



# SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA ANÁLISE DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL NUM CRUZAMENTO DA CIDADE DO PORTO

JOÃO PEDRO LINO PÉROLA

setembro de 2020

# SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA ANÁLISE DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL NUM CRUZAMENTO DA CIDADE DO PORTO

João Pedro Lino Pérola  
1090401

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA ANÁLISE DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL NUM CRUZAMENTO DA CIDADE DO PORTO

João Pedro Lino Pérola  
1090401

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira.

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

## JÚRI

### **Presidente**

Venceslau Manuel Magalhães Correia

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Orientador**

Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Arguente**

Benny Tjahjono

Full Professor, Centre for Business in Society, Coventry University



Em memória do meu avô.



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer por todo o incansável suporte prestado ao longo da elaboração deste trabalho ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira do Instituto Superior de Engenharia do Porto, sem a sua orientação não teria sido possível terminar esta fase da minha vida e sentir-me realizado com o desenrolar de todo o seu processo.

Para finalizar, agradecer à minha família, Luísa e amigos pelo apoio prestado durante este período, em especial foco aos meus pais, Paula e José, e irmã, Filipa. Para eles, um muito obrigado.



## **PALAVRAS-CHAVE**

Anylogic, Rede Tráfego Urbano, Simulação, Sistema de Apoio à Decisão

## **RESUMO**

Com todos os desenvolvimentos a nível tecnológico e científico existentes é compreensível que, cada vez mais, se procure uma maneira de encontrar soluções de rentabilização de processos, assim como antever potenciais problemas futuros adjacentes a essa ação. Posto isto, tende-se a evitar uma aposta em algo que não se consegue prever o resultado, em termos de lucro ou objetivo, sem se ter antes um mínimo conhecimento ou certeza que a sua execução é viável e trará benefícios. Como exemplo, a adição de uma nova faixa de rodagem numa rua movimentada no centro de uma cidade, situação em que há alguns anos atrás era impossível de prever-se os seus prós e contras, mas que, hoje em dia, com a ajuda de um programa de simulação é possível antecipar o mencionado ou até cancelar a ideia, por não ir de encontro ao objetivo que se julgava ter inicialmente. Neste tipo de situações, a simulação é uma área muito útil e cada vez mais aplicada nos vários temas a nível global, tendo como apoio um número cada vez maior de programas e aplicações ao dispor do utilizador comum.

O objetivo deste trabalho passou por, através do programa Anylogic, obter um sistema de apoio à decisão de uma rede de tráfego urbano automóvel existente num cruzamento de uma área da cidade do Porto – a zona selecionada para o estudo foi a intersecção de Monte dos Burgos na Estrada da Circunvalação.

Esta ferramenta permitirá ao utilizador obter diferentes resultados com a alteração de diversos parâmetros, de destacar a velocidade dos agentes, aceleração, número de veículos que circulam na estrada, possibilidade de escolha de rotas a cumprir e tempo dos semáforos, para assim atingir-se o cenário desejado. Por fim, outro aspeto importante de mencionar é a existência de um conjunto de gráficos pertinentes para a análise dos valores obtidos durante o decorrer da simulação.



**KEYWORDS**

*Anylogic, Urban Traffic Network, Simulation, Decision Support System*

**ABSTRACT**

*With all the technological and scientific progress in recent years, it has become necessary to find ways to ensure profitable process solutions and predict potential future problems. That said, companies tend to avoid investing in processes that are unpredictable in terms of their goals and profits, without first having some knowledge or assurance that its execution is feasible and will be beneficial to the company. For instance, a few years ago, it would have been impossible to predict the pros and cons of adding a new road to a busy street in a city center. However, nowadays, with the help of a simulation program, it is possible to anticipate the results and even decide to cancel a project before it even begins, if the simulation is not promising. In this kind of situation, simulations are extremely helpful and are used in a number of different fields and companies globally. Additionally, the number of programs and apps available for the general user has been growing steadily too.*

*The purpose of this thesis, with the help of the Anylogic Program, is to obtain a Decision Support System related to an urban traffic network located in an area of Oporto City. The area picked was the Monte dos Burgos Intersection in Estrada da Circunvalação. This tool allows the user to obtain results by modifying a set of parameters with the purpose of achieving the desired scenario, including the agent's velocity and acceleration, the number of cars added during the simulation's time, the possibility to choose different roads and take different routes and the duration of the traffic lights. To conclude, another important aspect highlighted throughout this thesis is the existence of a set of graphics for the analysis of the values obtained during the simulation run process.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ABM	<i>Agent Based Model</i>
CTM	<i>Cell Transmission Model</i>
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
MATSim	<i>Multi-Agent Transport Simulation Toolkit</i>
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
Nrº	Número

### Lista de Unidades

km/h	Quilómetro por hora
m/s <sup>2</sup>	Metro por segundo ao quadrado
s	Segundo
kW	Quilowatt

### Lista de Símbolos

%	Probabilidade
---	---------------



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Layout</i>	Estrangeirismo para “Plano do Desenho”.
<i>Software</i>	Sequência de informações e instruções a serem seguidas e executadas por um computador, na manipulação e redirecionamento de dados ou acontecimentos.
<b>JAVA</b>	É um ambiente ou plataforma computacional que permite desenvolver programas utilizando a linguagem de programação Java.
<b>MATSim</b>	É um programa de código aberto que desenvolve módulos de <i>software</i> baseados em agentes com o intuito de usá-los para planejamento de transporte.
<b>Anylogic</b>	É uma ferramenta de modelagem de simulação desenvolvida pela <i>The AnyLogic Company</i> . O programa suporta metodologias de simulação baseada em agentes, eventos discretos e dinâmica de sistemas.
<i>Design</i>	Estrangeirismo para “Desenho/Projeto”.
<i>Input</i>	Estrangeirismo para “Entrada”.
<i>Top</i>	Estrangeirismo para “Acima”.
<i>Down</i>	Estrangeirismo para “Abaixo”.
<i>Fast</i>	Estrangeirismo para “Rápido”.
<i>Continue</i>	Estrangeirismo para “Continuar”.
<b>STOP</b>	Estrangeirismo para “Parar”.
<i>In</i>	Estrangeirismo para “Entrada”.
<i>Out</i>	Estrangeirismo para “Saída”.
<i>Run</i>	Estrangeirismo para “Correr/Executar”.
<i>Animation</i>	Estrangeirismo para “Animação”.
<i>Logic</i>	Estrangeirismo para “Lógica”.
<i>Outputs</i>	Estrangeirismo para “Saídas”.
<i>Update</i>	Estrangeirismo para “Atualizar”.
<i>Bugs</i>	É um erro ou falha num programa ou sistema de um computador, que origina a produção de um resultado incorreto ou inesperado ou comporta-se de maneiras não intencionais.



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 VISTA ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA APOIO À DECISÃO (TRIPATHI, 2011).	37
FIGURA 2 PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO E DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS (TRIPATHI, 2011).	38
FIGURA 3 EXEMPLO DE UM SEMÁFORO COMUM (OSIGBEMEH ET AL., 2017).	40
FIGURA 4 EXEMPLOS DE SINAIS RODOVIÁRIOS (BOULMAKOUL ET AL., 2020).	41
FIGURA 5 EXEMPLO DE UMA INTERSEÇÃO (POP, 2018).	42
FIGURA 6 REPRESENTAÇÃO ANIMADA DA ÁREA DE ESTUDO COM A RESPECTIVA NUMERAÇÃO DAS RUAS EXISTENTES (1 - RUA NOVA DO SEIXO; 2 – ESTRADA DA CIRCUNVALAÇÃO (NACIONAL 12); 3 – ESTRADA DA CIRCUNVALAÇÃO (NACIONAL 12)); 4 – RUA MONTE DOS BURGOS.	50
FIGURA 7 VISTA ÁREA DA ZONA SELECIONADA PARA A ELABORAÇÃO DO TRABALHO (VIA GOOGLE EARTH).	50
FIGURA 8 RUA NOVA DO SEIXO.	51
FIGURA 9 ESTRADA DA CIRCUNVALAÇÃO <i>DOWN</i> (NACIONAL 12).	52
FIGURA 10 RUA DO MONTE DOS BURGOS.	52
FIGURA 11 ESTRADA DA CIRCUNVALAÇÃO <i>TOP</i> (NACIONAL 12).	53
FIGURA 12 ZONA DE INTERSEÇÃO DO ESTUDO.	54
FIGURA 13 FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.	55
FIGURA 14 INTERFACE GRÁFICA DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.	56
FIGURA 15 PARÂMETROS DE VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DOS CARROS.	57
FIGURA 16 PARÂMETROS DE VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DOS AUTOCARROS.	58
FIGURA 17 PARÂMETRO RELATIVO AO NÚMERO DE CARROS QUE ENTRAM NA SIMULAÇÃO.	58
FIGURA 18 PARÂMETRO RELATIVO AO NÚMERO DE AUTOCARROS QUE ENTRAM NA SIMULAÇÃO.	59
FIGURA 19 PARÂMETRO RELATIVO À PROBABILIDADE DE UM CARRO OPTAR POR UMA DADA DIREÇÃO.	59
FIGURA 20 EXEMPLO DA PROBABILIDADE DE TRAJETÓRIA DE UM CARRO QUE TEM COMO INÍCIO DE PERCURSO A ESTRADA DA CIRCUNVALAÇÃO <i>DOWN</i> (NACIONAL 12).	60
FIGURA 21 PROBABILIDADES DE TRAJETÓRIA DE UM AUTOCARRO AO LONGO DOS SEUS DIFERENTES DESTINOS.	61
FIGURA 22 PARÂMETRO DO TEMPO DOS SEMÁFOROS EXISTENTES NA INTERSEÇÃO DE ESTUDO.	61
FIGURA 23 BOTÃO <i>RUN</i> QUE DÁ INÍCIO À SIMULAÇÃO DO ESTUDO.	61
FIGURA 24 ANIMAÇÃO 2D DA SIMULAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO.	62
FIGURA 25 POSSÍVEIS ROTAS DE SAÍDA DE CADA RUA NA INTERSEÇÃO EM ESTUDO.	63
FIGURA 26 ACESSO AO MODELO 3D, DISPONIBILIZADO ATRAVÉS DO BOTÃO <i>TOGGLE DEVELOPER PANEL</i> .	63
FIGURA 27 OPÇÃO <i>VIEW3D</i> MUDA A INTERFACE DA SIMULAÇÃO PARA A ANIMAÇÃO 3D.	64
FIGURA 28 ANIMAÇÃO 3D DA SIMULAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO.	64
FIGURA 29 <i>ROAD TRAFFIC LIBRARY</i> - MENU TRÁFEGO URBANO.	65

FIGURA 30 <i>MATERIAL HANDLING LIBRARY</i> - MENU MANUSEAMENTO DE MATERIAIS.	67
FIGURA 31 <i>AGENT</i> – AGENTE.	68
FIGURA 32 MODELO LÓGICO DA SIMULAÇÃO DE ESTUDO.	69
FIGURA 33 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO DE PERCURSO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS.	70
FIGURA 34 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE I.	70
FIGURA 35 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE II.	70
FIGURA 36 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE III.	71
FIGURA 37 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE IV.	71
FIGURA 38 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE V.	71
FIGURA 39 LÓGICA DE UM AUTOCARRO COM INÍCIO NA RUA DO MONTE DOS BURGOS, PARTE VI.	72
FIGURA 40 PALETE <i>OUTPUTS</i> DO MODELO DE SIMULAÇÃO.	72
FIGURA 41 GRÁFICO RELATIVO AO NÚMERO DE CARROS PRESENTES EM CADA RUA DO MODELO DE SIMULAÇÃO.	73
FIGURA 42 VARIÁVEL CRIADA PARA A CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO.	73
FIGURA 43 ASSOCIAÇÃO DA VARIÁVEL AO GRÁFICO EM ESTUDO.	74
FIGURA 44 CÓDIGO RELATIVO À CONTAGEM DO NÚMERO DE CARROS PRESENTES EM CADA RUA.	74
FIGURA 45 GRÁFICO RELATIVO AO NÚMERO DE AUTOCARROS PRESENTES EM CADA RUA DO MODELO DE SIMULAÇÃO.	74
FIGURA 46 ASSOCIAÇÃO DA VARIÁVEL AO GRÁFICO EM ESTUDO.	75
FIGURA 47 GRÁFICO RELATIVO AO NÚMERO DE CARROS TOTAL QUE ENTRAM NO MODELO DE SIMULAÇÃO.	75
FIGURA 48 ASSOCIAÇÃO DA VARIÁVEL AO GRÁFICO EM ESTUDO.	76
FIGURA 49 CÓDIGO RELATIVO À CONTAGEM DO NÚMERO TOTAL DE CARROS DURANTE O TEMPO DE SIMULAÇÃO.	76
FIGURA 50 GRÁFICO RELATIVO AO NÚMERO DE AUTOCARROS TOTAL QUE ENTRAM NO MODELO DE SIMULAÇÃO.	77
FIGURA 51 ASSOCIAÇÃO DA VARIÁVEL AO GRÁFICO EM ESTUDO.	77
FIGURA 52 GRÁFICO RELATIVO À QUANTIDADE DE TEMPO QUE OS CARROS SE APRESENTAM NO MODELO DE SIMULAÇÃO.	78
FIGURA 53 PROPRIEDADES DO GRÁFICO EM ESTUDO.	79
FIGURA 54 INFORMAÇÃO RELATIVA AO HISTOGRAMA.	79
FIGURA 55 CÓDIGO RELATIVO À CONTAGEM DO TEMPO QUE CADA VEÍCULO PERMANECE NA SIMULAÇÃO.	79
FIGURA 56 CÓDIGO RELATIVO À CONTAGEM DO TEMPO MÉDIO QUE OS VEÍCULOS PERMANECEM NA SIMULAÇÃO.	79
FIGURA 57 GRÁFICO RELATIVO À QUANTIDADE DE TEMPO QUE OS AUTOCARROS SE APRESENTAM NO MODELO DE SIMULAÇÃO.	80
FIGURA 58 PROPRIEDADES DO GRÁFICO EM ESTUDO.	80





## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS NA ÁREA DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO AUTOMÓVEL.	43
TABELA 2 LIBRARIA TRÁFEGO URBANO DISPONÍVEL NA ABA <i>ROAD TRAFFIC LIBRARY</i> .	66
TABELA 3 LIBRARIA MODELAGEM DE PROCESSAMENTO DISPONÍVEL NA ABA <i>MATERIAL HANDLING LIBRARY</i> .	67
TABELA 4 LIBRARIA COMPONENTES DE UM AGENTE DISPONÍVEL NA ABA <i>AGENT</i> .	69



# ÍNDICE

RESUMO .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XV
GLOSSÁRIO DE TERMOS.....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XXIII
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
1.1. Enquadramento do Trabalho.....	31
1.2. Objetivos .....	31
1.3. Fases do Trabalho Desenvolvido .....	32
1.4. Conteúdo e Organização da Dissertação .....	33
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>36</b>
2.1. Introdução.....	36
2.2. Sistemas de Apoio à Decisão .....	36
2.3. Tráfego Automóvel numa Cidade .....	39
2.4. Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão do Tráfego Automóvel.....	42
<b>3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA MELHORIA DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL .....</b>	<b>49</b>
3.1. Descrição do Sistema Real .....	49
3.1.1. Rua Nova do Seixo .....	51
3.1.2. Estrada da Circunvalação <i>Down</i> (Nacional 12) .....	51
3.1.3. Rua Monte dos Burgos .....	52
3.1.4. Estrada da Circunvalação <i>Top</i> (Nacional 12) .....	53
3.2. Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido .....	54

3.2.1.	Módulo 1: Parâmetros de Velocidade e Aceleração relativos aos Carros .....	57
3.2.2.	Módulo 1: Parâmetros Velocidade e Aceleração relativos aos Autocarros .....	58
3.2.3.	Módulo 2: Parâmetro do Fluxo de Tráfego relativo aos Carros .....	58
3.2.4.	Módulo 2: Parâmetro do Fluxo de Tráfego relativo aos Autocarros.....	59
3.2.5.	Módulo 3: Parâmetro da Probabilidade de Escolha de Rota relativo aos Carros .....	59
3.2.6.	Módulo 3: Parâmetro da Probabilidade de Escolha de Rota relativo aos Autocarros .....	60
3.2.7.	Módulo 4: Parâmetro do Tempo de Sinalização dos Semáforos .....	61
3.3.	Animação .....	62
3.4.	Modelo Lógico.....	65
3.5.	<i>Outputs</i> do Sistema de Apoio à Decisão .....	72
3.5.1.	Número de Carros que Circulam em Cada Rua .....	73
3.5.2.	Número de Autocarros que Circulam em Cada Rua .....	74
3.5.3.	Número Total de Carros que Circulam em Todas as Ruas .....	75
3.5.4.	Número Total de Autocarros que Circulam em Todas as Ruas .....	77
3.5.5.	Tempo de Permanência dos Carros na Simulação .....	78
3.5.6.	Tempo de Permanência dos Autocarros na Simulação .....	80
4.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	83
4.1.	Principais Contributos do Trabalho .....	83
4.2.	Valor Acrescentado do Trabalho para o Setor do Tráfego Automóvel .....	84
4.3.	Trabalhos Futuros .....	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88





# 1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do Trabalho

1.2. Objetivos

1.3. Fases do Trabalho Desenvolvido

1.4. Conteúdo e Organização da Dissertação



## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, ir-se-á introduzir, de forma sucinta, no que se baseou esta dissertação e o seu tema genérico. Inicialmente é feito um breve comentário sobre o enquadramento do trabalho, de seguida explicar-se-á os objetivos propostos, as várias fases de desenvolvido e, por fim, o seu conteúdo e organização.

### 1.1. Enquadramento do Trabalho

Num mundo industrial cada vez mais competitivo e avançado, o uso de ferramentas com o objetivo de antecipar resultados, prever futuros problemas ou até mesmo validar uma mudança em algo já existente torna-se um passo decisivo e cada vez mais importante para o realizar de um investimento. Apesar do previamente descrito, os municípios têm optado por adotar uma atitude de “esperar para ver” devido às suas muitas incertezas, mesmo tendo à sua disposição cada vez mais desenvolvimentos no mundo automóvel que podem possibilitar a mudança em termos de mobilidade (Overtoom et al., 2020). Com o avançar dos anos tem surgido uma aposta cada vez mais frequente neste meio em discussão: a simulação. Esta pode ser definida como sendo uma ferramenta no apoio à decisão, permitindo a projeção e análise da performance de um dado sistema ou processos complexos (Ferreira et al., 2011A).

Este trabalho foi elaborado no âmbito do Curso de Mestrado de Engenharia Mecânica do ISEP, Instituto Superior de Engenharia do Porto, e desenvolvido no programa de simulação Anylogic.

### 1.2. Objetivos

O trabalho teve como principal objetivo a criação de um sistema de apoio à decisão (SAD) de uma rede de tráfego urbano numa área do Porto (Interseção de Monte dos Burgos), usando o programa de simulação Anylogic para o efeito. Com esta ferramenta, será possível aos utilizadores alterar uma série de variáveis e depois analisar o impacto que estas mudanças causaram. Na ferramenta a desenvolver deverá ser possível ao utilizador configurar os seguintes parâmetros:

- Velocidade inicial dos veículos;
- Velocidade preferencial dos veículos;
- Máxima aceleração dos veículos;
- Máxima desaceleração dos veículos;
- Número de veículos que entram no modelo por um determinado acesso;
- Probabilidade de escolha de uma dada trajetória por parte dos veículos;
- Duração do tempo dos semáforos.

