



**Universidade de
Aveiro
2012**

Departamento de Engenharia Mecânica

**Hugo
Caspão Rodrigues**

**Sistemas Inteligentes de Transportes: impacte nos
consumos e emissões**



**Hugo
Caspão Rodrigues**

Sistemas Inteligentes de Transportes: impacte nos consumos e emissões

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e da Doutora Tânia Daniela Lopes da Rocha Fontes, Investigadora de Pós-Doutoramento do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro.

Agradecimentos

Aproveito este espaço para agradecer a todas as pessoas que fui conhecendo nas diversas etapas do curso e que contribuíram de forma accidental ou propositada para a conclusão do mesmo. Aos colegas e companheiros, de estudo, de conversa e diversão, que sem dúvida, me ajudaram a crescer como pessoa.

Agradeço aos verdadeiros amigos que tinha, aos novos que fiz, que me acompanharam nos últimos anos de curso e certamente me acompanharão para o resto da vida.

À minha orientadora Prof. Margarida Coelho, por trabalhar numa área que me suscita grande interesse e por me possibilitar a concretização deste trabalho que me deu enorme prazer realizar.

A toda a equipa da SMARTDECISION com especial destaque para a minha coorientadora Doutora Tânia Fontes, Eng.º Paulo Fernandes e Eng.º Jorge Bandeira. Este trabalho foi parcialmente financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional “Fatores de Competitividade – COMPETE” e por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto SMARTDECISION (PTDC/SEN-TRA/115117/2009).

Finalmente, agradeço e dedico este trabalho aos meus pais e namorada pelo apoio inesgotável, motivação e força.

Sem o apoio de todos vós, não seria possível a conclusão desta etapa importante da minha vida. Obrigado!

Júri

Presidente

Prof.^a. Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientadora

Prof.^a. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Coorientadora

Doutora Tânia Daniela Lopes da Rocha Fontes
Investigadora de Pós-Doutoramento do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof.^a Doutora Ana Bastos Silva
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Palavras-chave

Sistemas inteligentes de transportes, escolha de rota, emissões, potência específica do veículo, hora de ponta.

Resumo

Uma forma de otimizar a escolha de rotas consiste no recurso aos Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS). Estes sistemas possibilitam aos condutores identificar previamente problemas na rede e possíveis soluções em rotas alternativas. A análise destas alternativas para um determinado par origem/destino baseada nestes sistemas afigura-se relevante, para que o utilizador possa escolher a rota que esteja associada a um menor nível de congestionamento, consumos e emissões.

A presente Dissertação pretende avaliar o impacte destes sistemas ao nível das emissões de poluentes numa zona urbana durante o período da hora de ponta. Para isso, foi efetuada a microsimulação de tráfego e emissões para uma situação de referência seguida de avaliação dos consumos e emissões decorrente da utilização de ITS num conjunto de cenários de incidentes de tráfego em diferentes vias de acesso a um centro urbano de média dimensão. O impacte será avaliado para diferentes vias de tráfego (urbana, suburbana ou autoestrada) e para todo o domínio urbano em análise (rede modelada composta pelas principais vias do centro da cidade de Aveiro).

Na fase inicial deste trabalho foram recolhidos no terreno dados relativos a fluxos de tráfego, sinalização rodoviária e características das vias em estudo em pontos-chave do domínio. Posteriormente efetuou-se a modelação da rede viária com a aplicação do modelo de tráfego VISSIM, e estimaram-se as emissões totais de NO_x, HC, CO e CO₂ de emissões atmosféricas recorrendo à metodologia de cálculo *Vehicle Specific Power* (VSP), a qual demonstrou simular valores dentro dos limites de confiança dos valores observados.

O estudo desenvolvido confirma que os ITS são uma mais-valia na redução dos tempos de viagem dos condutores que circulam na via onde ocorre um incidente. Nesta via quando aplicado o ITS, registam-se reduções das emissões entre os 45% e os 95%. Já no caso de não se aplicar ITS os aumentos na via no incidente chegam a atingir os 570% no caso do poluente CO. As rotas alternativas permitem poupanças em tempos de viagem que em alguns casos superam os 50%.

No entanto, não deixa de ser uma realidade o aumento de emissões face ao cenário de referência (sem incidentes), sempre que acontece um incidente.

Em todos os cenários a melhor rota alternativa é a que compreende trajetos mistos (urbano e não urbano) mesmo quando se verifica um grande número de veículos em circulação. Também para todo o domínio sem ITS, tendo como referência a situação sem incidentes, a ocorrência de incidentes aumenta todos os poluentes com destaque para o CO que apresenta, em todos os cenários, os maiores aumentos.

