615495&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiBvprj_YrzAhUOrxoKHfngDB8Q_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=722&dpr=1.25#imgsrc=iW-5irg5m4kS.
- [25] “Edifício Paços do Concelho - Porto,” *Invicta de Azul e Branco*, 2018. <https://invictadeazulebranco.pt/edificio-pacos-do-concelho-porto/> (accessed Sep. 19, 2021).
- [26] “Porto.” <http://www.porto.pt/> (accessed Feb. 28, 2020).
- [27] “GoPorto - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <http://www.goporto.pt/> (accessed Feb. 28, 2020).
- [28] “Projetos - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <https://www.cm-porto.pt/projetos/projetos> (accessed Feb. 28, 2020).
- [29] “Ágora - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <http://www.agoraporto.pt/?p> (accessed Feb. 27, 2020).
- [30] “Projetos Juventude - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <http://www.cm-porto.pt/juventude-projetos> (accessed Feb. 28, 2020).
- [31] “Coesão Social - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <https://coesaosocial.cm-porto.pt/> (accessed Sep. 19, 2021).

- [32] “Domus Social - Câmara Municipal do Porto,” *cm-porto.pt*. <http://www.domussocial.pt/> (accessed Feb. 28, 2020).
- [33] A. H. Pires da Costa and J. M. G. Macedo, “Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos,” in *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária*, IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P., 2008, p. 36.
- [34] S. M. Pinheiro, “Mobilidade Sustentável: Introdução à temática da Eco-Condução.” [Online]. Available: http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Condutores/Ecoconducao/Documents/SERGIOPINHEIRO_IMTT.pdf.
- [35] M. da S. Costa, “Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável,” Universidade de São Paulo, 2008.
- [36] V. B. G. CAMPOS and R. A. R. RAMOS, “Proposta de Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável relacionando Transporte e uso do Solo,” 2005.
- [37] F. Aragall, *Conceito Europeu de Acessibilidade*. Luxemburgo, 2003.
- [38] A. H. Pires da Costa, “Correntes de tráfego,” in *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária*, vol. 2, IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P., 2008, p. 45.
- [39] C. A. T. Vilarinho, “Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego em Redes Urbanas,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [40] Waze Mobile, “Waze,” 2021. <https://www.waze.com/> (accessed Sep. 14, 2021).
- [41] S. Technologies, “Organização de gestão de frotas automóveis Veículo de frota, carro, serviço, carro, veículo.” <https://www.pngwing.com/pt/free-png-yrglw>.
- [42] OPT, “MOVE-ME.AMP,” 2016. <https://www.move-me.mobi/> (accessed Sep. 14, 2021).
- [43] auto connected car News, “ADAS Advanced Driver Assistance Systems – Definition AUTO Connected Car.” .

- [44] P. M. P. Ferreira, “Eficiência do sistema de controlo de tráfego da cidade do Porto,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [45] J. Guerrero-Ibáñez, S. Zeadally, and J. Contreras-Castillo, “Sensor technologies for intelligent transportation systems,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 4, pp. 1–24, 2018, doi: 10.3390/s18041212.
- [46] J. R. P. Costa, “Smart Cities - Monitorização Ambiental e de Tráfego Rodoviário,” Instituto Politécnico de Viseu, 2019.
- [47] Bosch, “MIC IP starlight 7100i.” www.boschsecurity.com, pp. 1–6, 2019.
- [48] P. A. Lopez *et al.*, “Microscopic Traffic Simulation using SUMO,” *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC*, vol. 2018-Novem, pp. 2575–2582, 2018, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569938.
- [49] German Aerospace Center, “SUMO.” Berlin, 2021, [Online]. Available: <https://www.eclipse.org/sumo/>.
- [50] Y.-P. Flötteröd and M. Behrisch, “Improving SUMO’s Signal Control Programs by Introducing Route Information,” in *EPiC Series in Engineering*, vol. 2, 2018, pp. 162–150.
- [51] Á. Seco, J. M. Macedo, and A. H. Pires da Costa, “Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes: Peões,” in *Volume 8*, 2008.