### 1.3. Fases do Trabalho Desenvolvido

De maneira a ser possível enunciar, de forma resumida, como foi desenvolvido todo o processo de criação do SAD, é apresentado, nos marcadores abaixo, as cinco fases distintas deste trabalho:

- Parte I - Revisão bibliográfica referente ao tema tráfego urbano:  
Nesta fase procurou-se investigar e pesquisar o tema abordado. Informação relacionada com simulação de tráfego urbano, modelos e ferramentas de apoio à decisão e o programa Anylogic foram a pesquisa primordial;
- Parte II - Escolha do local de estudo, construção do *layout* do modelo de simulação e análise dos erros gerados durante o processo:  
Partiu-se para a seleção do local com as características desejadas para o projeto: semáforos, interseção, paragens de autocarro e de veículos ligeiros e, por fim, com movimento considerável em horas de ponta. Definido o local, efetuou-se a construção do *layout* do modelo com base numa imagem real e consequente análise e ultrapassagem de erros e adversidades ocorridas;
- Parte III - Definição dos parâmetros e variáveis a utilizar pelo utilizador do sistema de apoio à decisão e desenvolvimento do mesmo:  
Com a fase anterior concluída, os parâmetros dos agentes foram criados – velocidade preferencial, aceleração máxima, entre outros. O desenvolvimento do SAD foi então iniciado e as suas variáveis, disponíveis ao utilizador, adicionadas;
- Parte IV – Criação de gráficos de dados e construção do modelo 3D:  
Ao finalizar o modelo foi então possível começar a estudar alguns gráficos e selecionar quais seriam os mais pertinentes a utilizar para o caso em estudo. O *software* disponibiliza ao utilizador tanto a versão 2D (pré-definida e obrigatória) como uma versão 3D de animação. Posto isto e para a conclusão da construção do modelo, o 3D foi também acrescentado para dar uma outra visão se assim for necessário;
- Parte V – Conclusões e possíveis melhoramentos aplicados à zona estudada:  
Com o sistema concluído é assim possível começar a variar os parâmetros e também detetar quais as áreas que geram mais tráfego e quais os seus pontos críticos. As conclusões são apresentadas assim como possibilidades de trabalhos futuros.

## 1.4. Conteúdo e Organização da Dissertação

A dissertação apresentada é dividida em quatro capítulos, subdivididos em alguns temas. Abaixo aborda-se sucintamente o que é descrito em cada um deles:

- **Capítulo I - Introdução:**  
Neste capítulo é feito o enquadramento da dissertação, o que será abordado e no que esta consiste. De seguida, os objetivos propostos são apresentados, assim como as várias fases do decorrer do trabalho;
- **Capítulo II - Revisão de Literatura e Fundamentação Teórica:**  
Toda a pesquisa pertinente, necessária e que sustenta a informação do presente trabalho encontra-se neste capítulo. Abordam-se também aspetos importantes relativos ao tráfego automóvel;
- **Capítulo III – Sistema de Apoio à Decisão para melhoria do Tráfego Automóvel:**  
Nesta parte será descrito todo o processo relacionado com o proposto na dissertação. A construção do *layout* é descrita, as partes intervenientes na simulação detalhadas e explicadas e o SAD apresentado;
- **Capítulo IV - Conclusões e Trabalho Futuros:**  
Uma retrospectiva ao SAD: os seus principais contributos, as respetivas conclusões e uma abordagem às possíveis melhorias consequentes que poderão ser consideradas. Para terminar, uma breve análise aos possíveis trabalhos futuros.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de base ao desenvolvimento deste trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Introdução

2.2. Sistemas de Apoio à Decisão

2.3. Tráfego Automóvel numa Cidade

2.4. Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão do Tráfego Automóvel



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Introdução

A instabilidade do tráfego automóvel é uma característica importante, porém indesejada, do seu fluxo (Jiang et al., 2017). Os engarrafamentos e os problemas de segurança rodoviária estão a aumentar cada vez mais, consoante o número de veículos aumenta. Consequentemente, este tipo de fatores leva a um impacto negativo ao nível da saúde, assim como a um desperdício de combustível e horas improdutivas (Heyns et al., 2019). A poluição do ar é um problema crescente em cidades de muitos países e, por isso, as emissões provocadas pelas massas aglomeradas de veículos são uma das maiores razões para a poluição em áreas urbanas (Alexandrino et al., 2020). Posto isto, as cidades, nos dias de hoje, têm de focalizar-se no desafio de uma mobilidade sustentável e, para isso, a previsão do estado do tráfego tem um papel chave na mitigação do congestionamento provocado em áreas urbanas (Vázquez et al., 2020).

Em tempos de crescente mobilidade, as cidades contemporâneas enfrentam problemas cada vez maiores ao tentar manter o fluxo de tráfego regularizado e estável. O congestionamento aumenta a probabilidade de colisões no tráfego, sendo o principal responsável pelo aumento dos níveis de ruído, consumo de combustível e emissão de substâncias nocivas ao meio ambiente. Para além do mencionado, a prevalência de automóveis em áreas de congestionamento traduz-se numa menor eficiência na utilização do espaço urbano (Sierpiński & Staniek, 2017).

De seguida é documentado o suporte teórico necessário para a elaboração do trabalho.

### 2.2. Sistemas de Apoio à Decisão

Os SAD podem ser definidos como sistemas de informação baseados em computador, projetados de maneira a ajudar os utilizadores a selecionar uma das muitas soluções alternativas para um problema. Ajuda as empresas a aumentar a sua participação no mercado, a reduzir custos, aumentar o lucro e melhorar a sua qualidade. A natureza do problema em si, desempenha o papel principal num processo de tomada de decisão. Um SAD é um sistema, baseado em computador, interativo, com uma coleção organizada de modelos, pessoas, procedimentos, *software*, base de dados, telecomunicações e dispositivos que ajudam as pessoas que tomam uma decisão a resolver problemas de negócio não estruturados ou semiestruturados (Tripathi, 2011).

Existem três focos de interesse muito diferenciados: A “decisão” que se encontra relacionada com os aspetos funcionais e analíticos não técnicos, para além dos critérios de seleção de aplicações. O “apoio” concentra-se na implementação e

tentativa de compreender como os agentes, na vida real, operam e como se pode ajudá-los. O “sistema” enfatiza, diretamente, as habilidades de desenvolvimento e *design*, a nível tecnológico (Morvan et al., 2004).

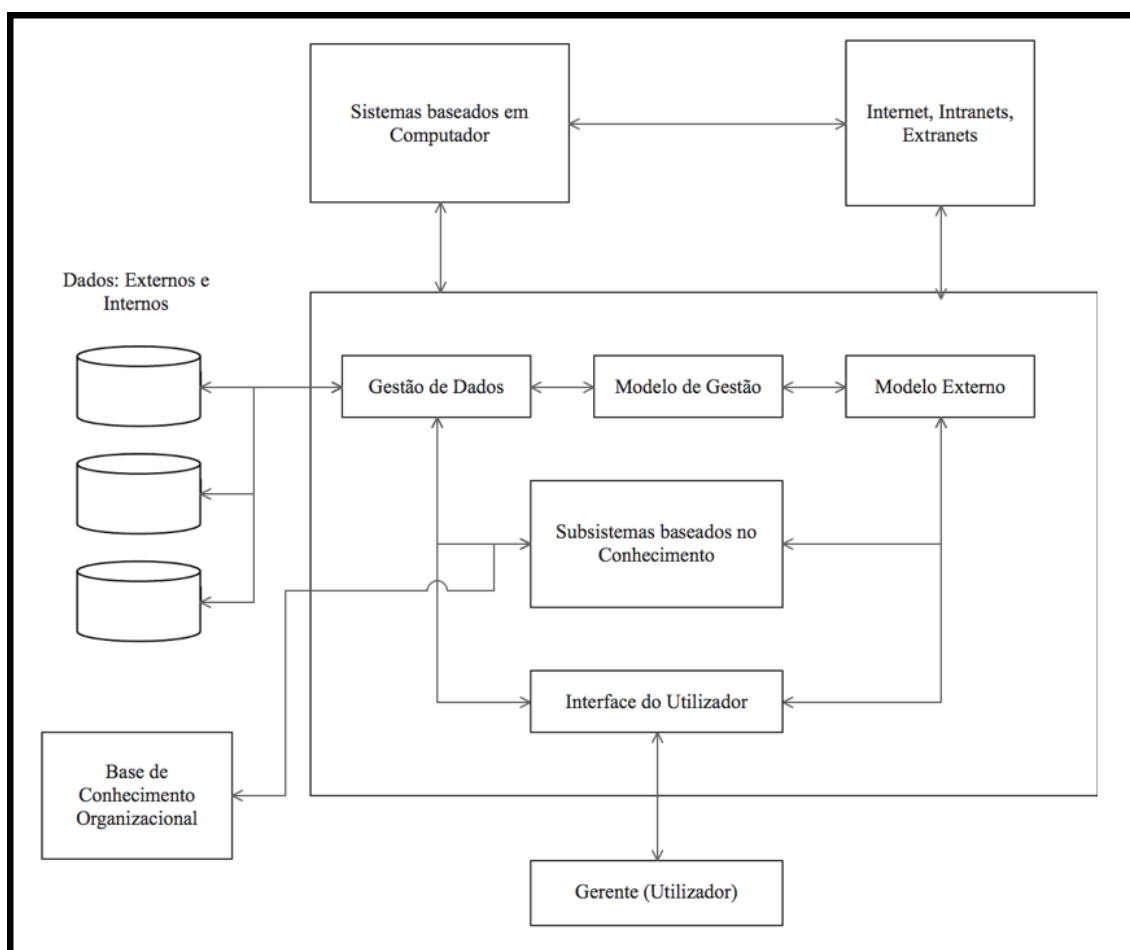


Figura 1 Vista esquemática de um sistema apoio à decisão (Tripathi, 2011).

Na figura 1 encontram-se representados os vários subsistemas existentes num SAD.

De destacar pela sua relevância (Tripathi, 2011):

- **Gestão de Dados:** É o subsistema de controlo de informação que contém dados relevantes para a situação em estudo;
- **Modelo de Gestão:** A base do modelo fornece acesso às pessoas que tomam a decisão uma variedade de modelos e assiste-os na tomada dessa decisão;
- **Subsistemas baseados no Conhecimento:** Este subsistema pode dar suporte a qualquer um dos outros subsistemas ou atuar como um componente independente. Este fornece inteligência para aumentar a capacidade do próprio tomador de decisões;
- **Interface do Utilizador:** Permite aos utilizador interagir com o SAD para obter as informações pretendidas. A interface do utilizador requer duas capacidades: a linguagem da ação que informa ao sistema o que é necessário e, de seguida, a

passagem desses dados de volta ao mesmo e a linguagem de apresentação que transfere e apresenta os resultados dos utilizadores.

Se a decisão for feita pelo sistema sozinho e sem a interação de um tomador de decisão, o sistema não é considerado um de apoio à decisão. Terá de ser considerada outra coisa, talvez um sistema especializado ou um sistema de processamento de informações (Pick & Weatherholt, 2012).

Um problema ocorre quando um sistema não cumpre as suas metas estabelecidas ou não funciona conforme o planeado. A tentativa de encontrar soluções pode também identificar novas oportunidades. A resolução de problemas é a mais crítica atividade que uma organização realiza. Esta resolução começa com a tomada de decisões (Tripathi, 2011). Os sistemas de apoio à decisão têm o potencial de melhorar a tomada de decisão, orientando o utilizador através de passos claros e baseados em evidências para assim definir-se uma decisão final (Rose et al., 2018).

A análise de uma decisão, quando aplicada, inclui rotinas de otimização para fornecer as melhores soluções contra os objetivos especificados. O suporte à decisão não fornece necessariamente a otimização para as melhores soluções, mas pode fornecer meios para organizar, exibir e manipular as informações usadas na tomada de decisão (Diez & McIntosh, 2011).

Analisando a figura 2 (Tripathi, 2011), consegue-se perceber que existem várias fases durante o uso de um SAD, todas estas efetuadas com tomadas de decisão na tentativa de resolução do problema.

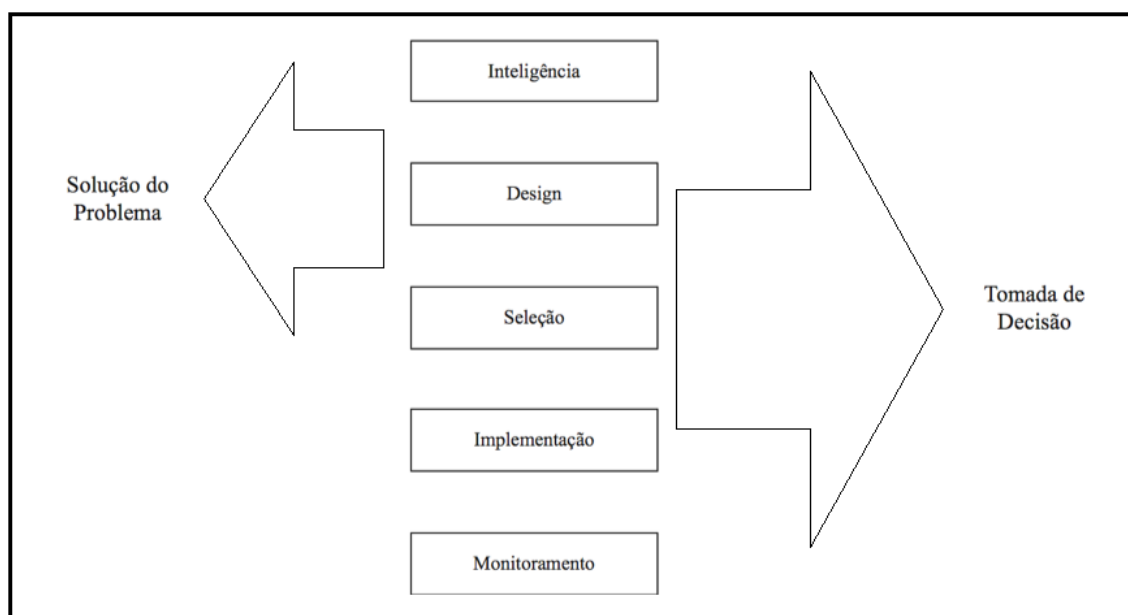


Figura 2 Processo de tomada de decisão e de resolução de problemas (Tripathi, 2011).

- **Inteligência:** Potenciais problemas e/ou oportunidades são identificado(a)s e definido(a)s;
- **Design:** Soluções alternativas ao problema são desenvolvidas;
- **Seleção:** É definido um curso de ação;
- **Implementação:** A ação é realizada com vista a obter a solução;
- **Monitoramento:** A implementação da solução é avaliada para determinar se os resultados esperados foram atingidos e modificar o processo se necessário.

Um SAD é uma poderosa ferramenta de integração e devido à sua variedade de opções consegue abranger uma ampla gama de aspetos: desde científicos, ao conhecimento das partes interessadas ou não-profissionais da área, ecológico ou socioeconómico. Os sistemas de apoio à decisão também podem apoiar a integração de conhecimento devido à sua capacidade de processar grandes quantidades de informação e apresentar tópicos em formato inteligente e também sobre o formato de gráficos (Janßen et al., 2019).

Os sistemas de apoio à decisão, geralmente baseadas em *softwares*, podem ser uma parte importante na busca por uma tomada de decisão baseada em evidências (Rose et al., 2016). Esta área melhorou significativamente e tornou-se mais complexa devido aos avanços recentes no ramo da inteligência artificial (Waa et al., 2020). Os sistemas são projetados para ajudar os utilizadores a tomar decisões mais eficazes, conduzindo-os por passos de decisão claros e apresentando-os a probabilidade de várias opções finais resultantes de diferentes opções de escolha (Dicks et al., 2014). Estes podem ser considerados ferramentas de *software* dinâmicas, cujas recomendações variam de acordo com o *input* do utilizador e que poderão sugerir um caminho de decisão ideal (Rossi et al., 2014).

### 2.3. Tráfego Automóvel numa Cidade

O congestionamento do tráfego espalha-se para além dos principais centros das cidades para, por exemplo, estradas nacionais que depois conectam-se a vários locais de interesse. Muitas dessas estradas passam por zonas cujos habitantes têm de suportar as consequências negativas do tráfego: aumento de atrasos e níveis de poluição, diminuindo também a segurança dos peões. Por isto, é necessário encontrar um equilíbrio entre os requisitos dos utilizadores das estradas a fim de reduzir o tempo de trânsito dos veículos e aumentar, conseqüentemente, a segurança dos pedestres. O estudo do tráfego automóvel é um problema por si só complexo e, portanto, adequado para simulação por computador (Rosca et al., 2020). A identificação e análise de padrões espaciotemporais do fluxo em redes urbanas constituem um processo crucial para um bom gerenciamento e controlo do tráfego (Ma et al., 2019). A pesquisa sobre as relações existentes entre a velocidade do veículo, os elementos da estrada, o clima e o volume de tráfego relativamente às colisões existentes numa estrada beneficiará em grande escala tudo o que está relacionado com a segurança no trânsito em geral. Se essas associações forem bem compreendidas e caracterizadas, as técnicas e contramedidas para a redução da frequência de colisões e ferimentos podem ser melhoradas potencialmente, assim como a oportunidade de novas metodologias de abordagem e antecipação de acidentes poderem surgir naturalmente (Das & White, 2020).

Quando se procura melhorar o tráfego, um modelo válido para trabalhar é necessário (Krajzewicz, 2010). Este tipo de ferramentas podem levar os utilizadores a etapas mais claras e sugerir caminhos de decisão ideais ou até atuar como fonte de informações para melhorar a base de evidências das decisões (Rose et al., 2016).

O tráfego, em geral, pode ser visto como pessoas e mercadorias a deslocarem-se de um lugar para outro (Barthauer & Hafner, 2018).

Um aspeto importante em cidades tecnologicamente evoluídas é a gestão inteligente do tráfego. Inicialmente é importante dar a conhecer um pouco sobre o sistema de circulação rodoviário e outros aspetos que devem ser levados em conta para o caso em estudo. Este é constituído por quatro elementos:

- Homem: Sendo o condutor do veículo, pode-se considerar como o elemento principal para garantir a segurança no sistema rodoviário;
- Veículo: Este pode ser motorizado ou não e o homem terá de adaptar as suas características de condução de acordo com o veículo em questão. É o elo de ligação entre o condutor e a via de circulação;
- Via: É o elo fixo do sistema que permite a circulação dos veículos. As suas características variam quanto ao tipo de piso, o seu declive, geometria da via, sinalização, entre outros aspetos;
- Meio Ambiente: Interfere diretamente com o comportamento do condutor. Dependendo das condições ambientais este pode ser afetado em termos de visibilidade (nevoeiro, sol, chuva), estabilidade do veículo (vento forte ou fraco) assim como a aderência deste ao pavimento (piso seco, molhado, gelo).

O sistema rodoviário tem como principais objetivos garantir a segurança, comodidade, proteção em termos ambientais, a fluidez do trânsito assim como a economia da região.

No caso de estudo presente neste trabalho existem três pontos que devem ser referenciados no que toca à área selecionada de estudo:

- Semáforos:

O *design* da estrada assim como a configuração dos semáforos têm um importante papel na segurança e transporte no que toca ao tráfego urbano. Quando as sinalizações encontram-se ausentes, inadequadas ou em más condições, o risco de acidentes aumenta consideravelmente (He et al., 2019). Em muitos casos, os semáforos (figura 3 (Osigbemeh et al., 2017)) reduzem a flexibilidade do fluxo de tráfego (Małeckí & Iwan, 2019). Configurações ideais de semáforos, assim como os seus ciclos de tempo, são tarefas importantes para uma boa organização do tráfego moderno em cidades desenvolvidas (Małeckí, 2016).

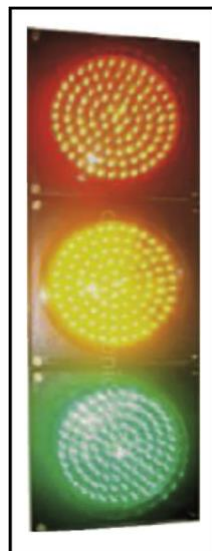


Figura 3 Exemplo de um semáforo comum (Osigbemeh et al., 2017).

- Sinalizações Rodoviárias:

No mundo atual, sinalizações rodoviárias (figura 4 (Boulmakoul et al., 2020)) são um atributo obrigatório na organização do tráfego. Estas informam os condutores sobre locais perigosos da estrada, indicam a direção do tráfego, proíbem ou cedem o direito de passagem, obrigam a reduzir a velocidade assim como muitas outras tarefas úteis para uma rede bem estruturada (Kryvinska et al., 2018). O uso inadequado de sinais de trânsito, bem como o excesso de proibições nas estradas, podem levar a infrações e hábitos de condução inseguros e, por consequência, afetar a eficácia da sinalização em relação aos riscos potenciais existentes na estrada. Por outro lado, o limite de velocidade deve, acima de tudo, ajudar na percepção do condutor, facilitando assim a correta interpretação e avaliação do *layout* e das condições da estrada, de forma a limitar eventos adversos relacionados com a condução (Bellini et al., 2020). É importante perceber, registrar, entender e obedecer a todos os sinais de trânsito relevantes pelos quais os condutores passam, mas talvez seja de importância semelhante registrar o ambiente rural, humano ou até socioeconómico da estrada, entender os seus perigos implícitos e regras para então ter um comportamento e condução de acordo com estes (Fazekas et al., 2017). Os acidentes de viação são um dos maiores problemas nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento. Portanto a segurança no trânsito tem sido reconhecida como o principal objetivo estratégico em muitas sociedades. O comportamento adequado na estrada deve ser iniciado por meio de sinais de trânsito, medidas e planos preventivos (Waligórski & Kucal, 2019).