Nos casos estudados na presente Dissertação verifica-se que a ocorrência de um incidente que obrigue a fechar uma via rodoviária, é prejudicial ao nível das emissões nas alternativas sugeridas.

Keywords

Intelligent transportation systems, route choice, emissions, , vehicle specific power, peak hour.

Abstract

One way to optimize route choice is using the Intelligent Transportation Systems (ITS). These systems enable drivers to previously identify possible network problems and solutions in alternative routes. The analysis of these alternatives for an origin / destination pair based on these systems it is important for the user to choose the route that is associated with a lower level of congestion, fuel consumption and emissions.

This thesis aims to assess the impact of these systems to the level of pollutant emissions in an urban area during the rush hour. Microscopic traffic and emissions modeling was performed for a baseline situation followed fuel consumption and emissions from the use of ITS in a set of scenarios of traffic incidents in different access routes to a medium-sized urban center. The impact will be assessed for different traffic routes (urban, suburban or freeway) and the entire urban area under consideration (city of Aveiro).

In the initial phase of this study field data on traffic flows, road signs and characteristics of the routes under study were collected at key points of the domain. Subsequently road network modeling with application of VISSIM traffic model was performed, and the total NO_x, HC, CO and CO₂ emissions were estimated using the calculation methodology Vehicle Specific Power (VSP), which showed values within the confidence limits of the observed values.

The study confirms that the ITS are an advantage in reducing travel times for drivers moving towards where an incident occurs. At intersections where the incidents occur, there are emissions reductions between 45% and 95% when ITS are used. In the case of not applying ITS, CO increases up to 570%. The alternative routes allow savings in journey times which in some cases exceed 50%.

However, it is still a reality the increase in emissions compared to the baseline scenario (without incidents), whenever an incident happens.

In all scenarios the best alternative route is a mixed path (urban and non-urban) even when there are a large number of vehicles. Also for the entire domain without ITS, with reference to the situation without incident, the occurrence of incidents increases all pollutants especially CO that presents, in all scenarios, the largest increase.

In the cases studied in this thesis the occurrence of an incident requiring a closed road, is detrimental to emissions level in the suggested alternatives.

Índice

Índice.....	ii
Índice de figuras	iv
Índice de quadros	viii
Siglas e abreviaturas	x
1. Introdução	2
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Estrutura da Dissertação	5
2. Revisão Bibliográfica.....	6
2.1. Sistemas Inteligentes de Transportes.....	6
2.2. Escolha de rota.....	8
2.3. Microsimulação de tráfego e emissões.....	10
3. Metodologia	14
3.1. Caracterização dos trajetos	16
3.2. Modelação de tráfego	18
3.3. Dados de entrada no modelo de tráfego.....	19
3.4. Modelação de emissões e consumos	25
3.5. Avaliação dos resultados do modelo	27
3.6. Definição de cenários	29
4. Apresentação e discussão de resultados	36
4.1. Avaliação do modelo para a situação de referência.....	36
4.2. Avaliação de cenários de incidentes usando ITS.....	49
5. Conclusões e Trabalho Futuro	62
Referências Bibliográficas	66
Anexos	72
Anexo I	74
Anexo II	80
Anexo III	84
Anexo IV	88
Anexo V	92

Índice de figuras

Figura 1 – Gases com efeito de estufa na EU-27 em 2007 por: a) tipo de gás poluente; b) sector de atividade.....	2
Figura 2 – Projeções do total de emissões de CO ₂ para o sector dos transportes rodoviários entre 2000 e 2050.	2
Figura 3 – Fluxograma da estrutura da dissertação.	14
Figura 4 - Origem e destino das rotas em estudo em Aveiro: a) Rotunda do Hospital, e b) Rotunda da Taboeira.	17
Figura 5 - Rotas em estudo: a) Rota A (RA), b) Rota B (RB) e c) Rota C (RC).	17
Figura 6 – Vias de tráfego simuladas através do modelo VISSIM.	19
Figura 7 – Localização das rotas seleccionadas no domínio em estudo (Aveiro) e localização dos pontos de monitorização.....	21
Figura 8 – Taxa de desaceleração (m.s ⁻²) em função da velocidade inicial na desaceleração (km.h ⁻¹).	24
Figura 9 – Exemplos da localização da implementação de reduções de velocidade no modelo VISSIM: a) Rotunda do Hospital (Ponto 1); b) Rotunda das Pirâmides (Ponto 3); e c) entrada Norte da cidade de Aveiro (Rotunda da Taboeira (ponto 14) e Rotunda Olho d'Água).	25
Figura 10 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 1.....	31
Figura 11 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 2.....	31
Figura 12 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 3.....	32
Figura 13 - Exemplo relativo aos intervalos estudados e informações fornecidas durante a avaliação de um cenário considerando duas rotas alternativas, A1 e A2.	34
Figura 14 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RA....	39
Figura 15 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RB....	40
Figura 16 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RC....	41