Anexo A: Cenários de Estudo

Cenário Zero

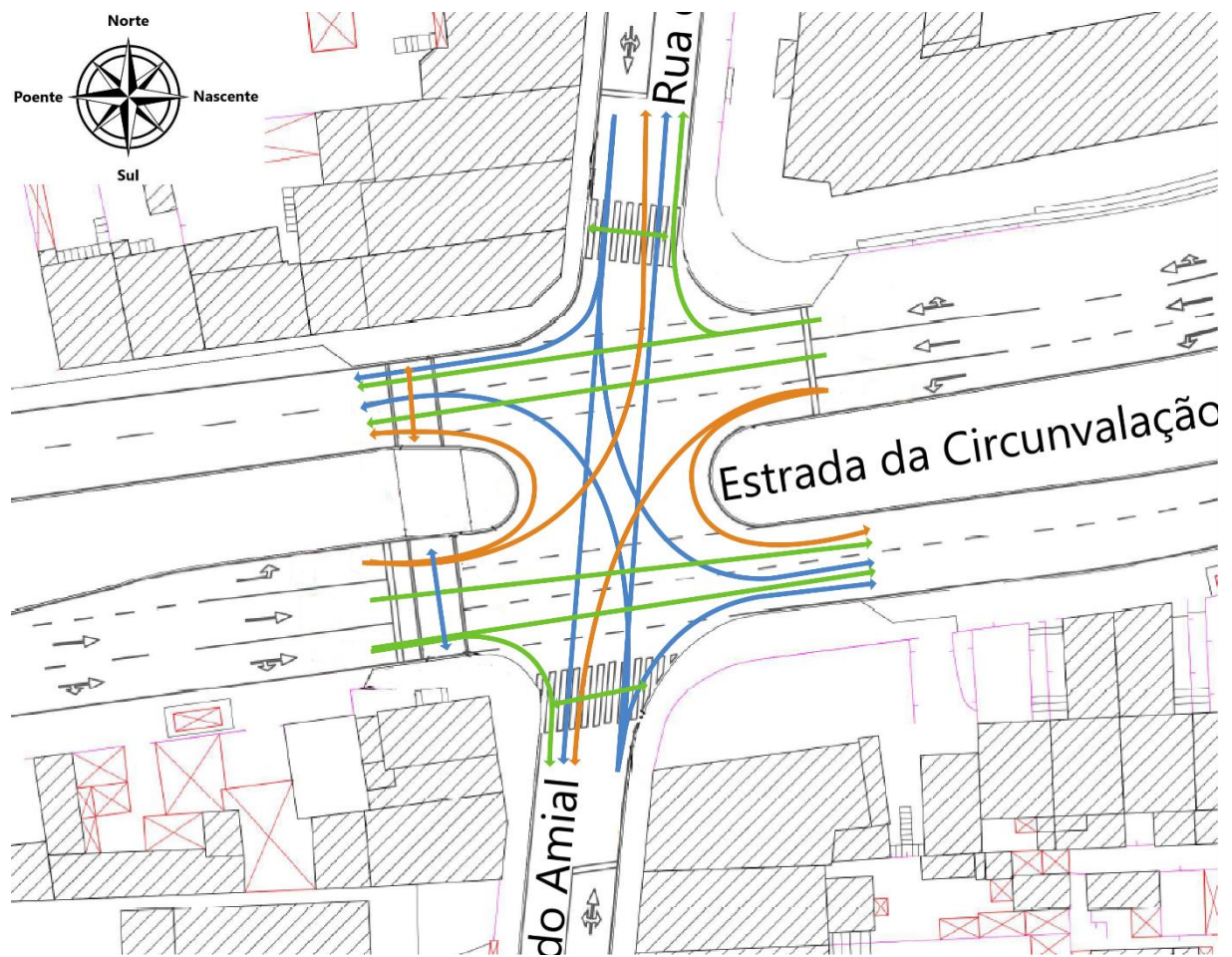


Figura 48 Etapas e movimentos do Cenário Zero.