Figura 4 Exemplos de sinais rodoviários (Boulmakoul et al., 2020).

- Intersecção:

Qualquer cruzamento ou até uma secção de estrada reta pode ser vista como um sistema dinâmico, pois evolui e varia com o tempo (nível de congestionamento diferente ao longo do dia, clima, etc.) (Małeckki, 2016). Quase todas as interseções (figura 5 (Pop, 2018)) estão organizadas com base em semáforos que controlam o fluxo tanto de veículos como de peões. Esta é uma ótima e prática solução já que o tráfego rodoviário varia muito ao longo do tempo (Małeckki & Iwan, 2019). Em muitas

intersecções, os condutores que mudam de direção têm de ceder prioridade aos peões e ciclistas que se encontram a atravessar na direção do seu destino (Barthauer & Friedrich, 2020).

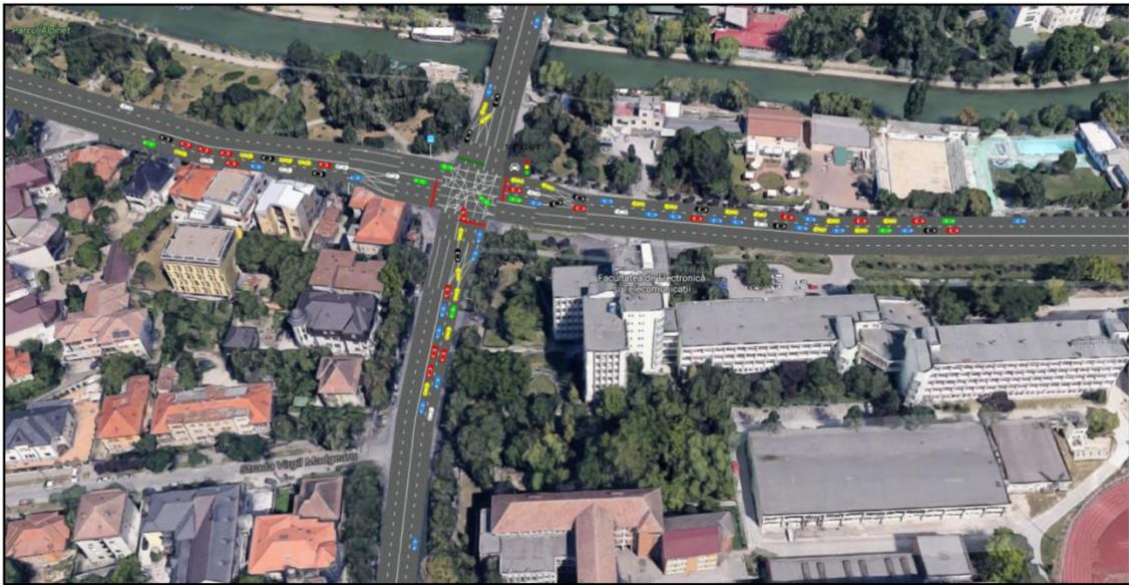


Figura 5 Exemplo de uma intersecção (Pop, 2018).

#### 2.4. Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão do Tráfego Automóvel

Como não existe um modelo exato de fluxo de tráfego devido à sua enorme complexidade e organização caótica, investigadores procuram essencialmente prever o tráfego recorrendo a simulações. Neste campo existem uma variedade de opções disponíveis e estas diferem tanto no paradigma da arquitetura do *software*, como nos modelos que descrevem o próprio tráfego (Krajzewicz, 2010). A escolha feita para este trabalho foi o programa Anylogic: Este é um ambiente de programação e simulação que visa principalmente modelos de sistemas híbridos, com base em programação JAVA (Emrich et al., 2007). Sistemas híbridos podem ser definidos como sistemas que possuem propriedades mistas de sistemas de tempo contínuo, de tempo discreto e de eventos discretos (Cellier et al., 1993). O programa permite ao utilizador combinar diferentes técnicas e abordagens, como equações diferenciais, eventos discretos e sistemas baseados em agentes. Devido a estas combinações, este é uma ferramenta muito interessante para a simulação de sistemas complexos. Uma grande vantagem do Anylogic é a possibilidade de usar código JAVA em qualquer lugar do programa, fazendo expandir ou adotar o modelo para as necessidades do programador (Emrich et al., 2007).

A simulação tem como principais vantagens: a possibilidade de testar novas hipóteses explicativas do como e do porquê de um dado fenómeno ter ocorrido no sistema; uma melhor compreensão e identificação de quais as variáveis que influenciam a sua performance, atuando como suporte numa tomada de decisão; permite a investigação de um sistema que abrange um amplo período de tempo num período mais compacto; permite que os utilizadores testem o comportamento do sistema quando confrontados com situações novas e inesperadas (Ferreira et al.,

2008)(Ferreira et al., 2011B)(Ferreira et al., 2011C)(Ferreira et al., 2012)(Ferreira et al., 2013).

Na tabela 1 são apresentadas as principais pesquisas de literatura feitas na área de tráfego automóvel.

Tabela 1 Referências bibliográficas na área de simulação de tráfego automóvel.

Referência Bibliográfica	Descrição do Trabalho
(Kotagi et al., 2019)	O trabalho teve como objetivo analisar o posicionamento e movimento de veículos, em faixas laterais, nas ruas não divididas e com dois sentidos de uma área da cidade de Bangalore, Índia. Após análise, concluiu-se que a maioria dos veículos prefere utilizar o interior da faixa de rodagem (70,9%) e a probabilidade de existir troca de faixa aumenta com a diminuição do tamanho dos veículos à frente.
(Irena Otkovića, Aleksandra Deluka-Tibljašb, 2020)	O objetivo deste trabalho passou por obter um modelo de micro simulação devidamente calibrado e validado para que, em futuras etapas, seja permitido a análise de diferentes cenários para a área analisada – Osijek, Croácia. Como conclusão, o processo de calibração mostrou-se válido e bem-sucedido, podendo ser aplicado não só na cidade em estudo, mas também em outras redes rodoviárias urbanas.
(Long et al., 2011)	Neste trabalho, o foco passa pelo estudo do crescimento de tráfego num sistema de rede com dois sentidos, analisando as suas características de propagação durante o engarrafamento. Utilizando o CTM ( <i>Cell Transmission Model</i> ), simula-se a formação e simulação do caso mencionado. Concluiu-se então que, a posição do incidente na rede, quanto mais longe for de uma intersecção, menos atrasos gerará no congestionamento. Outro facto ainda relacionado com o mesmo tema é que quanto mais curtas forem essas estradas de ligação mais tráfego se gerará. Devido a isso, é considerado de evitar construir estradas do género em sítios propícios a fenómenos de engarrafamento.
(Bazghandi, 2012)	Com este trabalho procurou-se focar na aproximação do ABM ( <i>Agent Based Model</i> ) relativamente à simulação de tráfego e investigar os seus benefícios, dificuldades e técnicas (a nível macroscópico e microscópico). Uma das dificuldades encontradas foi que com um grande número de agentes a serem considerados, as velocidades das ferramentas tendem a ficar mais lentas e limitadas pois não são programadas para simulações extensas. Por último, um problema que é, de certo modo, geral a todos as técnicas de modelagem, no que toca a simulação de tráfego: um modelo tem de servir um dado objetivo específico e não um generalizado. Este tem de ser construído com um certo nível de descrição e com uma certa quantidade de detalhe para conseguir atingir o seu propósito.
(Nakajima et al., 2012)	Este estudo teve como objetivo desenhar uma plataforma de simulação multiagente baseada num multimodelo da cidade de Tóquio (zona centro – selecionadas 4 ruas chaves: Oike, Shijo, Gojo e Rokujo). De seguida implementar uma simulação de tráfego urbano baseada na arquitetura proposta e, no final, avaliar a performance da plataforma. Conseguiu-se depreender que com o aumento ou diminuição do número de agentes naquela área a escolha da rua a utilizar varia também. Com um número de agentes igual a 12000, Shijo é, em percentagem, a mais usada (aproximadamente 50%), enquanto que com 2000 agentes verifica-se uma maior utilização de Rokujo (aproximadamente 55%).
	As medidas de segurança e de desempenho no tráfego, como o risco de colisão, duração da fila ou até tempo de viagem, são influenciados por vários fatores, entre eles os relacionados com o ambiente, humanos e <i>design</i> das

(Ulak et al., 2019)	<p>estradas (com particular foco nos cruzamentos). Neste trabalho, investigou-se a questão da idade e da experiência do condutor aplicado a um caso de estudo num cruzamento em T na cidade de Tallahassee, Flórida.</p> <p>Os resultados obtidos conseguem demonstrar que diferentes composições de idades de condutores, desde mais novos a mais velhos, influenciam o comprimento da fila, os tempos de viagem e os atrasos. Concluiu-se assim que os tempos de viagem parecem ser mais afetados do que os comprimentos de fila. Era de esperar, no entanto, que a variação mais significativa fosse nos comprimentos, devido ao aumento do número de condutores mais velhos no fluxo de tráfego considerado.</p>
(Grether et al., 2012)	<p>Este trabalho teve como objetivo uma simulação entre dois tipos de agentes dentro de um sistema de transporte: passageiros e sinais de trânsito. Para a simulação desta interação feita na cidade de Brandeburgo, Alemanha, é necessário um modelo de tráfego computacionalmente eficiente e dessa forma é demonstrado como modelos de filas de trânsito podem ser usados tanto como modelos de fluxo de tráfego como para o retorno de informação relativa a interseções sinalizadas. Após análise, conclui-se que o modelo captura o fluxo com uma precisão consistente com a teoria. O modelo é testado num cenário real e os resultados mostram que este pode ser usado para testar estratégias de controlo de sinais adaptativos ou para sinais acionados pelo trânsito em tempos computacionais viáveis.</p>
(Johora & Müller, 2020)	<p>Neste trabalho investiga-se dois tipos de topologia de espaços compartilhados no tráfego urbano: zonas de intersecção e zonas de estradas. Foram utilizados dados reais para se investigar como os utilizadores das estradas se comportam de maneiras diferentes em diferentes zonas, na cidade de Graz, Áustria. O modelo proposto facilita o reconhecimento e a classificação de diferentes tipos de interações entre os utilizadores usando como base a topologia ambiental, complexidade da interação, número e heterogeneidade dos utilizadores. Os primeiros resultados obtidos sustentam que o modelo tem um bom potencial para modelar esse tipo de interações.</p>
(Abdelwahab, 2017)	<p>O objetivo deste trabalho prendeu-se com o desenvolvimento de um modelo microscópico de simulação de tráfego relativamente ao seu <i>design</i>, à avaliação e à análise operacional de portagens na cidade do Cairo, Egipto.</p> <p>A capacidade reduzida das faixas de rodagem associadas à cobrança manual das portagens tem um impacto adverso no atraso do tráfego. Relativamente ao volume de tráfego, existindo 2000 veículos por hora e, se, mais de 50% desses veículos utilizarem o método pagamento monetário será necessário entre 6 a 10 faixas com portagens. Já com 4000 veículos por hora, o número de portagens sobe para valores entre 14 a 18. Isto demonstra que a cobrança manual nas portagens é ineficiente, o que pode facilmente causar o atraso excessivo no tráfego da estrada.</p>
(Metkari et al., 2013)	<p>Para este trabalho, um modelo de simulação foi desenvolvido, num programa de <i>software</i>, para estudar o desempenho de um modelo alterado com base numa replicação das condições do tráfego indiano – heterogeneidade de veículos e desconsideração parcial da regra de permanecer na respetiva faixa de rodagem. Os resultados são validados com dados de campo com base numa estrada em Deli, Índia. O modelo mostrou-se capaz de simular satisfatoriamente as condições em tempo real. A análise é realizada com base nas características do tráfego, distribuição dos veículos ao longo das faixas de rodagem e a sua velocidade perante o cenário existente. O modelo, após exaustiva validação, provou-se útil para futuras aplicações.</p>
	<p>Devido às metas alemãs de proteção climática no setor do transporte, uma parte considerável de condutores precisa de começar a adotar a ideia da utilização de carros elétricos no dia-a-dia. Como consequência, foi efetuado um estudo, na cidade de Berlim, onde se propôs a combinação de uma</p>

(Jahn et al., 2020)	simulação de tráfego multiagente (MATSim) com a distribuição de veículos no mundo real e o seu comportamento no que toca aos carregamentos necessários para a utilização deste. Três estratégias de carregamento foram desenvolvidas e analisadas: Carregamento em casa, no trabalho e durante atividades de lazer. O carregamento em casa é aceitável para servir as necessidades de carregamento dos agentes com baixa potência de carregamento (7,4 kW). Já no trabalho, apenas serve 56,23% dos agentes com uma potência de carregamento igual a 11 kW. Por último, durante as atividades de lazer, serve entre 46,36% e 81,92% dos agentes.
(Ben-Dor et al., 2018)	Neste trabalho foi feito o estudo do potencial que uma faixa de rodagem dedicada a transportes públicos tem em melhorar, ou não, o tempo gasto em viagens e o congestionamento urbano. É apresentado um modelo de simulação, baseado na cidade de Sioux Falls, onde é comparado o efeito de adicionar uma faixa de rodagem completamente nova, ou então converter uma já existente. Os resultados demonstraram que a adição de uma nova faixa de rodagem designada aos transportes públicos melhora mais a sua eficácia e objetivo: basicamente torna possível que as suas características se mantenham semelhantes tanto em horas de pico como em situações contrárias, tornando assim o seu efeito muito mais forte. Para além do referido, importa salientar que esta diferença se verifica mais em cidades com um grande número de habitantes, onde se observa um aumento de 20% no uso destes transportes quando as condições mencionadas estão em prática.

Os trabalhos escritos na tabela 1 permitiram perceber que a simulação do tráfego automóvel constitui uma importante ferramenta de apoio à decisão.

Atualmente a simulação de tráfego urbano tem recebido grande atenção. Por um lado, a gestão do tráfego em ambientes urbanos é crucial na política de transporte e planeamento de rotas. Por outro lado, o comportamento coletivo de um grande número de veículos a interagirem mutuamente é bastante interessante do ponto de vista físico (Chopard et al., 1997).

Simulações de condução providenciam ambientes de teste seguros para se compreender a reação de condutores humanos no tráfego. Simulações de tráfego focam-se, tradicionalmente, na dedução de medidas de eficiência a nível de infraestruturas. Ambos os tipos de simulação são responsáveis por aspetos semelhantes, mas diferem a nível de escala e detalhe. Visam diferentes domínios de pesquisa, em áreas como a psicologia, engenharia automóvel ou de tráfego. Os estudos de tráfego atuais tendem a simplificar, consideravelmente, os sistemas de assistência de condução. À medida que estes se desenvolvem, a colaboração interdisciplinar pode ajudar a quantificar o seu impacto no sistema de tráfego (Barthauer & Hafner, 2018).



# 3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA MELHORIA DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL

3.1. Descrição do Sistema Real

3.2. Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido

3.3. Animação

3.4. Modelo Lógico

3.5. *Outputs* do Sistema de Apoio à Decisão



### 3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA MELHORIA DO TRÁFEGO AUTOMÓVEL

A análise e modelagem de tráfego urbano é uma tarefa desafiadora devido à complexidade da sua situação e à sua natureza estocástica (Mafecki & Iwan, 2019). Com este capítulo pretende-se dar a conhecer o conteúdo prático do trabalho: uma apresentação do sistema real utilizado como base à construção do modelo, as animações 2D/3D produzidas pelo programa de simulação, o modelo lógico criado para a interligação de processos e funções de cada agente e, por fim, um conjunto de *outputs* gerados a partir do correr da simulação.

#### 3.1. Descrição do Sistema Real

O aumento de tráfego é um dos problemas dos dias de hoje. Numerosas cidades são afetadas pelo congestionamento do tráfego e pelo aumento de emissões do uso de combustível. Estes têm um impacto negativo na economia, no meio ambiente e na qualidade de vida no geral. É necessário encontrar soluções inteligentes para o controlo do tráfego rodoviário. O interesse por sistemas de tráfego inteligentes surgiu no início do século XX (Pop, 2018).

No âmbito deste estudo procurou-se encontrar uma área da cidade do Porto propícia para o pretendido:

- Uma espécie de intersecção/cruzamento ou uma zona com mais de uma rua;
- Um espaço com movimento constante e com trânsito intenso em horas de ponta;
- Aliado a isto, existir nas imediações potenciais aspetos negativos relacionadas a outros fatores que provoquem o aglomerar constante de tráfego – proximidade com o Hospital S. João e com a principal zona universitária da cidade como exemplos;
- Possuir algum tipo de controlo de fluxo de tráfego – semáforos presentes no cruzamento.

A intersecção da Estrada da Circunvalação (Nacional 12) com a Rua Monte dos Burgos reúne os requisitos para o trabalho proposto.

No que respeita a melhorias e soluções, a hipótese de alterar a estrutura das vias existentes é pouco viável, dado isto é necessário existir uma intervenção em outro tipo de aspetos.

Na figura 6, encontram-se enumeradas as ruas pertencentes a esta fração da cidade do Porto e, na figura 7, uma representação real dessa área.

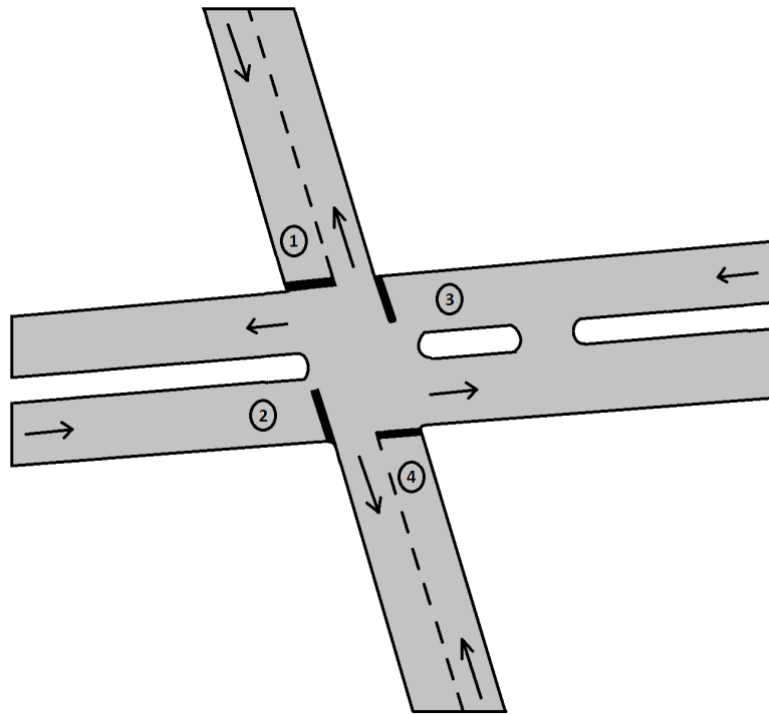


Figura 6 Representação animada da área de estudo com a respetiva numeração das ruas existentes (1 - Rua Nova do Seixo; 2 – Estrada da Circunvalação (Nacional 12); 3 – Estrada da Circunvalação (Nacional 12)); 4 – Rua Monte dos Burgos.

Ainda relativo à figura 6, de maneira a facilitar a distinção entre as duas direções opostas da Estrada da Circunvalação, definiu-se como:

- Estrada da Circunvalação *Top*: A rua numerada como 3;
- Estrada da Circunvalação *Down*: A rua numerada como 2.



Figura 7 Vista área da zona selecionada para a elaboração do trabalho (via Google Earth).

Posto isto, irá ser demonstrado uma série de fotografias do mundo real, onde será possível ter uma perceção da constituição de cada rua. Na figura 12, pode-se observar a interseção que une as quatro estradas da área de estudo.

### 3.1.1. Rua Nova do Seixo

A Rua Nova do Seixo (figura 8) tem como principais elementos:

- Um semáforo que afeta os veículos que pretendem entrar na zona de cruzamento e os peões que atravessam a rua;
- Duas faixas de rodagem com direções opostas, sendo que cada uma delas serve os veículos que pretendam circular para a Rua Nova do Seixo ou para a Rua do Monte dos Burgos, Estrada da Circunvalação *Down* e *Top*;
- O sinal *STOP*, que entra em vigor para os presentes na via, no caso de mau funcionamento ou desativação dos semáforos presentes.



Figura 8 Rua Nova do Seixo.