Figura 17 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RA por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.....	43
Figura 18 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RB por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.....	44
Figura 19 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RC por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.....	45
Figura 20 - Emissões médias (g.km^{-1}), em hora de ponta para um veículo ligeiro de passageiros a gasolina para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2	47
Figura 21 - Emissões médias (g.km^{-1}), em hora de ponta para um veículo ligeiro de passageiros a gásóleo para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2	48
Figura 22 - Comprimento e duração de filas no cenário 1: a) sem ITS e; b) com ITS sem sugestão de rota.	51
Figura 23 - Comprimento e duração de filas no cenário 2: a) sem ITS e; b) com ITS.....	55
Figura 24 - Comprimento e duração de filas no cenário 3: a) sem ITS e; b) com ITS.....	58
Figura IV.1 - Emissões médias totais (g) para um veículo ligeiro de passageiros gasolina em hora de ponta para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2	90
Figura IV.2 - Emissões médias totais (g) para um veículo ligeiro de passageiros gásóleo em hora de ponta para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2	91
Figura V.1 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 1 para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2 sem sugestão de rota.	94
Figura V.2 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 2 para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2 sem sugestão de rota.	95
Figura V.3 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 3 para: a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2 sem sugestão de rota.	96
Figura V.4 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 1 para a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2 com sugestão de rota.....	97
Figura V.5 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 2 para a) NO_x ; b) HC; c) CO e d) CO_2 com sugestão de rota.....	98

Figura V.6 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 3 para a) NO _x ; b) HC; c) CO e d) CO ₂ com sugestão de rota.....	99
Figura V.7 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 1 para: a) NO _x ; b) HC; c) CO e d) CO ₂ com sugestão de rota.....	100
Figura V.8 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 2 para: a) NO _x ; b) HC; c) CO e d) CO ₂ com sugestão de rota.....	101
Figura V.9 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 3 para: a) NO _x ; b) HC; c) CO e d) CO ₂ com sugestão de rota.....	102

Índice de quadros

Quadro 1 – Estudos publicados relacionados com microssimulação de tráfego e emissões	11
Quadro 2 – Calendarização de tarefas.....	15
Quadro 3 - Características das rotas em estudo.	21
Quadro 4 – Coeficiente de fricção lateral (f) em função da velocidade (km.h^{-1}).....	23
Quadro 5 - Modos VSP e fatores de emissão (NO_x , HC, CO e CO_2) para veículos a ligeiros de passageiros a gasolina (USEPA, 2002)	26
Quadro 6 – Modos VSP e fatores de emissão (NO_x , HC, CO e CO_2) para veículos a ligeiros de passageiros a gasóleo (USEPA, 2002).....	27
Quadro 7 – Resultados da avaliação dos fluxos de tráfego simulados, em hora de ponta.	37
Quadro 8 - Resultados da avaliação dos tempos de viagem e velocidades médias simuladas, em hora de ponta.....	38
Quadro 9 - Comparação das médias dos modos VSP por rota e sentido.....	42
Quadro 10 - Comparação do número total de pára-arranca por cenário.	50
Quadro 11 – Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x , HC, CO e CO_2), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 1.	53
Quadro 12 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x , HC, CO e CO_2), para as diferentes rotas alternativas do cenário 1, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.....	54
Quadro 13 - Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x , HC, CO e CO_2), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 2.	56
Quadro 14 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x , HC, CO e CO_2), para as diferentes rotas alternativas do cenário 2, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.....	57

Quadro 15 - Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x, HC, CO e CO₂), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 3.59

Quadro 16 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x, HC, CO e CO₂), para as diferentes rotas alternativas do cenário 3, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.....60

Siglas e abreviaturas

CO₂ – Dióxido de Carbono

DSRC – Dedicated Short Range Communications

ETTIN – European Traffic and Traveller Information Number

EUA – Estados Unidos da América

GEEs – Gases de Efeito de Estufa

IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres

ITS – Sistemas Inteligentes de Transportes

PIB – Produto Interno Bruto

RA – Rota A

RB – Rota B

RC – Rota C

SIT – Serviços de Informação Fluvial

UE – União Europeia

V2I – Vehicle to Infrastructure

V2V – Vehicle to Vehicle

VMS – Variable Message Signs

VSP – Vehicle Specific Power

WLAN – Wireless Local Area Network

1. Introdução

1.1. Motivação

O fenómeno das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEEs) (Figura 1a) tem origens muito diversas tendo o sector dos transportes um contributo significativo (ex.: 19,5 % em 2007 na EU-27 - Figura 1b). Além disso, prevê-se que este impacte registre até 2050 uma tendência crescente (Figura 2).