Cenário Um

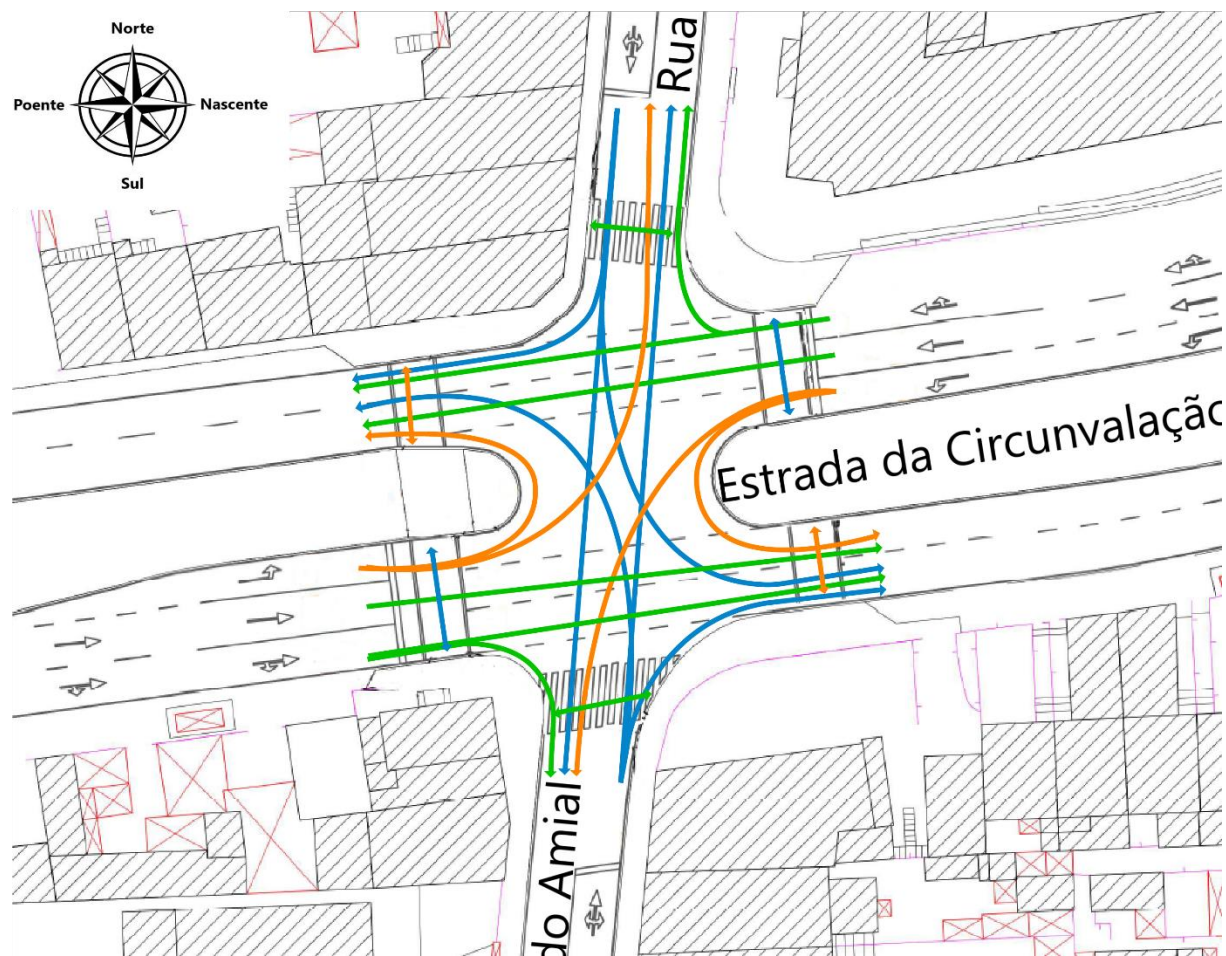


Figura 49 Etapas e movimentos do Cenário Um.

Cenário Dois

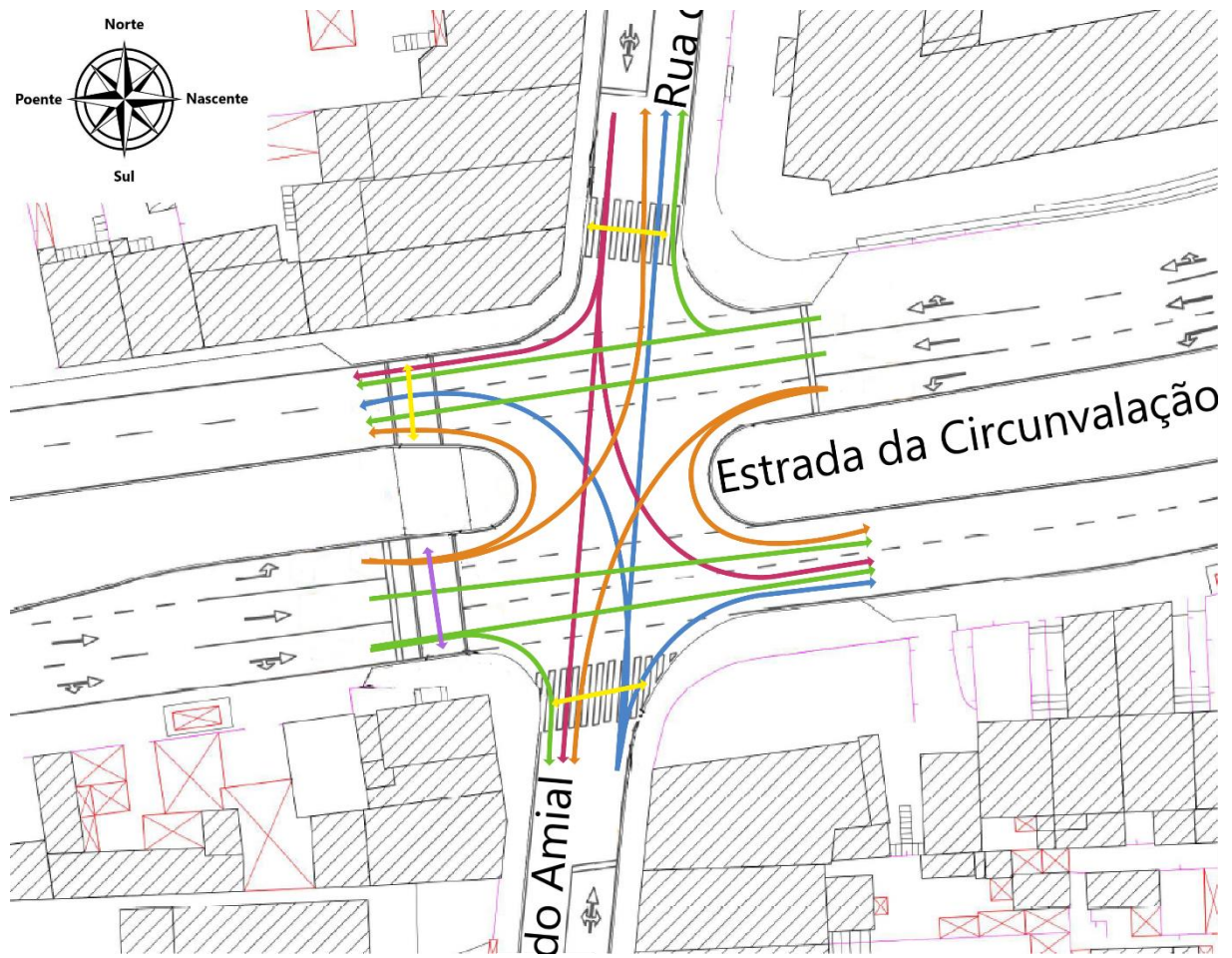


Figura 50 Etapas e movimentos do Cenário Dois.