### 3.1.2. Estrada da Circunvalação *Down* (Nacional 12)

A Estrada da Circunvalação *Down* (figura 9) possui:

- Três faixas de rodagem, todas com o mesmo sentido. A da esquerda é utilizada por veículos que querem entrar na Rua Nova do Seixo, a do meio, para os que pretendem continuar na mesma direção e, por fim, a da direita que oferece duas alternativas: virar à direita, no sentido da Rua do Monte dos Burgos, ou então continuar o percurso na mesma direção;
- Dois semáforos distintos para dar indicação aos veículos: um respeitante às duas faixas da direita e outro para os veículos que se encontram na faixa da esquerda;
- Um sinal *STOP* presente, respeitante à faixa da esquerda, para o caso de o semáforo encontrar-se desativo ou não operacional.



Figura 9 Estrada da Circunvalação *Down* (Nacional 12).

### 3.1.3. Rua Monte dos Burgos

A Rua Monte dos Burgos, presente na figura 10, por sua vez, tem como pontos de foco:

- Duas faixas de rodagem com sentidos opostos e, no limiar da intersecção do estudo, existe um semáforo tanto para peões, como para veículos;
- Na ausência ou mau funcionamento dos semáforos, o sinal *STOP* entra em vigor;
- Na área de cruzamento, simultaneamente, quando é permitida a entrada de veículos provenientes desta rua, é dada também permissão aos provenientes da Rua Nova do Seixo.



Figura 10 Rua do Monte dos Burgos.

### 3.1.4. Estrada da Circunvalação *Top* (Nacional 12)

Na Estrada da Circunvalação *Top* (figura 11) pode-se encontrar:

- Três faixas de rodagem, com o mesmo sentido - a da esquerda possibilita o acesso à Rua do Monte dos Burgos ou inversão de sentido de marcha, a do meio permite continuar no mesmo sentido e, por último, a faixa da direita oferece duas escolhas (virar à direita para a Rua Nova do Seixo ou continuar na mesma direção);
- Tal como na direção oposta, dois semáforos que controlam a circulação dos veículos: um que permite o acesso à Rua do Monte dos Burgos e o outro que condiciona a circulação dos veículos que pretendam virar para a direita ou continuar em frente;
- Tal como se pode observar, um sinal *STOP* entra em vigor no caso de os semáforos não estarem operacionais;
- A possibilidade de inversão de sentido de marcha, mencionado anteriormente, para os veículos que se encontram na faixa de rodagem da esquerda: estes podem executar essa manobra metros antes do cruzamento, na saída designada para o efeito.



Figura 11 Estrada da Circunvalação *Top* (Nacional 12).



Figura 12 Zona de interseção do estudo.

### 3.2. Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido

O objetivo do SAD passa por dar a possibilidade a qualquer utilizador comum de poder interagir com o modelo de tráfego, sem ter os conhecimentos prévios de como a ferramenta funciona. O sistema é disponibilizado numa interface gráfica antes da simulação ter início e é concebido em programação JAVA no programa de *software* utilizado neste estudo (Anylogic). Existem duas formas essenciais pelas quais o SAD se distingue de outros sistemas baseados em computador: em primeiro lugar, o foco na tomada de decisões e, em segundo, um modo de utilização interativo onde é necessário a intervenção tanto do sistema, como do tomador de decisão para o processo (Pick & Weatherholt, 2012).

Presente na figura 13, encontra-se um fluxograma com o propósito de demonstrar, sucintamente, as várias etapas tomadas quando o sistema é utilizado.

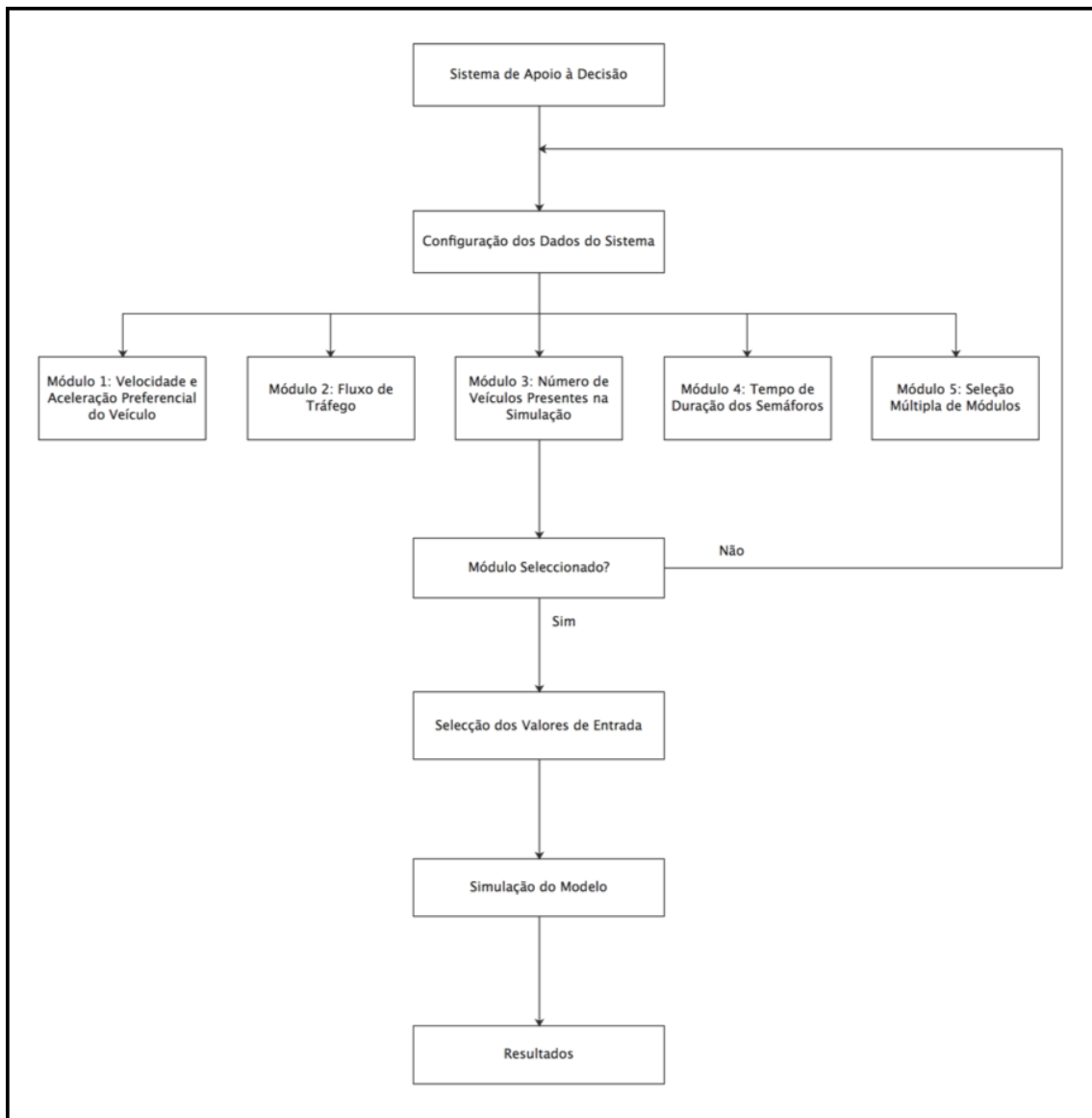


Figura 13 Fluxograma de funcionamento do sistema de apoio à decisão.

Inicialmente terá de ser dada ênfase à configuração dos dados do sistema: qual os módulos que deverão ser considerados e alterados, com a finalidade de obter diferentes resultados na simulação. De seguida, após a decisão tomada, introduz-se os valores pretendidos na interface. Por último, é dado início à simulação com a consequente obtenção de resultados.

Na figura 14, para uma melhor percepção, pode-se observar a interface onde a introdução dos valores do SAD é feita:

Decision Support System for Urban Traffic Analysis - Monte dos Burgos (OPorto City) Intersection

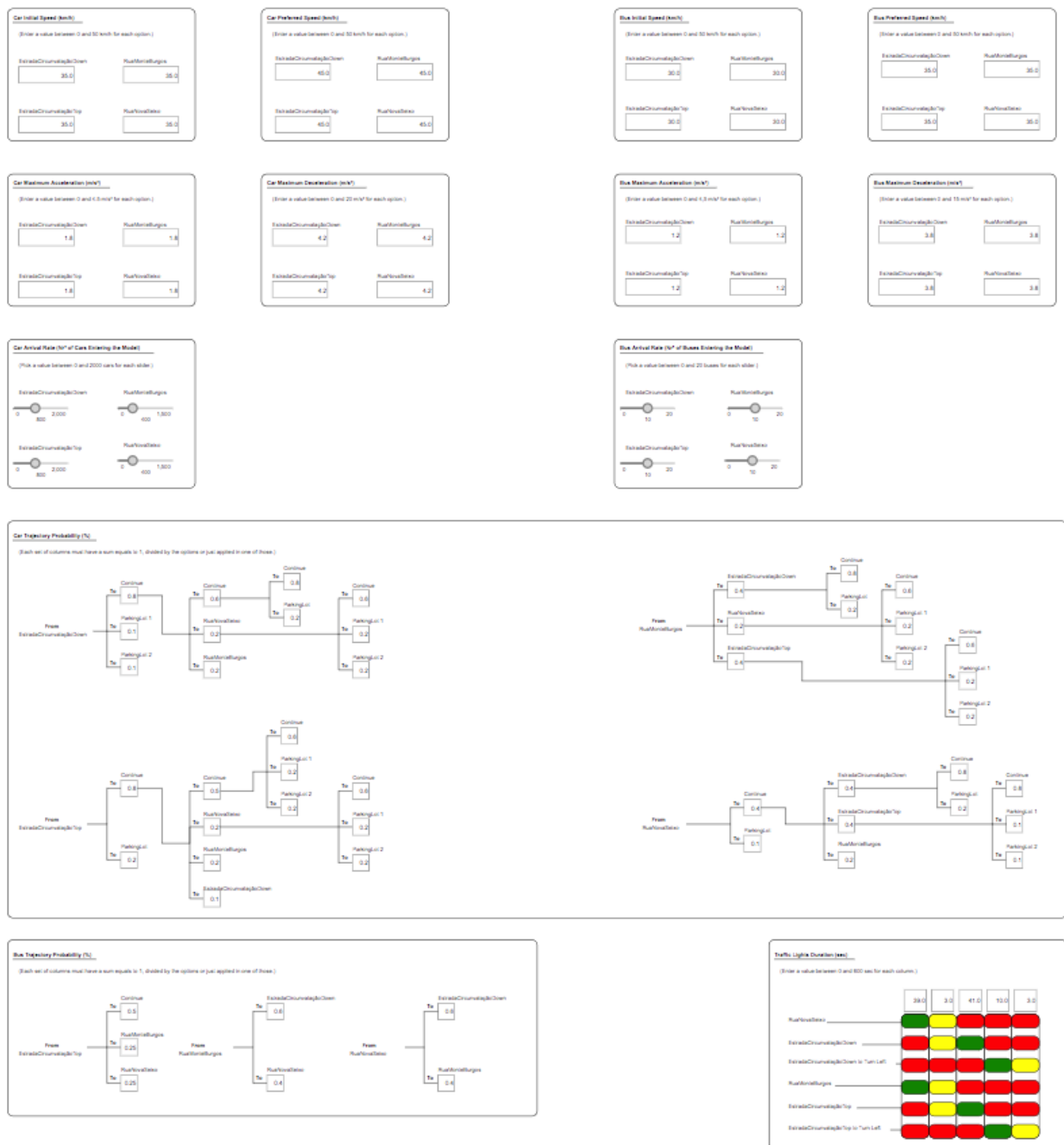


Figura 14 Interface gráfica do sistema de apoio à decisão.

Existe uma série de decisões a serem feitas nesta fase. De seguida, de forma a demonstrar mais pormenorizadamente o sistema, a interface é subdividida e mais detalhada nas figuras 15 a 22. Em cada leque de opções, devem ser introduzidos os valores por rua, sendo os valores pré-existente utilizados se o valor do campo não é editado.

### 3.2.1. Módulo 1: Parâmetros de Velocidade e Aceleração relativos aos Carros

Existem 4 tipos de valores a serem considerados nesta zona da interface (figura 15):

- Velocidade Inicial do Carro (km/h): O valor inicial da velocidade dos carros que entram na simulação;
- Velocidade Preferencial do Carro (km/h): A velocidade preferencial dos carros, no caso de não existir nenhum obstáculo na área de circulação do veículo;
- Aceleração Máxima do Carro ( $m/s^2$ ): Aceleração máxima do carro permitida;
- Desaceleração Máxima do Carro ( $m/s^2$ ): Desaceleração máxima que o carro pode exercer.

Parameter	EstradaCircunvalaçãoDown	RuaMonteBurgos	EstradaCircunvalaçãoTop	RuaNovaSeixo
Car Initial Speed (km/h)	35.0	35.0	35.0	35.0
Car Preferred Speed (km/h)	45.0	45.0	45.0	45.0
Car Maximum Acceleration ( $m/s^2$ )	1.8	1.8	1.8	1.8
Car Maximum Deceleration ( $m/s^2$ )	4.2	4.2	4.2	4.2

Figura 15 Parâmetros de velocidade e aceleração dos carros.

### 3.2.2. Módulo 1: Parâmetros Velocidade e Aceleração relativos aos Autocarros

Tal como acontece para o caso dos carros, os valores das velocidades e acelerações dos autocarros também terão de ser conhecidos e devidamente introduzidos. Para tal, a ideologia tomada relativamente à figura 15, deve ser cumprida igualmente para este caso, figura 16.

Figura 16 Parâmetros de velocidade e aceleração dos autocarros.

### 3.2.3. Módulo 2: Parâmetro do Fluxo de Tráfego relativo aos Carros

É o número máximo de carros que é permitido ao modelo utilizar: este número poderá ser atingido ou não, dependendo do tráfego existente e de outras variáveis do sistema (figura 17).

Figura 17 Parâmetro relativo ao número de carros que entram na simulação.

### 3.2.4. Módulo 2: Parâmetro do Fluxo de Tráfego relativo aos Autocarros

Este parâmetro tem o mesmo comportamento que o relativo à figura 17, no que toca ao fluxo de autocarros (figura 18).

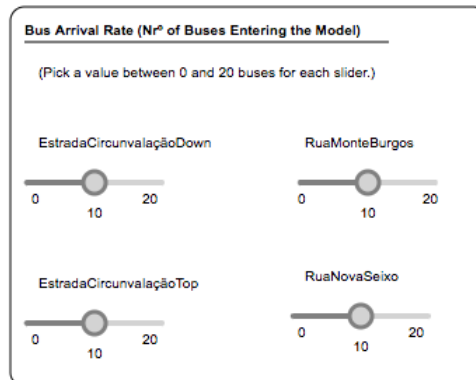


Figura 18 Parâmetro relativo ao número de autocarros que entram na simulação.

### 3.2.5. Módulo 3: Parâmetro da Probabilidade de Escolha de Rota relativo aos Carros

Aqui é definida a quantidade de carros, em percentagem, que irá optar por um caminho ou outros existentes, na área de tráfego da simulação. São apresentadas as quatro ruas, os seus diferentes rumos e todos os possíveis destinos dos carros desde o início até ao final do percurso. O facto de todos os conjuntos de colunas terem de perfazer um total igual a um, é um ponto importante a mencionar neste tópico. Se, por exemplo, o objetivo for bloquear a passagem do veículo para um dado destino, o valor da percentagem irá ser igual a zero nesse espaço e, conseqüentemente, o resto dos destinos terão de perfazer um total igual a um.

De forma a exemplificar o procedimento, uma das rotas existentes na figura 19 é detalhada e explicada. Essa rota encontra-se ilustrada na figura 20.

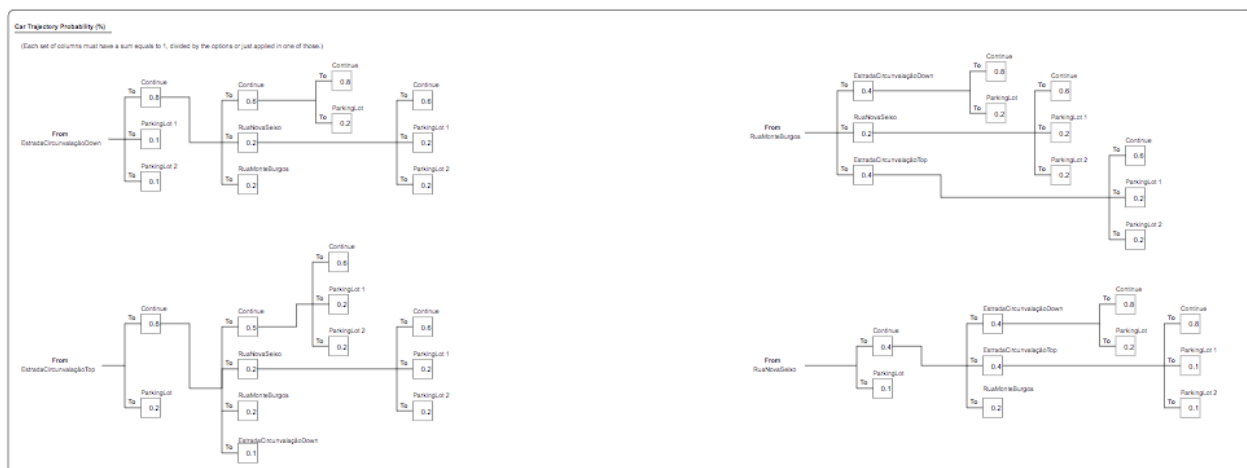


Figura 19 Parâmetro relativo à probabilidade de um carro optar por uma dada direção.

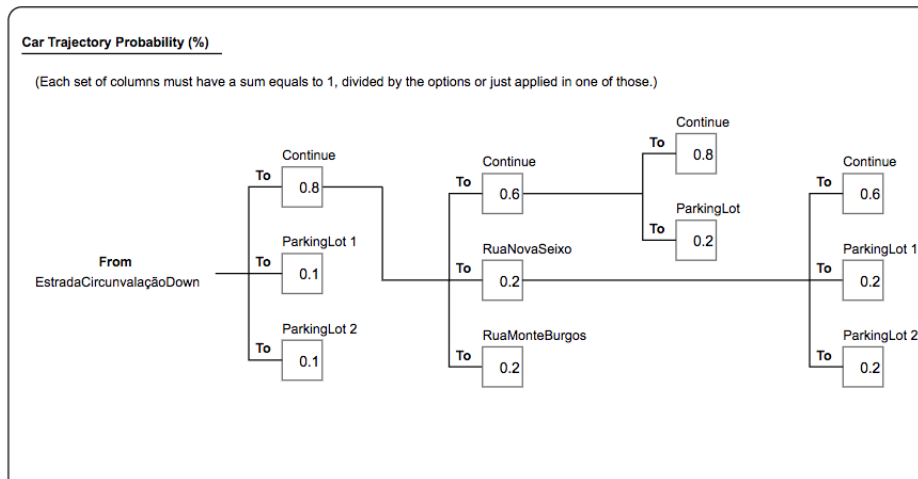


Figura 20 Exemplo da probabilidade de trajetória de um carro que tem como início de percurso a Estrada da Circunvalação Down (Nacional 12).

- O carro inicia o percurso na Estrada da Circunvalação Down (Nacional 12);
- De seguida tem a possibilidade de continuar em frente (*Continue*) ou poder estacionar em dois parques de estacionamento distintos (ParkingLot1; ParkingLot2). Caso a opção seja estacionar (ParkingLot1; ParkingLot2), o veículo permanece em repouso durante algum tempo e, depois, entra novamente em movimento a partir do ponto *Continue*;
- Ao encontrar outro momento de decisão, é necessário introduzir a probabilidade de o carro escolher continuar em frente na mesma rua (*Continue*) ou optar pelas outras duas opções (RuaNovaSeixo; RuaMonteBurgos);
- Ao escolher continuar em frente, existe a possibilidade de o carro estacionar (ParkingLot) e depois terminar o seu percurso ou de o finalizar diretamente sem exercer nenhum tipo de paragem (*Continue*);
- Se a seleção passar por entrar no percurso RuaMonteBurgos, o veículo não tem mais nenhuma atividade designada e termina assim o seu percurso;
- Por último, se o caminho escolhido pelo carro tiver sido o destino RuaNovaSeixo, este terá três opções: ou finaliza o seu percurso (*Continue*) ou estaciona em dois locais distintos para o efeito (ParkingLot1; ParkingLot2).