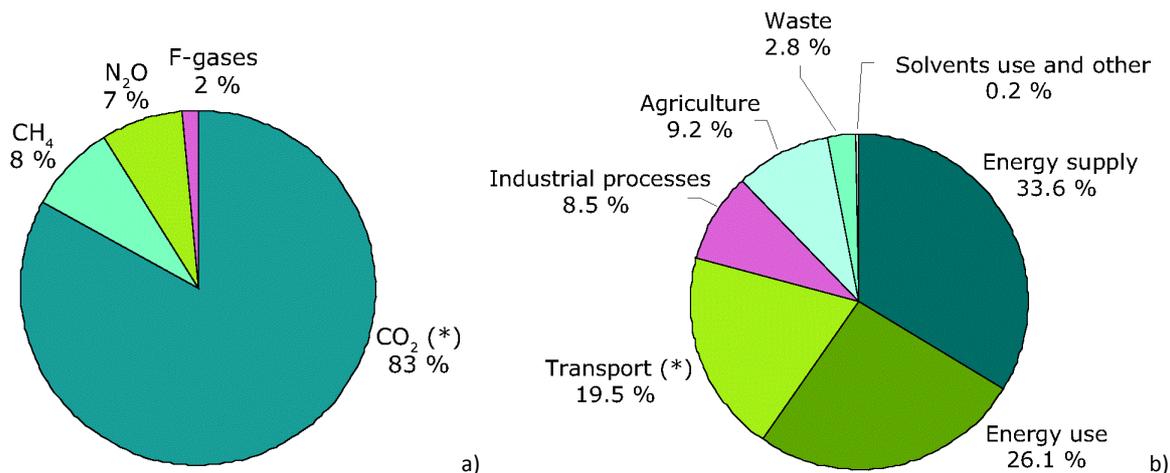


Figura 1 – Gases com efeito de estufa na EU-27 em 2007 por: a) tipo de gás poluente; b) sector de atividade (EEA, 2009).

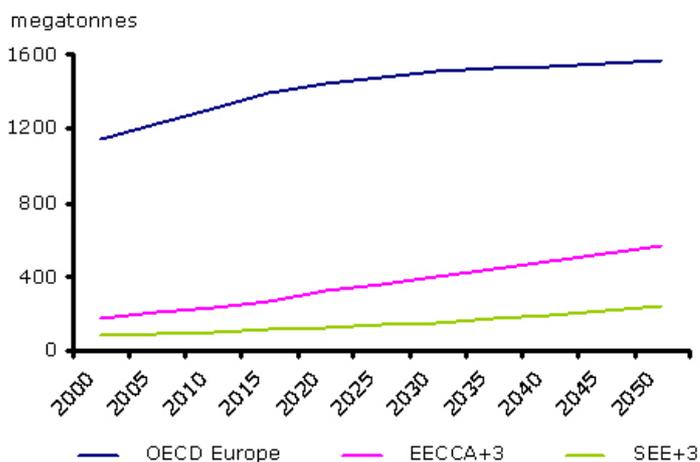


Figura 2 – Projeções do total de emissões de CO₂ para o sector dos transportes rodoviários entre 2000 e 2050 (EEA, 2009).

Além das preocupações ambientais, a eficiência da rede de transportes é um assunto que preocupa governos e diversos setores da sociedade, nomeadamente devido a razões económicas e sociais, em particular nos centros urbanos. Atualmente, além do elevado preço dos combustíveis, as externalidades associadas à emissão de poluentes são cada vez mais

uma preocupação global. Como tal, a mobilidade é uma área onde são necessárias intervenções urgentes a fim de otimizar a eficiência energética e estancar o aumento contínuo das emissões de poluentes para a atmosfera.

As emissões atmosféricas rodoviárias encontram-se intrinsecamente dependentes do tipo de condução, das interrupções de tráfego e dos obstáculos que o veículo tem de ultrapassar. Uma condução que seja caracterizada por constantes variações de velocidade do veículo provoca um aumento tanto do consumo de combustível, como de emissões poluentes para a atmosfera.