Cenário Três

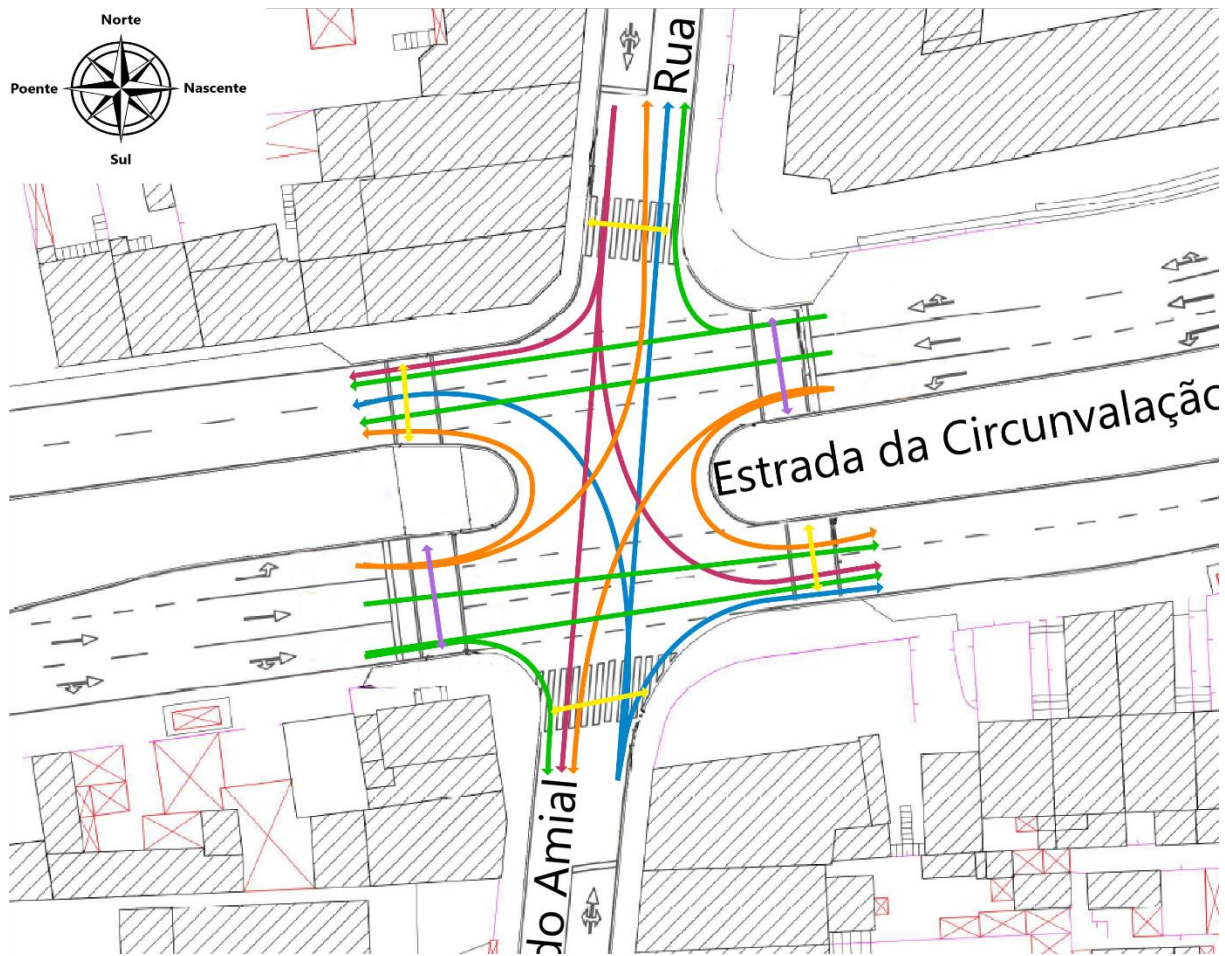


Figura 51 Etapas e movimentos do Cenário Três.

Anexo B: Contagens de tráfego

15 outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde

Tabela 7 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	27	23	17	21	27	25
	Em Frente	180	209	241	194	225	186
	Esquerda	18	17	22	18	15	18
	Inversão marcha	9	2	6	4	4	4
Pesados	Direita	0	0	0	1	0	1
	Em Frente	2	1	4	2	2	3
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	1	1	1	2	4
	Em Frente	7	7	18	15	7	12
	Esquerda	0	0	2	4	3	1
	Inversão marcha	0	0	2	0	1	1

Tabela 8 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Norte-Sul)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	13	13	14	17	6	16
	Em Frente	53	55	59	55	50	51
	Esquerda	19	42	23	50	42	38
Pesados	Direita	0	0	1	0	1	0
	Em Frente	0	0	1	0	1	0
	Esquerda	1	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	1	1	1	0	1
	Em Frente	1	6	0	0	4	4
	Esquerda	5	0	2	0	2	0

Tabela 9 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	4	6	9	8	6	6
	Em Frente	218	210	251	233	241	211
	Esquerda	31	22	31	23	26	34
	Inversão marcha	16	25	16	15	16	13
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	2	0	5	0	4	4
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	0	1	3	2	0
	Em Frente	11	12	13	6	16	13
	Esquerda	2	4	1	1	4	3
	Inversão marcha	0	0	0	1	0	0

Tabela 10 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Sul-Norte)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	23	25	17	21	26	35
	Em Frente	31	38	42	40	39	38
	Esquerda	29	29	25	28	13	13
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	1	0	0	0	1
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	0	0	1	0	1
	Em Frente	3	3	6	3	5	0
	Esquerda	0	1	0	2	0	0

16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Manhã

Tabela 11 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	6	8	6	6	12	9
	Em Frente	98	76	89	103	124	154
	Esquerda	8	13	14	7	10	21
	Inversão marcha	2	5	2	1	4	2
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	2	0	1	1	3	0
	Esquerda	0	1	1	0	0	0
	Inversão marcha	1	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	1	1	1	2	0	0
	Em Frente	3	8	4	3	1	3
	Esquerda	0	0	1	1	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	2	0