### 3.2.6. Módulo 3: Parâmetro da Probabilidade de Escolha de Rota relativo aos Autocarros

Na Probabilidade de trajetória dos autocarros (figura 21), as mesmas regras e lógica que se aplicam nos carros, são exercidas.

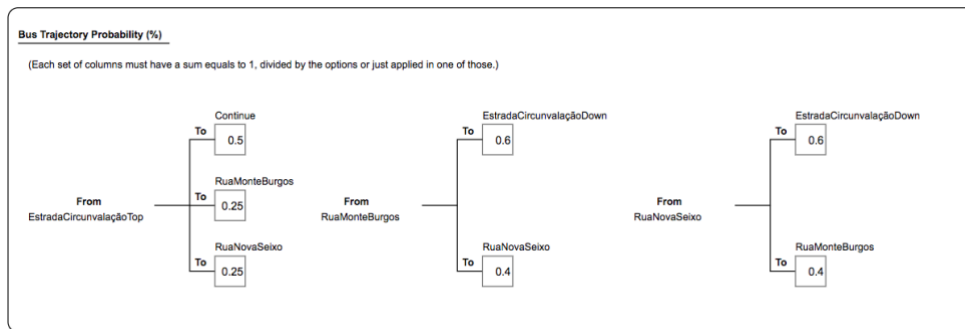


Figura 21 Probabilidades de trajetória de um autocarro ao longo dos seus diferentes destinos.

### 3.2.7. Módulo 4: Parâmetro do Tempo de Sinalização dos Semáforos

Na zona da interface apresentada na figura 22 são introduzidos os tempos, em segundos, dos diversos semáforos presentes na interseção. Existem ruas que possuem dois semáforos distintos para destinos diferentes (Estrada da Circunvalação *Down* (Nacional 12); Estrada da Circunvalação *Top* (Nacional 12)), daí a existência de cinco fases distintas e não três. Observando o caso onde o valor trinta e nove segundos foi introduzido: Nesta fase dos semáforos, que dura o tempo mencionado, o sinal irá estar verde para a opção RuaNovaSeixo e RuaMonteBurgos, enquanto a EstradaCircunvalaçãoDown; EstradaCircunvalaçãoDown to Turn Left; EstradaCircunvalaçãoTop; EstradaCircunvalaçãoTop to Turn Left terá o seu semáforo vermelho.

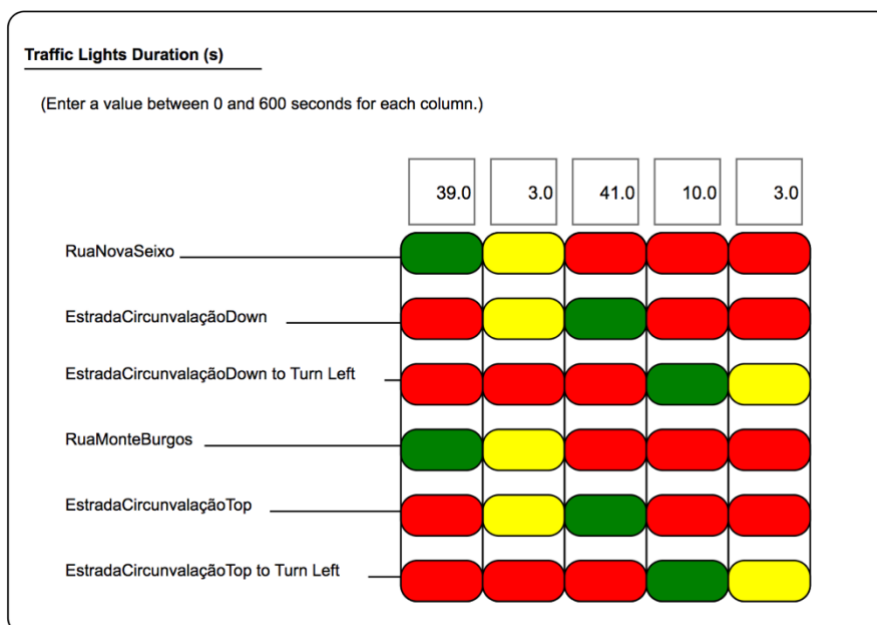


Figura 22 Parâmetro do tempo dos semáforos existentes na interseção de estudo.

- Executar: Após o finalizar de todo o processo mencionado anteriormente, este botão irá dar início à simulação (figura 23).



Figura 23 Botão Run que dá início à simulação do estudo.

### 3.3. Animação

A simulação pode ser usada diretamente para produzir uma animação visível, o que se torna muito útil tanto para o utilizador final como para o desenvolvimento do trabalho no programa (Davis & Marcus, 2016).

Foi com o objetivo de poder fazer a verificação e observação do desenvolvimento do modelo de tráfego urbano que se construiu dois tipos de animação distintos: 2D e 3D. Ambos foram criados a partir do programa Anylogic, usando para isso as ferramentas disponibilizadas por este.

- Animação 2D

A animação tenta representar, o melhor possível, o sistema no mundo real oferecendo uma visão e perspectiva ao utilizador comum.

No centro da interseção são apresentadas as respetivas cores dos semáforos presentes. Para além do referido, é possível observar todas as ruas que fazem parte da simulação, assim como uma representação dos seus parques de estacionamento, paragens de autocarro e uma recriação aproximada do ambiente nas redondezas da área de tráfego. Um botão de diferentes velocidades de simulação está igualmente presente na animação, com três opções distintas: x1; x10; *Fast* (valor máximo suportado pelo programa).

A partir da interface *Animation* (figura 24) é possível ter acesso à paleta *Logic* e à *Outputs*: Estas serão abordadas no futuro. Na figura 25 observa-se as possíveis rotas existentes na interseção de estudo.

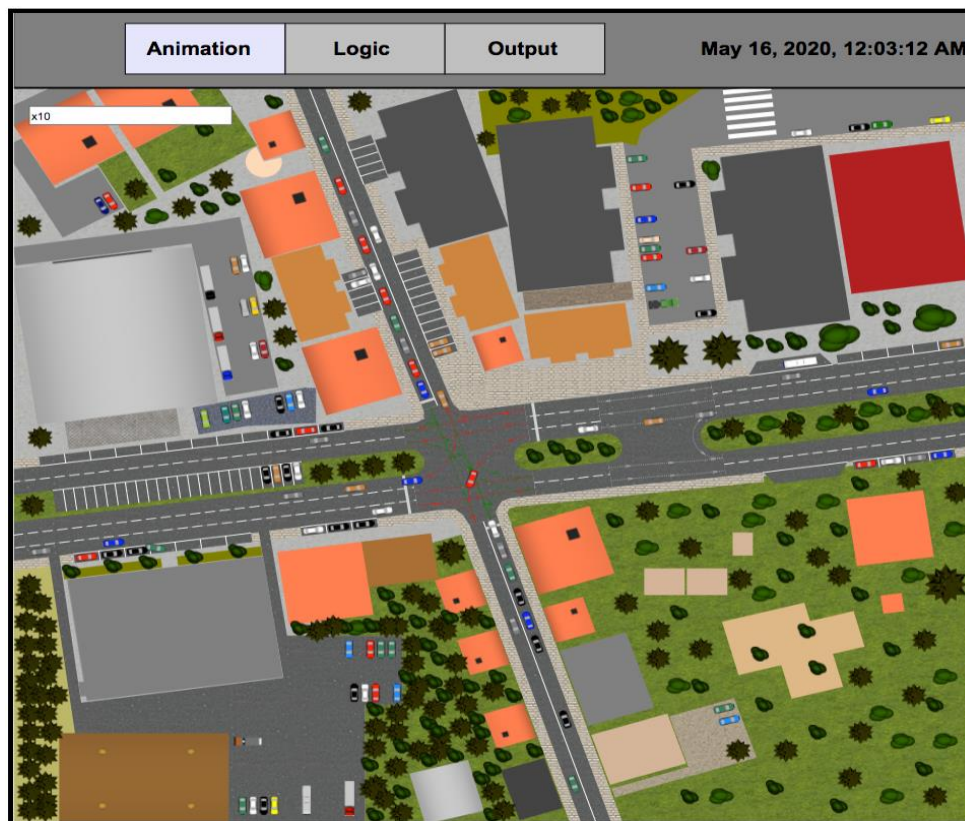


Figura 24 Animação 2D da simulação do modelo desenvolvido.

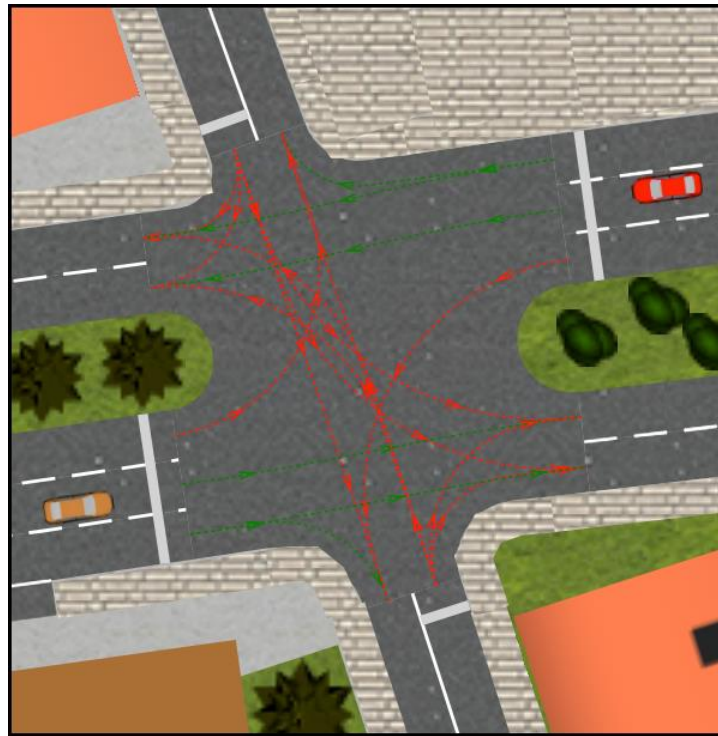


Figura 25 Possíveis rotas de saída de cada rua na interseção em estudo.

- Animação 3D

Para ter acesso à seleção do modelo 3D será necessário recorrer a um atalho, devido ao facto da interface não permitir a visualização direta através das paletes mencionadas anteriormente. Na figura 26 é identificado o botão que dará acesso ao painel pretendido.



Figura 26 Acesso ao modelo 3D, disponibilizado através do botão *Toggle Developer Panel*.

Após executar essa ação, é necessário selecionar a animação desejada. A figura 27 identifica esse processo (*view3D*). Para reverter o sucedido, a ideologia aplicada é a mesma, selecionando uma das três opções (*Animation*; *viewLogic*; *Output*).

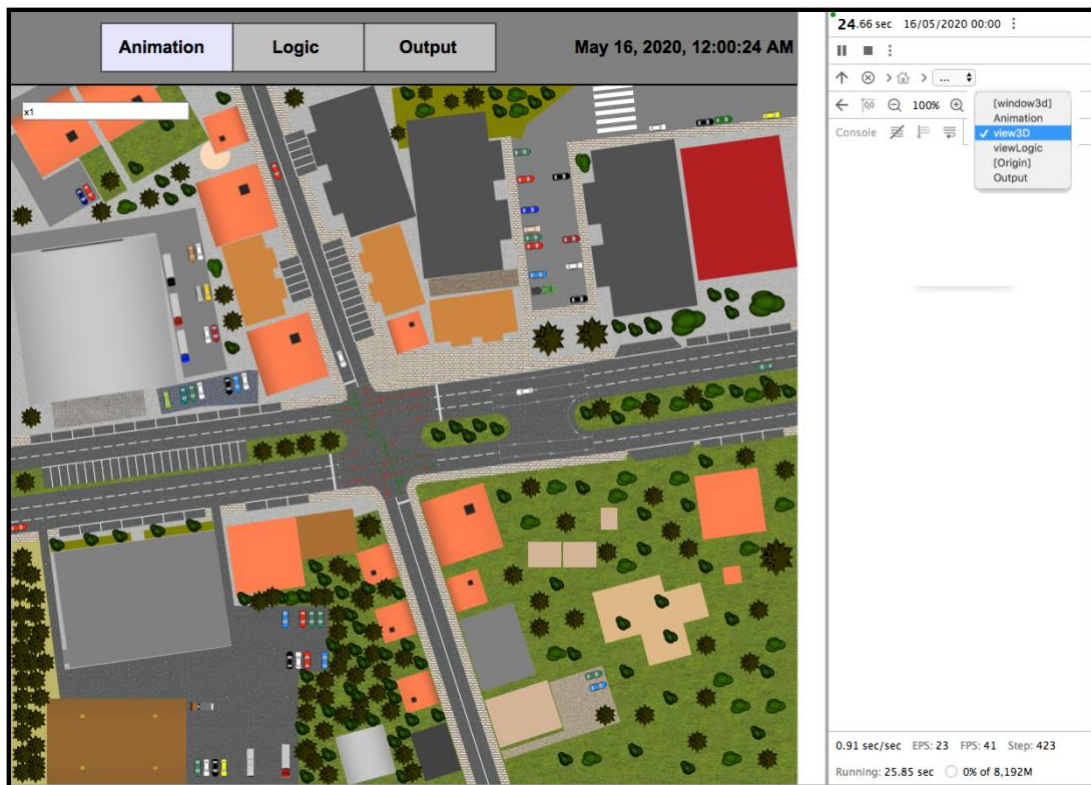


Figura 27 Opção view3D muda a interface da simulação para a animação 3D.

Após o procedimento estar concluído, aparecerá a animação 3D (figura 28) em funcionamento. Dará, por si só, uma maior clareza e realidade do ambiente urbano da zona de estudo.



Figura 28 Animação 3D da simulação do modelo desenvolvido.

### 3.4. Modelo Lógico

A construção do modelo lógico ofereceu o poder de decisão relativamente ao funcionamento de todo o tráfego, do sistema rodoviário em cada uma das ruas criadas, assim como dos semáforos e dos estacionamento. Todos os valores e parâmetros relativos ao comportamento dos agentes na simulação foram também definidos aqui. No final, quando este processo foi finalizado, permitiu aos veículos entrar na simulação, desenrolar o seu processo dentro desta e terminar, por fim, o seu percurso: Este conjunto de operações consiste na emissão de sinais de informação entre blocos, com a finalidade de indicar qual o objetivo a cumprir pelo agente (veículo).

De seguida, irão ser apresentados os menus (figuras 29, 30 e 31) e quais os blocos e processos utilizados (tabelas 2, 3 e 4) para a construção do modelo (Figura 29 – Tabela 2; Figura 30 – Tabela 3; Figura 31 – Tabela 4).

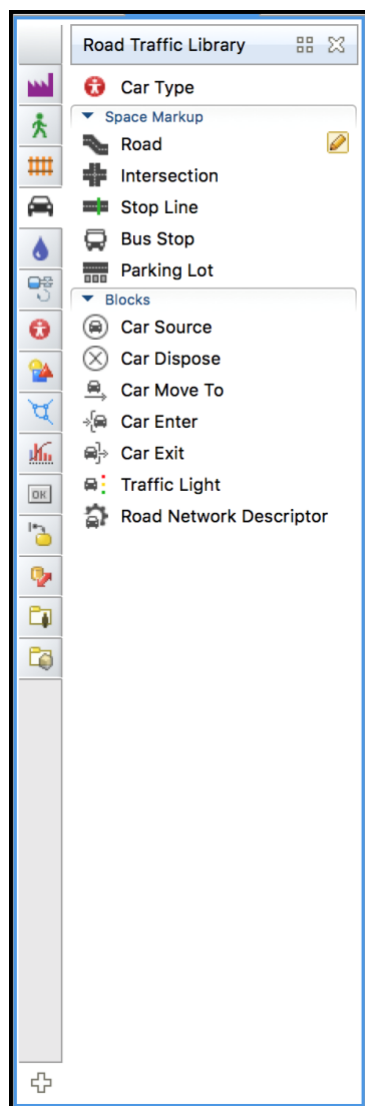


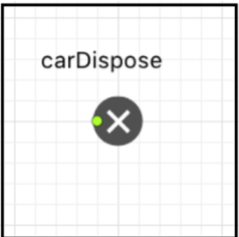

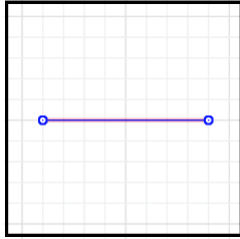


Figura 29 Road Traffic Library - Menu Tráfego Urbano.

Tabela 2 Biblioteca Tráfego Urbano disponível na aba *Road Traffic Library*.

Símbolo	Nome e Descrição da Ferramenta
	<p><i>Car Source</i>: Este bloco tem como objetivo a geração de veículos e a colocação destes numa localização específica da rede rodoviária (o veículo tem a opção de iniciar o seu percurso num parque de estacionamento ou numa rua designada). Possui uma conexão <i>out</i> (ponto verde) para os blocos consequentes.</p>
	<p><i>Car Move To</i>: Ao contrário do <i>Car Source</i>, possui três possibilidades de conexão (pontos verdes): O <i>in</i> (à esquerda), para fazer a ligação com o processo anterior; o <i>out</i>, para dar a indicação de qual a ação seguinte; por último, o <i>OutWayNotFound</i> (abaixo), que indica ao bloco o que fazer caso o veículo, devido a acontecimentos adversos durante a simulação, não consiga executar o movimento desejado. Este é o bloco responsável pelo controlo dos movimentos dos veículos. As viaturas só se conseguem mover enquanto estiverem presentes nos diversos blocos <i>CarMoveTo</i>. Quando um veículo entra neste tipo de blocos é calculado o caminho desde a sua localização atual até ao local de destino: O destino pode ser uma rua, parque de estacionamento, paragem de autocarros ou uma linha de rodovia <i>STOP</i>. Se o percurso for uma rua, o carro, primeiramente, percorre o percurso mais rápido até ao início desta, para, por conseguinte, chegar ao seu final. Se o veículo não conseguir executar o caminho até ao destino desejado, este usará o traçado através da ligação <i>outWayNotFound</i>.</p>
	<p><i>Car Dispose</i>: Remove os veículos do modelo de simulação após estes chegarem ao final do seu percurso. Sendo parte do processo final, possui apenas a conexão <i>in</i>.</p>
	<p><i>Traffic Light</i>: Representa um conjunto de semáforos presentes numa dada rua ou cruzamento. A ordem de cores para cada um dos semáforos e os seus respetivos tempos são introduzidos neste bloco.</p>



*Connector*: Tem como função fazer a conexão entre os blocos presentes num modelo lógico. Sem esta ligação, a informação não é transmitida de parte a parte.

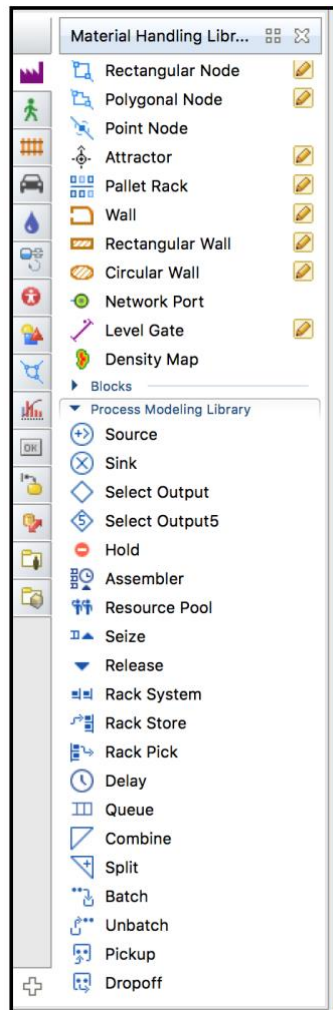
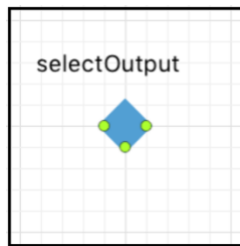


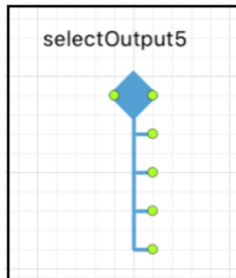
Figura 30 *Material Handling Library* - Menu Manuseamento de Materiais.

Tabela 3 Libraria Modelagem de Processamento disponível na aba *Material Handling Library*.