Tabela 12 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Norte-Sul)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	11	12	10	21	18	21
	Em Frente	18	18	25	25	23	24
	Esquerda	8	12	13	9	11	17
Pesados	Direita	1	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	0	1	1	0	0
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	0	1	0	1	1
	Em Frente	5	0	13	2	5	1
	Esquerda	0	1	2	1	1	2

Tabela 13 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	6	3	7	4	7	5
	Em Frente	123	94	51	60	90	101
	Esquerda	5	7	14	3	16	22
	Inversão marcha	3	2	4	1	6	9
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	2	0	1	0	0
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	1	0	1	0	2	2
	Em Frente	3	3	4	2	6	3
	Esquerda	1	1	1	2	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0

Tabela 14 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (Sentido Sul-Norte)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	11	18	12	13	17	16
	Em Frente	6	15	19	11	17	12
	Esquerda	4	2	5	6	5	6
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	0	0	0	1	0
	Esquerda	0	0	0	0	1	1
Duas Rodas	Direita	0	0	2	0	2	0
	Em Frente	1	1	0	0	1	0
	Esquerda	1	0	1	0	0	0

16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde

Tabela 15 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	21	15	16	16	23	11
	Em Frente	175	140	174	150	173	143
	Esquerda	17	20	25	24	25	32
	Inversão marcha	7	5	1	6	2	7
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	1	1	3	3	1
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	1	1	4	0	3
	Em Frente	6	1	11	3	4	2
	Esquerda	1	2	3	2	4	0
	Inversão marcha	0	0	4	2	0	0

Tabela 16 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (Sentido Norte-Sul)					
		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
Ligeiros	Direita	20	20	22	33	18	12
	Em Frente	24	30	33	31	30	36
	Esquerda	16	15	21	19	15	15
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	0	0	1	0	0
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	1	1	1	0	0
	Em Frente	2	3	0	1	4	0
	Esquerda	3	1	0	2	0	0

Tabela 17 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente)					
		17h30-17h45	17h45-18h00	18h00-18h15	18h15-18h30	18h30-18h45	18h45-19h00
Ligeiros	Direita	7	6	4	7	6	2
	Em Frente	178	194	120	131	145	174
	Esquerda	22	18	21	34	20	22
	Inversão marcha	11	13	23	20	9	10
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	1	0	0	4	0	0
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	1	5	7	5	4	6
	Esquerda	6	2	2	0	1	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0

Tabela 18 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Sul-Norte)					
		17h30-17h45	17h45-18h00	18h00-18h15	18h15-18h30	18h30-18h45	18h45-19h00
Ligeiros	Direita	23	27	23	20	25	23
	Em Frente	24	35	9	42	22	39
	Esquerda	10	6	11	12	9	6
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	0	0	1	0	0
	Esquerda	0	0	0	1	0	0
Duas Rodas	Direita	1	6	0	1	0	2
	Em Frente	1	3	2	3	2	4
	Esquerda	0	0	0	0	1	0

18 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Manhã

Tabela 19 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Nascente-Poente)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	7	16	15	9	16	15
	Em Frente	179	204	258	207	290	159
	Esquerda	19	40	31	32	45	48
	Inversão marcha	6	5	12	8	12	7
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	1	1	2	2	5	1
	Esquerda	2	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	1	0	1	0	0	1
	Em Frente	5	7	9	9	5	8
	Esquerda	0	0	0	0	2	1
	Inversão marcha	0	0	0	1	0	1

Tabela 20 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Norte-Sul) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Norte-Sul)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	23	18	18	15	20	12
	Em Frente	43	54	69	61	55	38
	Esquerda	30	40	53	42	58	57
Pesados	Direita	0	0	0	0	1	0
	Em Frente	2	0	0	1	1	0
	Esquerda	1	0	1	1	0	1
Duas Rodas	Direita	2	1	0	2	1	0
	Em Frente	0	1	2	1	3	1
	Esquerda	1	2	1	2	1	0

Tabela 21 Contagens de Tráfego da Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.

		Estrada da Circunvalação (sentido Poente-Nascente)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	11	7	9	12	10	6
	Em Frente	281	294	249	243	235	286
	Esquerda	11	18	9	13	12	14
	Inversão marcha	10	5	2	5	5	9
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	7	3	5	3	3	4
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	8	11	4	3	6	6
	Esquerda	1	0	0	0	3	0
	Inversão marcha	0	0	0	0	0	0

Tabela 22 Contagens de Tráfego da Rua do Amial (sentido Sul-Norte) da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.

		Rua do Amial (sentido Sul-Norte)					
		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
Ligeiros	Direita	23	31	43	27	37	40
	Em Frente	24	26	33	27	37	37
	Esquerda	14	10	13	11	13	8
Pesados	Direita	0	0	0	0	0	0
	Em Frente	0	0	2	0	0	0
	Esquerda	0	0	0	0	0	0
Duas Rodas	Direita	1	1	0	0	0	0
	Em Frente	4	0	1	3	1	3
	Esquerda	0	0	0	0	0	0

Anexo C: Volumes de Peões

Na figura seguinte, Figura 52, apresenta-se o esquema da interseção da Rua do Amial com a Estrada da Circunvalação, identificando os passeios dos peões com letras de A a F para os volumes de peões nas respetivas horas de ponta.