Símbolo	Nome e Descrição da Ferramenta
	<p><i>Delay</i>: Este processo provoca um atraso/paragem do veículo durante um determinado tempo. O tempo do atraso é avaliado dinamicamente, pode ser estocástico e pode depender do agente e de quaisquer outras condições. O processo pode afetar mais que um veículo – até uma capacidade máxima definida – atrasando-os simultaneamente e independentemente. É usado para a ligação com blocos CarMoveTo que tenham como destino parques de estacionamento ou paragens de autocarros.</p>



*Select Output*: Indica o caminho do veículo para uma das duas possíveis conexões *out* (opções de direção que o veículo possui ao dispor), dependendo das condições existentes. Essas condições podem depender do veículo ou de qualquer fator externo. As viaturas não permanecem nenhum tempo neste processo, passando instantaneamente, durante a sua ação, para o bloco seguinte. Este processo pode ser usado para a seleção de veículos de acordo com um determinado critério (%), para dividir aleatoriamente, o fluxo de agentes presentes.



*Select Output 5*: Tem o mesmo efeito que o processo *Select Output*, mas com a vantagem de oferecer 5 conexões *out* ao utilizador.

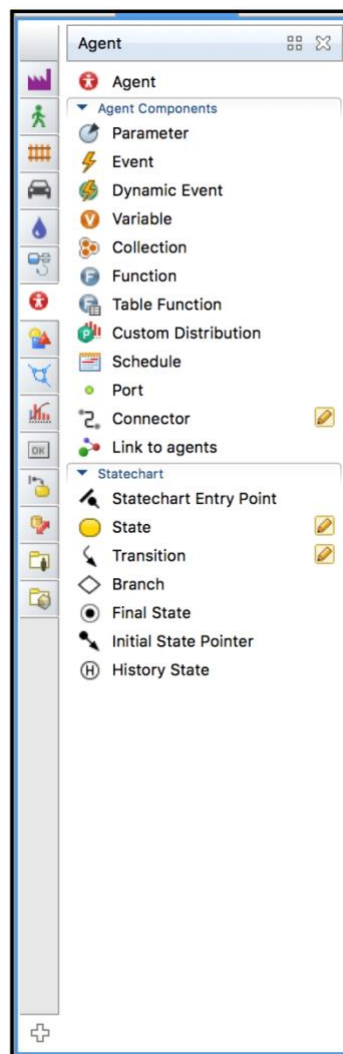
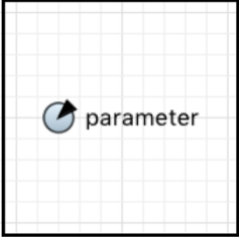
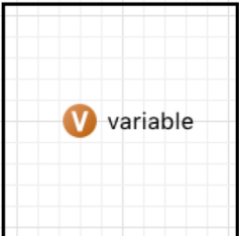


Figura 31 Agent – Agente.

Tabela 4 Biblioteca Componentes de um Agente disponível na aba *Agent*.

Símbolo	Nome e Descrição da Ferramenta
	<i>Parameter:</i> São frequentemente usados para representar algumas características do objeto que está a ser modelado. Normalmente é uma constante na simulação, sendo apenas alterado quando é preciso ajustar o comportamento do modelo.
	<i>Variable:</i> Geralmente são usadas para armazenar os resultados das simulações efetuadas ou para modelar algumas unidades de dados ou características dos objetos. Devido ao mencionado, existe a possibilidade dessas unidades e características alterarem ao longo do tempo.

Na figura 32 é apresentado o modelo lógico da simulação efetuada. Os quatro percursos à esquerda são respetivos às ruas que os carros utilizam. Do lado direito, os quatro percursos possíveis para os autocarros.

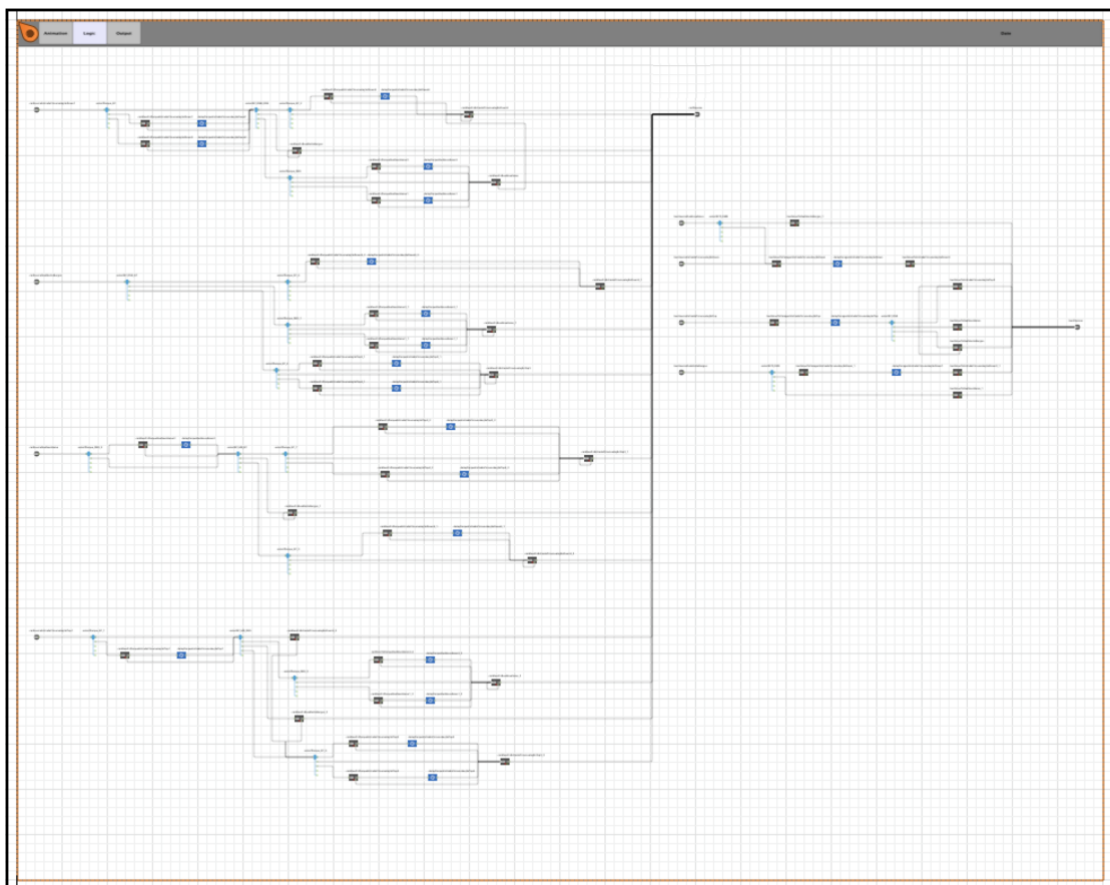


Figura 32 Modelo lógico da simulação de estudo.

Presente na figura 33 encontra-se um exemplo de um desses caminhos. Passo a passo são apresentadas e detalhadas as várias etapas, para uma melhor perceção do funcionamento do modelo lógico (figuras 34-39).

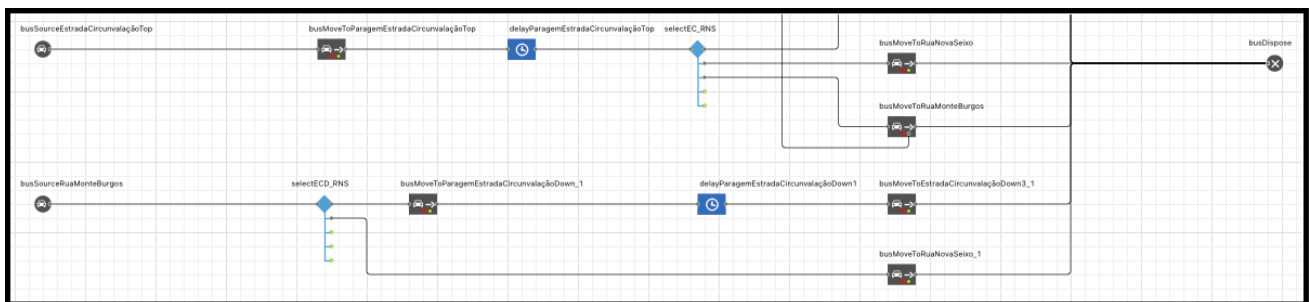


Figura 33 Lógica de um autocarro com início de percurso na Rua do Monte dos Burgos.

- O autocarro inicia o seu percurso na Rua do Monte dos Burgos. No final dessa rua, o veículo encontra duas possibilidades de rota: seguir para a Estrada da Circunvalação *Down* (Nacional 12) ou continuar em frente na interseção em direção à Rua Nova do Seixo (figura 34).

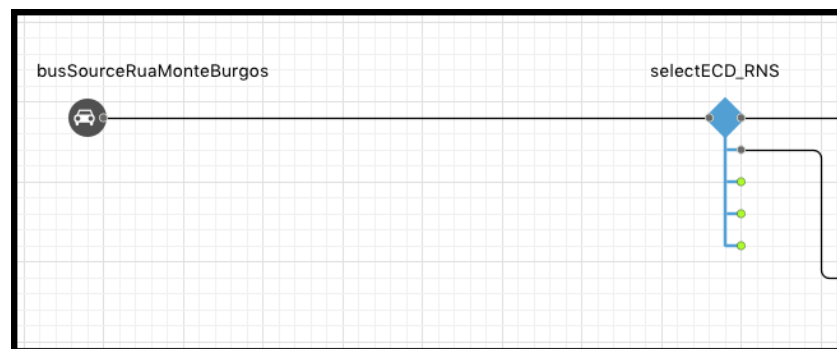


Figura 34 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte I.

- O autocarro optou por prosseguir em frente em direção à Rua Nova do Seixo (figura 35).

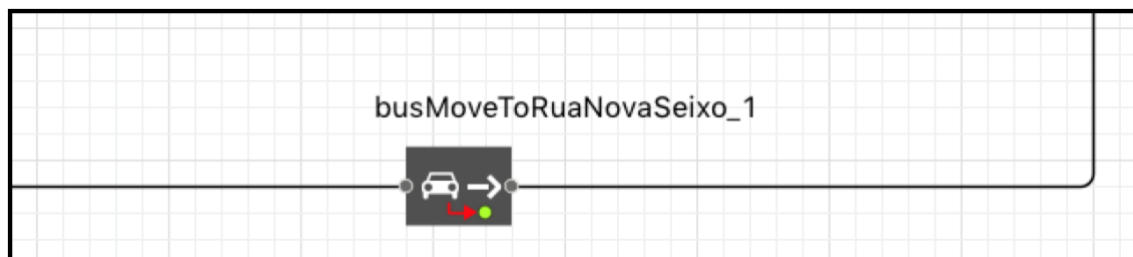


Figura 35 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte II.

- De acordo com as probabilidades estabelecidas, o autocarro optou por prosseguir pela Estrada da Circunvalação, onde encontra a paragem de autocarro como próximo destino (figura 36).

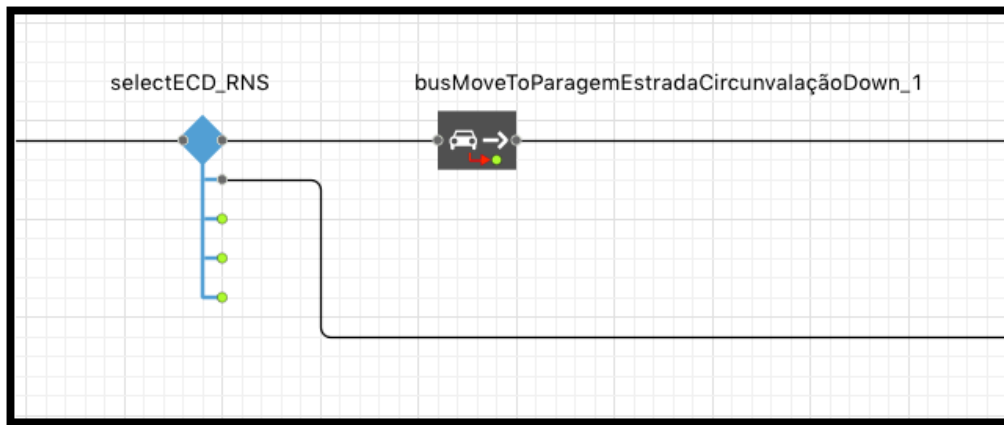


Figura 36 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte III.

- Ao encontrar a paragem de autocarro, o veículo permanece em repouso determinado tempo, para depois poder iniciar o seu percurso novamente (figura 37).

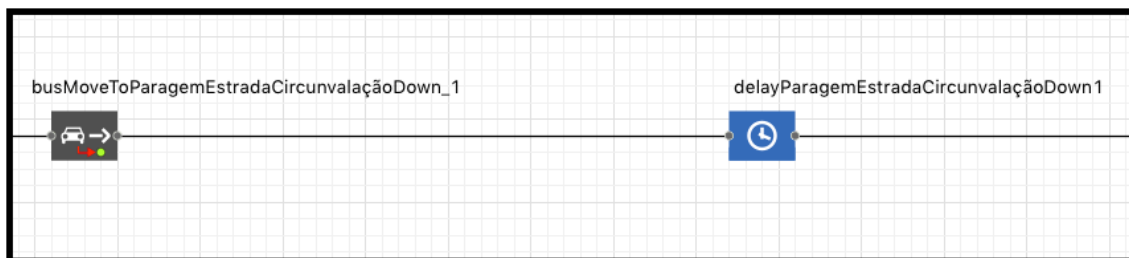


Figura 37 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte IV.

- Após sair da zona da paragem de autocarro, a viatura dirige-se novamente para a faixa de rodagem (figura 38).

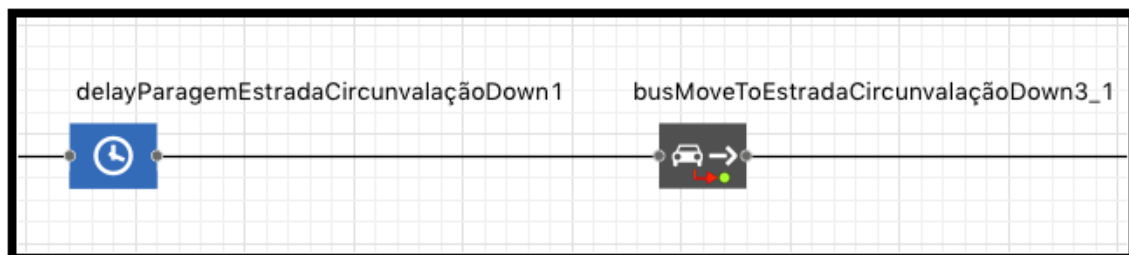


Figura 38 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte V.

- Para finalizar é necessário fazer a ligação com um bloco *Car Dispose*. Dado isto, quer os autocarros que se encontram em Rua Nova do Seixo quer os da Estrada da Circunvalação têm a informação que se encontra finalizado o seu percurso (figura 39).

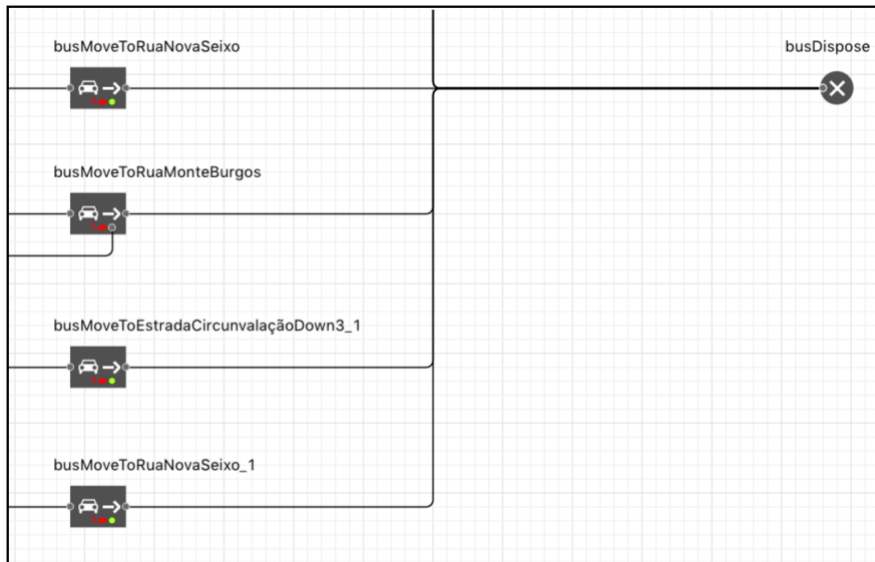


Figura 39 Lógica de um autocarro com início na Rua do Monte dos Burgos, Parte VI.

### 3.5. Outputs do Sistema de Apoio à Decisão

Durante e no final da simulação são apresentados um conjunto de gráficos apelativos e pertinentes para o utilizador do SAD (figura 40). São atualizados com informação consoante a simulação se desenrola.

As figuras 41, 45, 47, 50, 52 e 57 apresentam, individualmente, cada um destes gráficos de análise.



Figura 40 Paleta *Outputs* do modelo de simulação.

### 3.5.1. Número de Carros que Circulam em Cada Rua

Com o gráfico presente na figura 41 pretende-se dar a conhecer o número de carros que, durante a simulação efetuada, entram no modelo. Cada rua é apresentada com uma cor diferente, sendo o eixo das ordenadas o número de veículos e o eixo das abcissas o tempo de simulação.

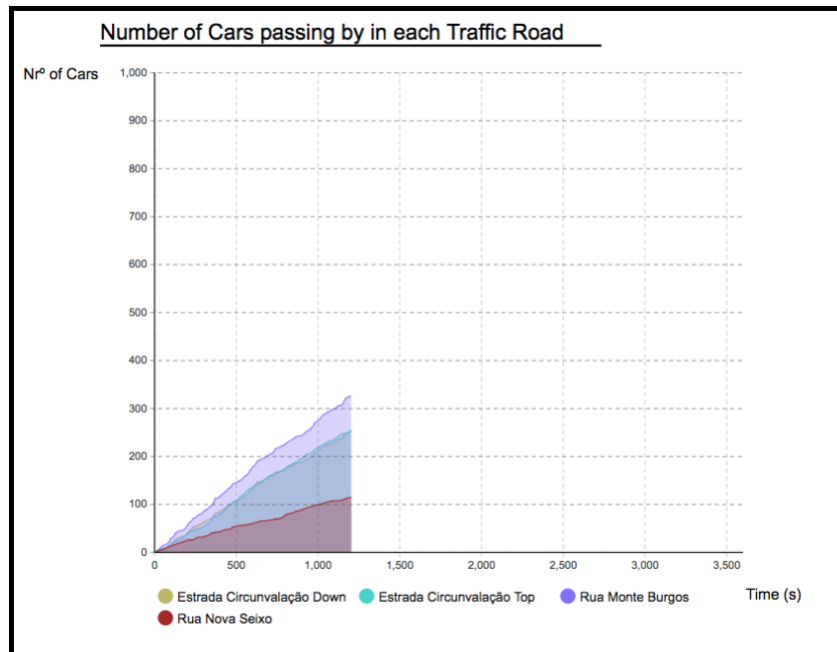


Figura 41 Gráfico relativo ao número de carros presentes em cada rua do modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

Para a criação de cada gráfico é necessário relacioná-lo com algum tipo de ferramenta, de maneira a conseguir identificar que informação se pretende ler. Essa identificação é feita a partir de variáveis.

A variável requerida foi criada com um nome definido pelo utilizador (figura 42). O mesmo é aplicado para os casos das figuras 45, 47 e 50. Após o passo anterior estar concluído, relacionou-se a variável com o gráfico que irá ler os dados desta (figura 43). Por fim, é necessário definir que informação a variável irá conter: Dado que o objetivo é obter o número de carros que circulam na estrada, indica-se então que a variável irá guardar, variar e atualizar informação cada vez que um carro é adicionado ao modelo de simulação (figura 44).

Figura 42 Variável criada para a construção do gráfico.

**Data**

Value  Data set

Title:

Value:

Point style:

Line width:  pt

Color:

Figura 43 Associação da variável ao gráfico em estudo.

**Actions**

On exit:

Figura 44 Código relativo à contagem do número de carros presentes em cada rua.

### 3.5.2. Número de Autocarros que Circulam em Cada Rua

A lógica no gráfico da figura 41 é a mesma aplicada para o caso dos autocarros (figura 45).