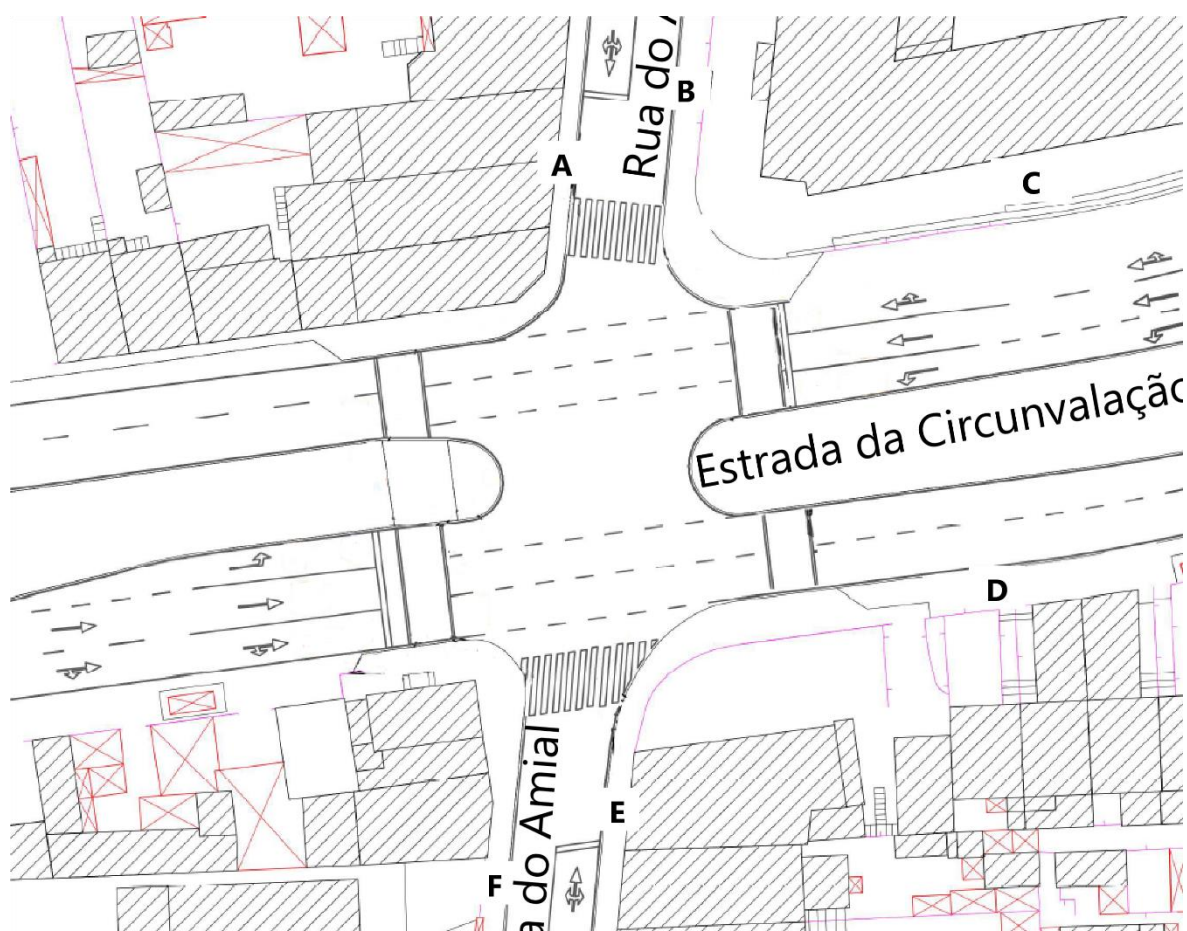


Figura 52 Identificação de passeios para criar volumes de peões.

15 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde

Tabela 23 Volumes de Peões da Hora de Ponta da Tarde do dia 15 de outubro de 2021.

		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
A	C	6	8	12	9	7	8
	D	6	8	7	2	9	4
	E	5	9	8	9	7	5
	F	8	9	5	7	8	10
B	A	7	8	7	9	5	4
	C	6	9	7	4	8	5
	D	8	7	10	11	9	7
	E	7	9	5	8	5	5
	F	8	7	6	9	9	5
C	A	5	7	4	5	6	4
	B	2	3	8	7	5	5
	D	10	8	9	9	7	6
	E	9	7	5	8	9	9
	F	6	8	5	7	9	5
D	A	12	10	15	16	9	13
	B	14	16	18	16	10	9
	C	9	8	7	8	9	7
	E	9	12	18	16	13	8
	F	9	10	12	8	9	7
E	A	9	5	9	6	6	7
	B	4	3	7	7	6	5
	C	8	7	12	14	11	11
	D	9	7	6	8	9	5
	F	3	2	4	4	3	1
F	A	6	8	9	4	5	8
	B	4	3	5	9	8	9
	C	7	4	3	4	6	5
	D	6	8	7	9	6	2
	E	2	3	1	4	2	3

16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Manhã

Tabela 24 Volumes de Peões da Hora de Ponta da Manhã do dia 16 de outubro de 2021.

		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
A	C	1	0	1	2	0	0
	D	3	1	2	1	3	3
	E	0	1	0	0	1	1
	F	0	0	1	1	1	2
B	A	0	1	2	0	0	2
	C	0	0	0	1	1	1
	D	1	2	1	2	2	1
	E	0	0	1	1	2	2
	F	1	0	0	2	1	2
C	A	1	1	0	1	0	0
	B	0	0	1	1	2	2
	D	1	1	2	0	2	3
	E	0	1	2	3	3	3
	F	0	0	1	1	1	2
D	A	2	1	0	0	3	0
	B	2	1	0	0	0	1
	C	0	0	0	1	0	0
	E	0	0	0	0	2	2
	F	2	1	0	1	0	0
E	A	0	0	1	2	0	0
	B	0	0	2	3	2	2
	C	0	0	0	0	0	1
	D	0	0	0	0	1	1
	F	0	0	1	1	2	0
F	A	2	3	3	0	1	3
	B	0	2	1	3	0	2
	C	0	0	0	0	1	1
	D	1	2	0	0	1	0
	E	2	1	0	0	2	3

16 de outubro de 2021 – Hora de Ponta da Tarde

Tabela 25 Volumes de Peões da Hora de Ponta da Tarde do dia 16 de outubro de 2021.