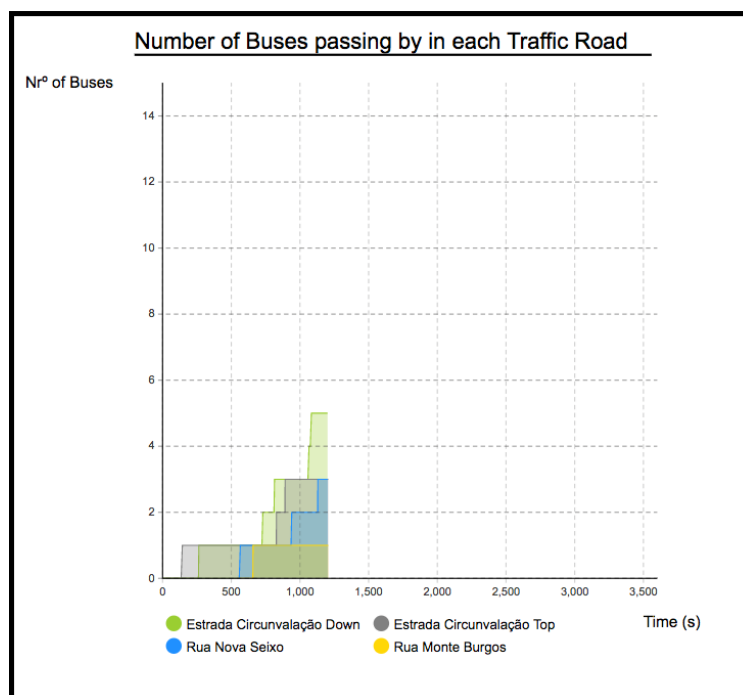


Figura 45 Gráfico relativo ao número de autocarros presentes em cada rua do modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

A mesma descrição da configuração do gráfico da figura 41 é aplicada ao caso da figura 45, desta vez relativa aos autocarros presentes em cada rua. Devido a isto, não irá ser detalhada novamente a explicação do processo e apenas é dado um exemplo relativo à configuração do gráfico (figura 46).

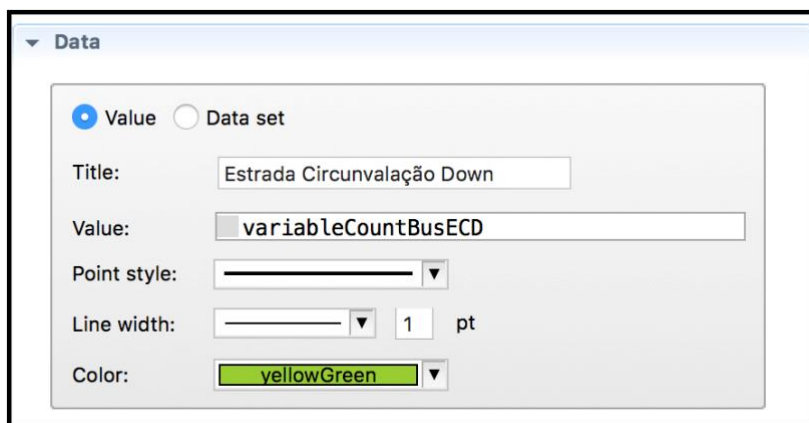


Figura 46 Associação da variável ao gráfico em estudo.

### 3.5.3. Número Total de Carros que Circulam em Todas as Ruas

Na figura 47 é representado o número total de carros que entram na simulação, contabilizando as quatro ruas existentes. Desta forma, ter-se-á uma perceção da quantidade de carros que circulam na área estudada, de acordo com os valores iniciais introduzidos no SAD. Mais uma vez, o eixo das ordenadas é relativo ao número de carros e o das abcissas ao tempo de simulação.

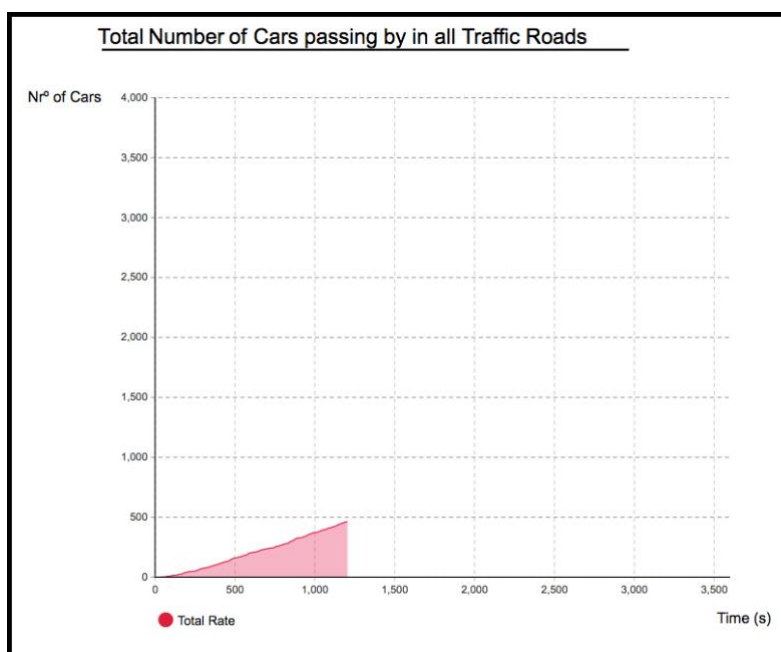


Figura 47 Gráfico relativo ao número de carros total que entram no modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

Depois da variável criada, esta foi relacionada com o gráfico pretendido (figura 48). No final foi necessário relacioná-la também com o bloco do modelo lógico que lê a informação relativa à saída dos veículos na simulação. Escreveu-se assim o código que indica à variável a chegada dos carros ao seu destino final (figura 49).

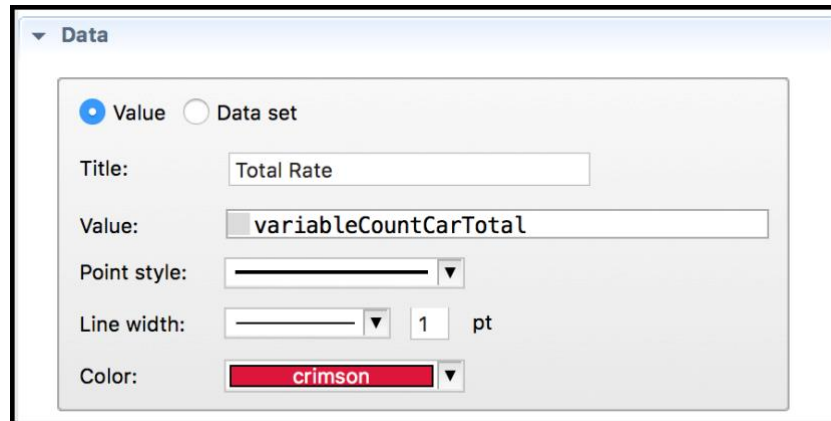


Figura 48 Associação da variável ao gráfico em estudo.



Figura 49 Código relativo à contagem do número total de carros durante o tempo de simulação.

### 3.5.4. Número Total de Autocarros que Circulam em Todas as Ruas

Tal como acontece para os carros, é apresentado um gráfico do número total de autocarros que entram no modelo de simulação (figura 50).

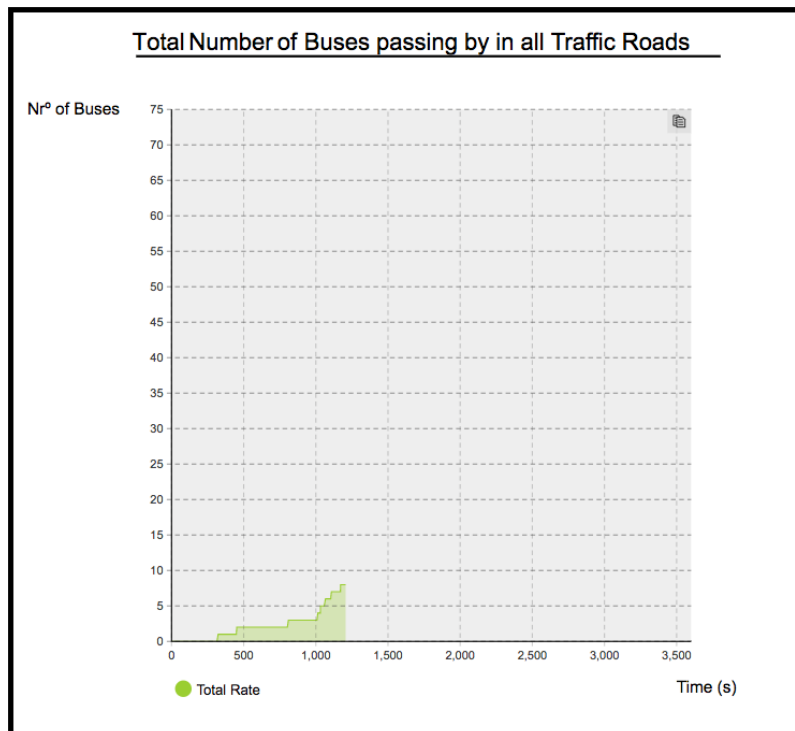


Figura 50 Gráfico relativo ao número de autocarros total que entram no modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

A mesma descrição da configuração do gráfico da figura 47 é aplicada ao caso da figura 50, desta vez relativa aos autocarros presentes em todas as ruas. Devido a isto, não irá ser detalhada novamente a explicação do processo e apenas é dado um exemplo relativo à configuração do gráfico (figura 51).

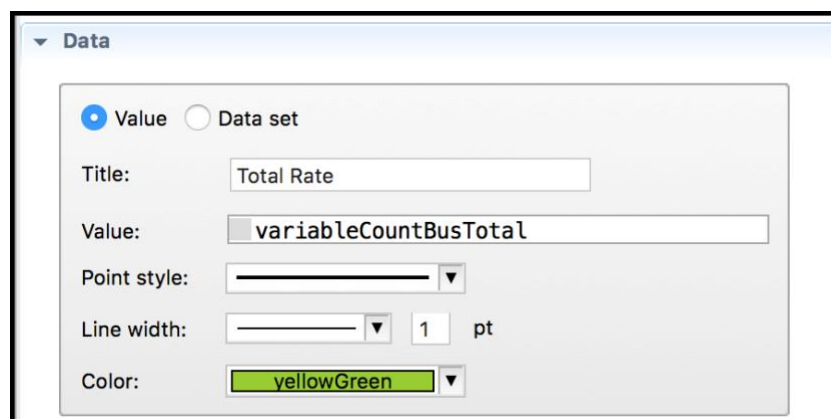


Figura 51 Associação da variável ao gráfico em estudo.

### 3.5.5. Tempo de Permanência dos Carros na Simulação

A partir do gráfico apresentado na figura 52 retira-se a quantidade de tempo que os veículos permanecem no modelo de simulação. Desta forma é dada a possibilidade ao utilizador de observar melhoramentos ou possíveis problemas provocados pela sua seleção inicial de valores do SAD.

O eixo das abcissas apresenta o tempo, em segundos, e o das ordenadas a percentagem de veículos que executam o seu percurso nesse mesmo tempo. Cada barra, a roxo, representa um conjunto de veículos que executou a simulação em tempo igual, e a soma dessas colunas perfaz um valor igual a 100% (a frequência dessa percentagem, no gráfico, é representada de 0 a 1). A linha a amarelo presente, representa a média de tempo de simulação dos veículos. Para terminar, a linha a verde reflete o resultado da função de distribuição acumulada: este valor representa a probabilidade de uma variável aleatória (número de carros) ser menor ou igual num valor real  $x$  (tempo).

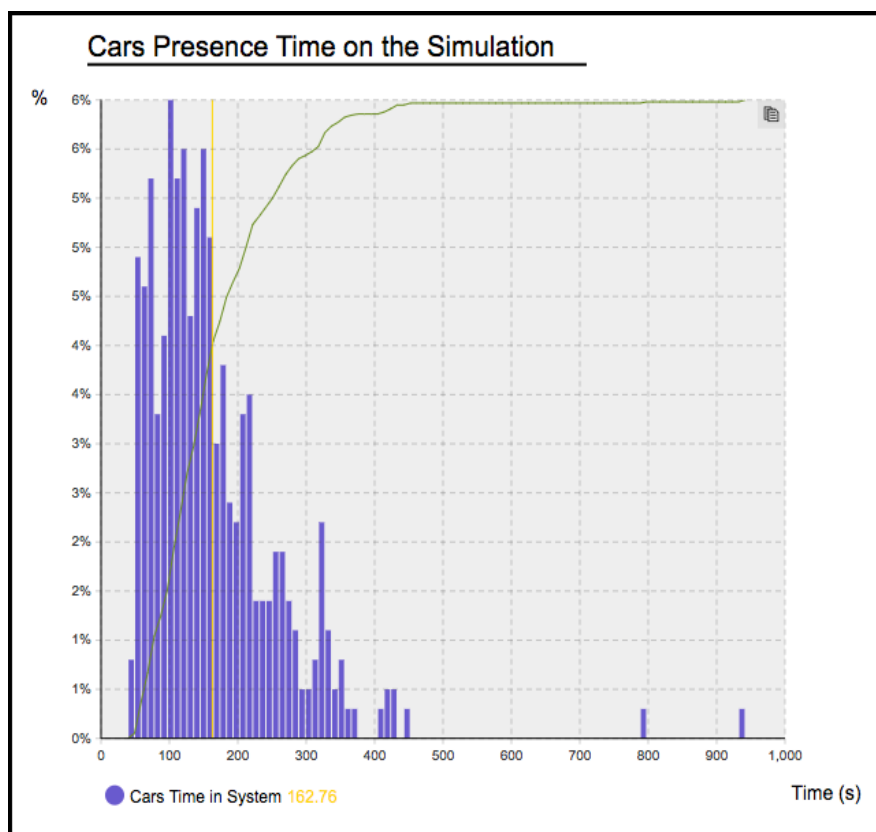


Figura 52 Gráfico relativo à quantidade de tempo que os carros se apresentam no modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

O tipo de gráfico escolhido para este caso de estudo foi o histograma. Selecionou-se o mencionado devido ao seu tipo de representação gráfica em colunas que permite obter a duração dos percursos de vários conjuntos de carros com o mesmo tempo de presença na simulação (figuras 53 e 54).

De seguida foi escrito o código no bloco relativo à saída dos veículos no modelo lógico, dado que é o tempo final o pretendido (figura 55). Para concluir foi adicionado

um tipo de ferramenta de análise de dados disponível no programa: *Output*. Assim é calculada a média de tempo que os veículos permanecem na simulação, sendo possível também acompanhar o valor a variar no decorrer desta (figura 56).

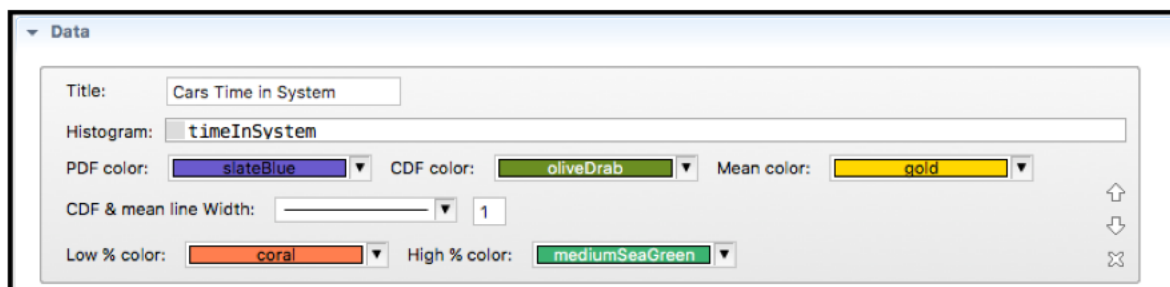


Figura 53 Propriedades do gráfico em estudo.

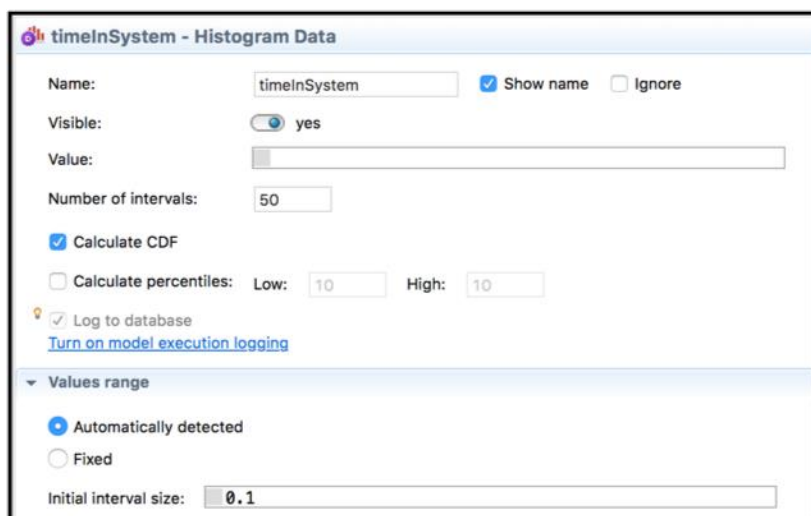


Figura 54 Informação relativa ao histograma.

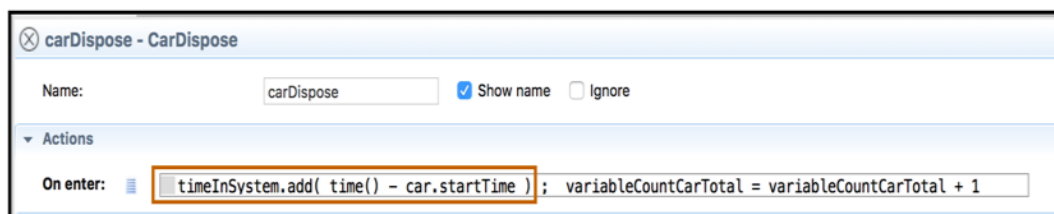


Figura 55 Código relativo à contagem do tempo que cada veículo permanece na simulação.

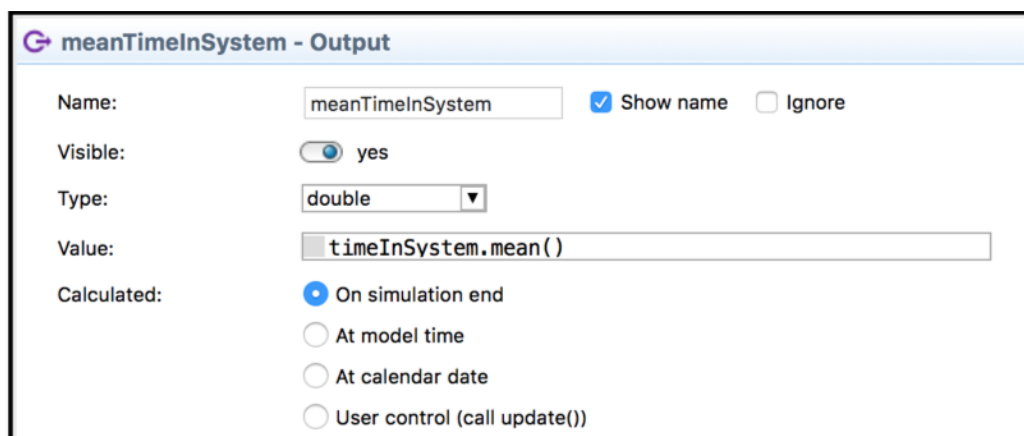


Figura 56 Código relativo à contagem do tempo médio que os veículos permanecem na simulação.

### 3.5.6. Tempo de Permanência dos Autocarros na Simulação

Tal como acontece para o caso dos carros, é apresentado um gráfico do tempo de permanência dos autocarros no modelo de simulação e a sua respetiva média (figura 57).

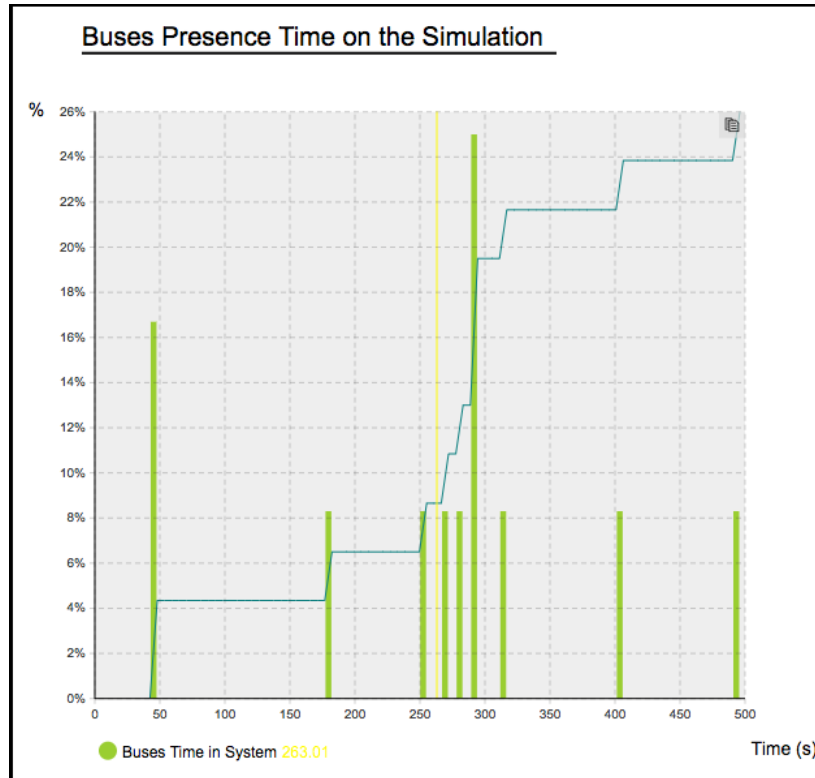


Figura 57 Gráfico relativo à quantidade de tempo que os autocarros se apresentam no modelo de simulação.