		17h30- 17h45	17h45- 18h00	18h00- 18h15	18h15- 18h30	18h30- 18h45	18h45- 19h00
A	C	1	0	1	2	0	0
	D	3	1	2	1	3	3
	E	0	1	0	0	1	1
	F	0	0	1	1	1	2
B	A	0	1	2	0	3	5
	C	0	0	0	1	1	1
	D	1	2	1	2	2	1
	E	0	0	1	1	2	2
	F	1	0	0	2	1	2
C	A	1	1	0	3	4	3
	B	0	0	1	1	2	2
	D	1	1	2	0	2	3
	E	0	1	2	3	3	3
	F	0	0	1	1	1	2
D	A	2	1	0	5	3	4
	B	2	1	0	0	0	1
	C	0	0	0	1	0	0
	E	0	0	0	0	2	2
	F	2	1	0	1	0	0
E	A	0	0	1	2	0	0
	B	0	0	2	3	2	2
	C	0	0	0	0	0	1
	D	0	0	0	4	1	8
	F	0	0	1	1	2	0
F	A	2	3	3	4	7	3
	B	0	2	1	3	0	2
	C	0	0	0	0	1	1
	D	1	2	0	0	1	0
	E	2	1	0	0	2	3

18 de outubro – Hora de Ponta da Manhã

Tabela 26 Volumes de Peões da Hora de Ponta da Manhã do dia 18 de outubro de 2021.

		7h30-7h45	7h45-8h00	8h00-8h15	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00
A	C	4	5	8	4	3	9
	D	9	9	10	13	14	16
	E	2	3	5	8	7	6
	F	2	5	7	6	4	9
B	A	1	3	5	6	8	7
	C	1	1	2	4	2	6
	D	8	13	11	17	16	14
	E	0	2	4	6	7	9
	F	0	3	1	8	6	7
C	A	3	2	4	3	5	4
	B	0	1	1	2	3	6
	D	9	12	16	16	17	13
	E	4	6	5	3	8	6
	F	1	3	6	8	7	2
D	A	0	2	1	2	3	4
	B	0	0	2	1	1	3
	C	0	0	0	1	1	1
	E	2	4	3	6	8	5
	F	2	6	4	8	7	5
E	A	1	3	5	8	4	9
	B	2	4	1	7	8	8
	C	0	0	1	2	2	1
	D	9	9	11	13	14	15
	F	3	3	4	2	5	6
F	A	0	1	2	0	3	5
	B	2	6	4	3	2	1
	C	0	0	1	1	3	2
	D	8	10	13	9	8	7
	E	3	4	2	6	8	7

Anexo D: Diagramas de Ciclo

Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Manhã para os Cenário Dois e Cenário Três

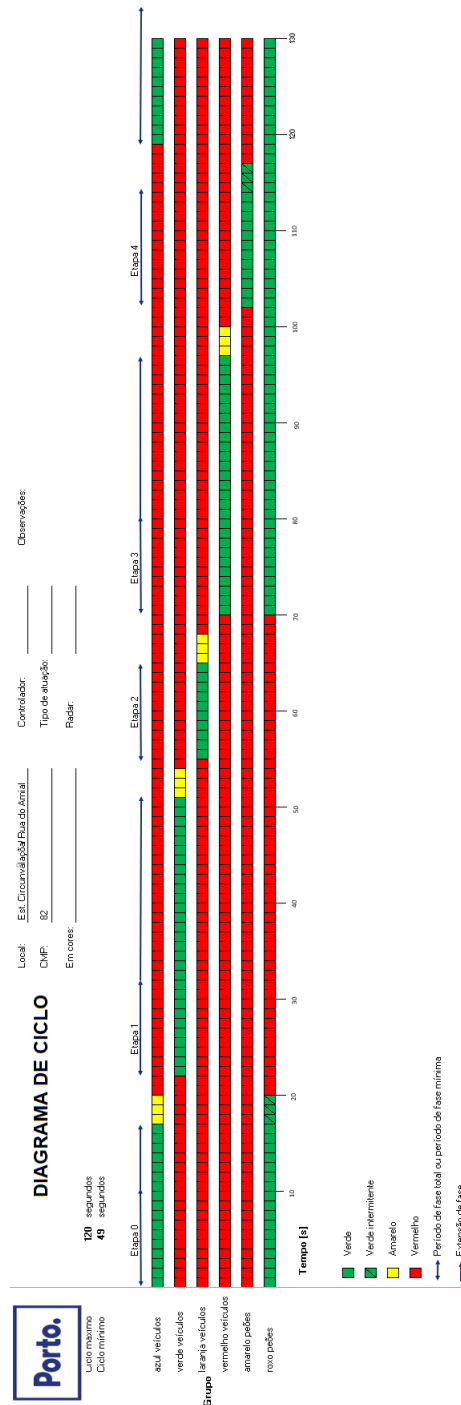


Figura 53 Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Manhã para Cenário Dois e Cenário Três.

Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Tarde (Cenário Dois e Cenário Três)

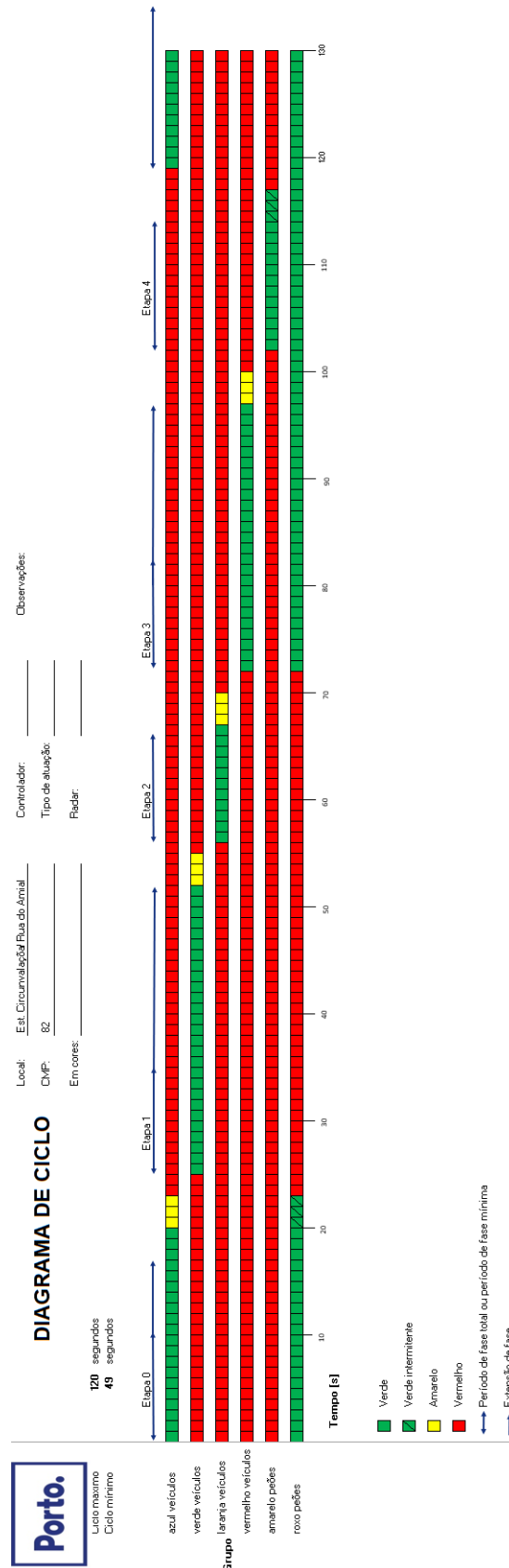


Figura 54 Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Tarde para Cenário Dois e Cenário Três.

Diagrama de Ciclo Atual (Cenário Zero e Cenário Um)

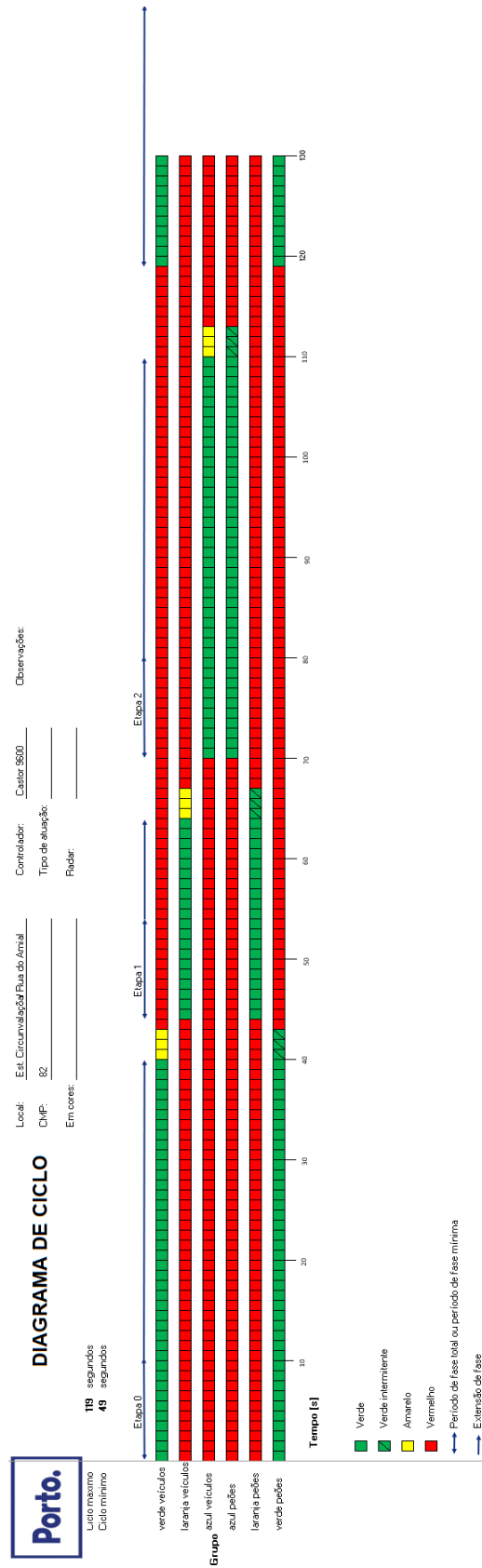


Figura 55 Diagrama de Ciclo da Hora de Ponta da Tarde para Cenário Zero e Cenário Um.