- Configuração/Programação do *Output*:

A mesma descrição da configuração do gráfico da figura 52 é aplicada para o caso da figura 57, desta vez relativamente ao tempo que os autocarros permanecem na simulação. Devido a isto, não irá ser detalhada novamente a explicação do processo e apenas é dado um exemplo relativo à configuração do gráfico (figura 58).

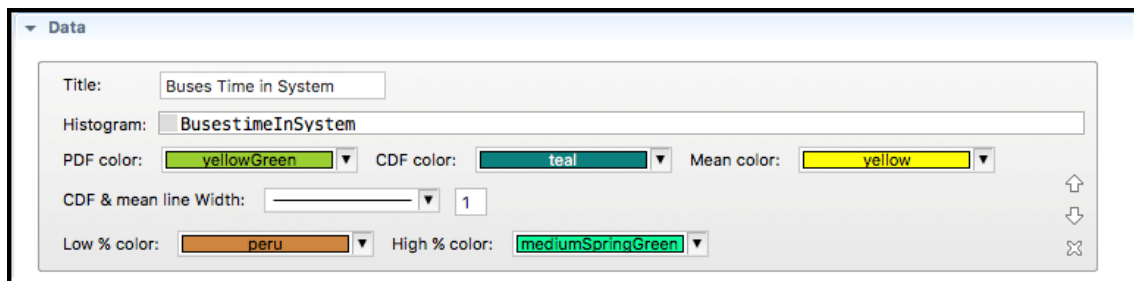


Figura 58 Propriedades do gráfico em estudo.

# 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

- 4.1. Principais Contributos do Trabalho
- 4.2. Valor Acrescentado do Trabalho para o Setor do Tráfego Automóvel
- 4.3. Trabalhos Futuros



## 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação do Curso de Mestrado de Engenharia Mecânica, no ramo de Energia.

O tema consistiu no desenvolvimento de um SAD relativo ao tráfego urbano de uma área previamente escolhida, com recurso a um programa de simulação. Os principais módulos que influenciam o ambiente de tráfego urbano foram definidos para poderem ser alterados no sistema de apoio e a simulação foi construída na procura de aproximar a área de estudo o mais possível da realidade, para assim serem obtidos resultados mais precisos e corretos.

Nos próximos subcapítulos são apresentados os principais contributos prestados pelo sistema à área urbana, quais os aspetos positivos que poderão ser dados ao setor, assim como propostas de futuros trabalhos relacionados com o abordado.

### 4.1. Principais Contributos do Trabalho

O principal contributo deste trabalho consistiu no desenvolvimento de um SAD para análise de tráfego automóvel num cruzamento da cidade do Porto. Esta ferramenta oferece ao seu utilizador uma interface bastante intuitiva, não tendo este de ter qualquer tipo de conhecimento prévio sobre o *software* utilizado para poder obter o máximo proveito. É capaz de gerar um modelo de simulação da área e demonstrar os seus principais pontos de formação de tráfego.

De maneira a presentear ao utilizador uma ferramenta capaz de oferecer as mais proveitosas condições para atingir os seus objetivos, propósitos, assim como resolver problemas é de destacar pela sua relevância:

- A parametrização de vários valores na interface do SAD, o que permite ao utilizador testar várias condições de funcionamento do sistema, assim como as suas potencialidades;
- A automatização do sistema depois da introdução dos dados, dispensando assim a necessidade de qualquer tipo de intervenção pelo utilizador no desenrolar do processo;
- As animações 2D e 3D, oferecendo uma vertente mais visual para a observação da evolução do tráfego automóvel ao longo do tempo. Este ponto permite uma melhor comunicação entre o utilizador e o SAD, uma melhor compreensão dos resultados obtidos, assim como uma maior transparência na interpretação dos dados por parte dos utilizadores;

- A geração de uma série de gráficos, simples e de carácter genérico, onde é apresentada toda a informação relativa ao desempenho dos veículos durante o período de simulação.

#### 4.2. Valor Acrescentado do Trabalho para o Setor do Tráfego Automóvel

Este tipo de estudos são de extrema importância para o setor automóvel e o investimento em modelos de simulação tem sentido um aumento ao longo dos últimos anos.

Desta forma é possível prever e antecipar possíveis problemas na rodovia, caso estas sejam novas construções ou, na tentativa de melhoramento de alguma fração de estrada já existente. Os fatores ambientais, económicos e de investimento são também preponderantes na escolha do método de simulação como aposta cada vez mais imperativa no mercado atual. São problemas que devem ser resolvidos com a maior precaução e, de preferência, o menos dispendioso possível, para evitar um impacto negativo no dia-a-dia dos habitantes locais e existir, logicamente, um retorno lucrativo para a parte que faz o investimento. O baixo custo associado à utilização da ferramenta é também de salientar, sendo um ponto positivo para o seu uso no setor.

Os sistemas de apoio à decisão são uma ótima e prática ideia quando aplicada a este tipo de estudos, pois permite a uma ampla gama de utilizadores modificarem o modelo da forma desejada, para assim atingir um objetivo proposto e conseguir observar os resultados dessa mudança, sem ter propriamente de conhecer e entender como o processo de simulação foi criado e desenvolvido.

#### 4.3. Trabalhos Futuros

Tendo como ideologia um processo de melhoria contínua ao longo dos anos, seja em que setor de trabalho for, é de esperar que no futuro novas ferramentas de apoio surjam para uma melhor aproximação da realidade e obtenção de resultados fidedignos. Assim sendo, abaixo são descritos possíveis trabalhos futuros ou melhoramentos que possam ser levados em consideração:

- Não tendo sido possível obter, por parte das entidades competentes, valores exatos e reais no que toca aos intervenientes no estudo – velocidade preferencial dos veículos naquela área, tempo dos semáforos, quantidades de carros que utilizam a rodovia em horas de ponta, entre outros – este será um ponto bastante pertinente a ser considerado num futuro estudo. Desta forma, irá cada vez mais aproximar o modelo de simulação ao mundo real.
- O programa Anylogic teve recentemente o *update* relativo à possibilidade de simulação de tráfego urbano e, tal como qualquer ferramenta de simulação, tem limitações no seu *software* e nunca conseguirá reproduzir com total exatidão a realidade. Devido a isto, é de esperar que no futuro estas limitações sejam corrigidas e posteriormente seja possível introduzi-las no modelo. Limitações como a não possibilidade de poder criar estacionamentos perto de intersecções, *bugs* relacionados com a plataforma computacional (JAVA) que influenciam diretamente

o correto funcionamento do modelo e a impossibilidade de mudanças de rotas repentinas em estradas com comprimento reduzido são exemplos que poderão ser melhorados em próximas implementações. O fato de ter sido utilizada a versão estudante, e não a profissional, limitou também em alguns pontos o modelo devido à impossibilidade de utilizar certas ferramentas ao dispor no programa, só acessíveis na versão mencionada.

- Por último, um ponto bastante pertinente que também poderá merecer destaque num trabalho futuro: a análise e posteriores comentários dos resultados. Estes são obtidos a partir da variação dos vários parâmetros disponíveis no SAD (número de carros presentes na simulação, velocidade e aceleração destes, tempos dos sinais de trânsito luminosos, entre outros). Desta forma, poder-se-á perceber se as mudanças efetuadas provocarão um impacto positivo, ao nível do tráfego urbano, ou não.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelwahab, H. T. (2017). Traffic micro-simulation model for design and operational analysis of barrier toll stations. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), 507–513. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.05.010>
- Alexandrino, K., Viteri, F., Rybarczyk, Y., Guevara Andino, J. E., & Zalakeviciute, R. (2020). Biomonitoring of metal levels in urban areas with different vehicular traffic intensity by using *Araucaria heterophylla* needles. *Ecological Indicators*, 117(March), 106701. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106701>
- Barthauer, M., & Friedrich, B. (2020). Evaluation of presorted and presignaled intersections with respect to traffic efficiency and traffic safety. *Transportation Research Procedia*, 47, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.103>
- Barthauer, M., & Hafner, A. (2018). *Coupling traffic and driving simulation: Taking advantage of SUMO and SILAB together*. 2, 56–44. <https://doi.org/10.29007/k2nt>
- Bazghandi, A. (2012). Techniques, Advantages and Problems of Agent Based Modeling for Traffic Simulation. *International Journal of Computer Science Issues*, 9(1), 115–119.
- Bellini, D., Iaconis, M. C., & Traettino, E. (2020). Speed limits and road warning signs as aid for driving behavior. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.100>
- Ben-Dor, G., Ben-Elia, E., & Benenson, I. (2018). Assessing the Impacts of Dedicated Bus Lanes on Urban Traffic Congestion and Modal Split with an Agent-Based Model. *Procedia Computer Science*, 130, 824–829. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.071>
- Boulmakoul, A., Fazekas, Z., Karim, L., Gáspár, P., & Cherradi, G. (2020). Fuzzy similarities for road environment-type detection by a connected vehicle from traffic sign probabilistic data. *Procedia Computer Science*, 170, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.139>
- Cellier, F. E., Elmqvist, H., Otter, M., & Taylor, J. H. (1993). Guidelines for Modeling and Simulation of Hybrid Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 26(2), 1219–1225. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)48666-6](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)48666-6)
- Chopard, B., Dupuis, A., & Luthi, P. (1997). A cellular automata model for urban traffic and its application to the city of Geneva. *Traffic and Granular Flow*, 97, 153–168. <https://doi.org/10.1.1.22.2309>
- Das, S., & White, L. D. (2020). RuralSpeedSafetyX: Interactive decision support tool to

- improve safety. *SoftwareX*, 11, 100493.  
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100493>
- Davis, E., & Marcus, G. (2016). The scope and limits of simulation in automated reasoning. *Artificial Intelligence*, 233, 60–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.artint.2015.12.003>
- Dicks, L. V., Walsh, J. C., & Sutherland, W. J. (2014). Organising evidence for environmental management decisions: A “4S” hierarchy. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(11), 607–613. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.09.004>
- Diez, E., & McIntosh, B. S. (2011). Organisational drivers for, constraints on and impacts of decision and information support tool use in desertification policy and management. *Environmental Modelling & Software*, 26(3), 317–327.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.04.003>
- Emrich, Š., Suslov, S., & Judex, F. (2007). Fully agent based modellings of epidemic spread using Anylogic. *Proceeding EUROSIM 2007, Ljubljana, Slovenia, 2007*, 1–7.  
<http://www.xjtek.com/upload/iblock/783/78372158338b2411303849bef6763111.pdf>
- Fazekas, Z., Gerencsér, L., & Gáspár, P. (2017). Detecting change in road environment via analysis of marked point processes associated with traffic signs. *Transportation Research Procedia*, 22, 75–84.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.011>
- Ferreira Luís Pinto, Gómez E. Ares, Lourido G.C Peláez, Lázaro A. Resano, P. C. J. L. (2008). Comparative Analysis between analytical and Arena simulation models applied to an Automobile closed-loops assembly line, modelled like a network of closed-loops. *Proceedings of 25th International Manufacturing Conference: “Manufacturing and Design – The Next Generation” (IMC2008), Ireland, 3rd-5th September*, 233–240.
- Ferreira, L. P., Ares, E., Peláez, G., Resano, A., Luis, C. J., & Tjahjono, B. (2011A). Simulation of a closed-loops assembly line. *Key Engineering Materials*, 502(January 2015), 127–132.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.502.127>
- Ferreira L. Pinto, Gómez E. Ares, Lourido G.C Peláez, P. M. A. (2011B). Evaluation of the Impact of the Introduction of a New Type of Product on a Multistage Multiproduct Production Line. *Proceedings of International Conference on Innovative Technologies (In-Tech), Bratislava (Slovakia), September 1-2, ISBN 978-80-904502-6-4*, 325–328.
- Ferreira, Luís Pinto, Gómez, E. A., Lourido, G. P., & Tjahjono, B. (2011C). Optimization of a multiphase multiproduct production line based on virtual cells. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011*, 1(March 2016), 616–621.
- Ferreira, Luis Pinto, Gómez, E. A., Lourido, G. C. P., Quintas, J. D., & Tjahjono, B. (2012). Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

- 59(1–4), 351–366. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3502-4>
- Ferreira L.P., Gómez E.A., Lourido G.P., T. B. (2013). Modeling a Complex Production Line Using Virtual Cells. *Ao Sl., Gelman L. (Eds) Electrical Engineering and Intelligent Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, New York, NY, 130*, 361–373. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2317-1>
- Grether, D., Neumann, A., & Nagel, K. (2012). Simulation of urban traffic control: A queue model approach. *Procedia Computer Science, 10*, 808–814. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.06.104>
- He, Y. L., Li, R. T., Li, L., Schwebel, D. C., Huang, H. L., Yin, Q. Y., & Hu, G. Q. (2019). Left-turning vehicle-pedestrian conflicts at signalized intersections with traffic lights: Benefit or harm? A two-stage study. *Chinese Journal of Traumatology - English Edition, 22*(2), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2018.07.007>
- Heyns, E., Uniyal, S., Dugundji, E., Tillema, F., & Huijboom, C. (2019). Predicting traffic phases from car sensor data using machine learning. *Procedia Computer Science, 151*(2018), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.016>
- Irena Ištoka Otkovića, Aleksandra Deluka-Tibljašb, S. Š. (2020). Validation of the calibration methodology of the micro-simulation traffic model of the micro-simulation Validation of the calibration methodology. *Transportation Research Procedia, 45*(2019), 684–691. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.110>
- Jahn, R. M., Syré, A., Grahle, A., Schlenther, T., & Göhlich, D. (2020). Methodology for Determining Charging Strategies for Urban Private Vehicles based on Traffic Simulation Results. *Procedia Computer Science, 170*, 751–756. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.160>
- Janßen, H., Göke, C., & Luttmann, A. (2019). Knowledge integration in Marine Spatial Planning: A practitioners' view on decision support tools with special focus on Marxan. *Ocean and Coastal Management, 168*(May 2018), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.11.006>
- Jiang, R., Jin, C. J., Zhang, H. M., Huang, Y. X., Tian, J. F., Wang, W., Hu, M. Bin, Wang, H., & Jia, B. (2017). Experimental and Empirical Investigations of Traffic Flow Instability. *Transportation Research Procedia, 23*, 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.010>
- Johora, F. T., & Müller, J. P. (2020). Zone-Specific Interaction Modeling of Pedestrians and Cars in Shared Spaces. *Transportation Research Procedia, 47*, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.096>
- Kotagi, P. B., Raj, P., & Asaithambi, G. (2019). Modeling lateral placement and movement of vehicles on urban undivided roads in mixed traffic: A case study of India. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), xxx*. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.06.008>
- Krajzewicz, D. (2010). Traffic simulation with SUMO – Simulation of urban mobility. *International Series in Operations Research and Management Science, 145*, 269–

293. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_7)
- Kryvinska, N., Poniszewska-Maranda, A., & Gregus, M. (2018). An approach towards service system building for road traffic signs detection and recognition. *Procedia Computer Science*, *141*, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.150>
- Long, J., Gao, Z., Zhao, X., Lian, A., & Orenstein, P. (2011). Urban Traffic Jam Simulation Based on the Cell Transmission Model. *Networks and Spatial Economics*, *11*(1), 43–64. <https://doi.org/10.1007/s11067-008-9080-9>
- Ma, X., Li, Y., & Chen, P. (2019). Identifying spatiotemporal traffic patterns in large-scale urban road networks using a modified nonnegative matrix factorization algorithm. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *xxx*. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.12.002>
- Małeckki, K. (2016). The Importance of Automatic Traffic Lights time Algorithms to Reduce the Negative Impact of Transport on the Urban Environment. *Transportation Research Procedia*, *16*(March), 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.032>
- Małeckki, K., & Iwan, S. (2019). Modeling traffic flow on two-lane roads with traffic lights and countdown timer. *Transportation Research Procedia*, *39*(2018), 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.032>
- Metkari, M., Budhkar, A., & Maurya, A. K. (2013). Development of Simulation Model for Heterogeneous Traffic with no Lane Discipline. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *104*, 360–369. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.129>
- Morvan, D., Larini, M., Dupuy, J. L., Fernandes, P., Miranda, A. I., Andre, J., Sero-guillaume, O., Calogine, D., & Cuiñas, P. (2004). EUFIRELAB : for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region Deliverable D-03-01 Behaviour Modelling of Wildland Fires : a State of the Art. *Behaviour*, February.
- Nakajima, Y., Yamane, S., & Hattori, H. (2012). Multi-model based simulation platform for urban traffic simulation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *7057 LNAI*, 228–241. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-25920-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25920-3_16)
- Osigbemeh, M., Onuu, M., & Asaolu, O. (2017). Design and development of an improved traffic light control system using hybrid lighting system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *4*(1), 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.06.001>
- Overtoom, I., Correia, G., Huang, Y., & Verbraeck, A. (2020). Assessing the impacts of shared autonomous vehicles on congestion and curb use: A traffic simulation study in The Hague, Netherlands. *International Journal of Transportation Science and Technology*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2020.03.009>
- Pick, R. A., & Weatherholt, N. (2012). A Review On Evaluation And Benefits Of Decision Support Systems. *Review of Business Information Systems (RBIS)*, *17*(1), 7–20.

- <https://doi.org/10.19030/rbis.v17i1.7580>
- Pop, M.-D. (2018). Traffic Lights Management Using Optimization Tool. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.008>
- Rosca, M., Oprea, C., Petrescu, R., Burciu, S., & Stere, A. (2020). Improving Safety and Traffic Conditions on National Roads Passing through Towns without Bypass. *Procedia Manufacturing*, 46, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.032>
- Rose, D. C., Morris, C., Lobley, M., Winter, M., Sutherland, W. J., & Dicks, L. V. (2018). Exploring the spatialities of technological and user re-scripting: The case of decision support tools in UK agriculture. *Geoforum*, 89(February 2017), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.12.006>
- Rose, D. C., Sutherland, W. J., Parker, C., Lobley, M., Winter, M., Morris, C., Twining, S., Ffoulkes, C., Amano, T., & Dicks, L. V. (2016). Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. *Agricultural Systems*, 149, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.009>
- Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., & Bettati, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.011>
- Sierpiński, G., & Staniek, M. (2017). Heuristic approach in a multimodal travel planner to support local authorities in urban traffic management. *Transportation Research Procedia*, 27, 640–647. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.027>
- Tripathi, K. P. (2011). Decision Support System Is a Tool for Making Better Decisions in the Organization. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 2(1), 112–117. <http://www.ijcse.com/docs/IJCSE11-02-01-054.pdf>
- Ulak, M. B., Ozguven, E. E., Moses, R., Sando, T., Boot, W., AbdelRazig, Y., & Sobanjo, J. O. (2019). Assessment of traffic performance measures and safety based on driver age and experience: A microsimulation based analysis for an unsignalized T-intersection. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 6(5), 455–469. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.05.004>
- Vázquez, J. J., Arjona, J., Linares, M., & Casanovas-Garcia, J. (2020). A Comparison of Deep Learning Methods for Urban Traffic Forecasting using Floating Car Data. *Transportation Research Procedia*, 47(2019), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.079>
- Waa, J. van der, Schoonderwoerd, T., Diggelen, J. van, & Neerincx, M. (2020). Interpretable confidence measures for decision support systems. *International Journal of Human Computer Studies*, 144(September 2019), 102493. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102493>
- Waligórski, M., & Kucal, K. (2019). The impact of the full power characteristics of the

internal combustion engine and the traction characteristics of the vehicle on its safety in urban traffic. *Transportation Research Procedia*, 40, 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.085>