Os congestionamentos frequentes nos centros urbanos de média e/ou grande dimensão, além de causarem prejuízos económicos significativos dão origem a fenómenos de ineficiência energética e aumento das emissões de poluentes. O grande volume de tráfego em corredores urbanos afigura-se como um problema importante, contribuindo para a existência de problemas sociais causados pelo stress e alterações ambientais relacionados com as emissões de poluentes pelos veículos. Além disso, o tempo despendido em congestionamentos de tráfego em particular nos centros urbanos é também fator determinante e motivador para que se desenvolvam soluções tecnológicas que minimizem as suas consequências negativas. Em termos económicos, estima-se que exista uma perda anual na União Europeia devido ao tempo perdido e à poluição que o congestionamento de veículos origina de cerca de 100 mil milhões de euros, aproximadamente 1% do PIB da UE (IMTT, 2007).

Devido à sua relevância, os congestionamentos têm sido alvo de estudo e tem especial destaque no Livro Branco dos Transportes (White Paper, 2011). De modo a definir medidas de minimização destes problemas, na última edição deste documento (Março 2011) são enumeradas um conjunto de medidas que visam a redução do número de veículos em circulação e definidas metas de redução de emissões poluentes em 60% até ao ano 2050 (CEE, 2011). Segundo este documento, a restrição à mobilidade não é a solução. O referido documento indica que a solução poderá passar, pelo transporte de maiores volumes quer de mercadorias, quer de passageiros, até ao seu destino final, de forma mais eficiente. A melhoria do desempenho energético dos veículos é também uma prioridade bem como a otimização do funcionamento das cadeias de transporte, designadamente a utilização de modos mais económicos de recursos. Para o transporte de média e longas distâncias, a via terrestre será, segundo a Comissão Europeia, gradualmente substituída por vias ferroviárias e marítimas, o que permitirá a minimização do consumo de energia e do volume de emissões, diminuindo assim o impacte ambiental. No que respeita aos transportes rodoviários urbanos e suburbanos, responsáveis por cerca de um quarto das emissões de CO₂ (CEE, 2011), estes poderão representar um contributo importante na redução das emissões, qualidade do ar e

ruído, pois podem, a curto prazo, receber novas tecnologias que permitam aumentar a sua eficiência.

A utilização mais eficiente do sistema e da infraestrutura de transportes com recurso a sistemas de informação e gestão do tráfego em tempo real (p.e. VMS para o transporte rodoviário; SIT, SafeSeaNet no caso do transporte marítimo, etc.) são também medidas que vão ao encontro das metas pretendidas pela Comissão Europeia de redução do número de viaturas e volume de emissões.

Todos estes fatores conjugados estimulam a análise mais aprofundada do tema desta Dissertação, onde são combinados temas de elevada importância no setor dos transportes como são a utilização de novas tecnologias de informação na gestão das redes rodoviárias para a escolha de rota e o impacte destas tecnologias nos consumos e emissões.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta Dissertação de Mestrado consiste na análise do impacte energético e ambiental da utilização de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) na rede rodoviária da região de Aveiro durante o período de ponta.

Para alcance dos objetivos definidos foi efetuada a microsimulação de tráfego e de emissões para diferentes rotas na cidade de Aveiro. Para a modelação de tráfego utilizar-se-á o modelo VISSIM, e para a estimativa das emissões de poluentes atmosféricas recorrer-se-á à metodologia de cálculo *Vehicle Specific Power* (VSP). A validação e análise do desempenho do modelo de tráfego serão efetuadas com base em resultados experimentais desenvolvidos em estudos prévios (nomeadamente, as Dissertações de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica de Almeida (2010) e de Carvalho (2011). Nesta análise foram avaliados os consumos e emissões de poluentes em veículos ligeiros de passageiros (com motores a diesel e a gasolina) em circulação nas rotas em estudo durante a hora de ponta. No seguimento dos trabalhos referidos, a principal motivação na presente Dissertação foi estudar estratégias de gestão da rede de transportes da região de Aveiro de forma a selecionar rotas cuja eficiência energética seja maior, isto é, verificar qual o percurso onde é obtido um consumo mínimo de combustível e um menor nível de emissões.

Após calibração e validação dos resultados dos modelos usados foram realizadas diversas simulações de incidentes, com e sem a aplicação de ITS. Com estas simulações pretendeu-se estudar o impacte que estes sistemas têm nos consumos e emissões dos veículos em circulação nas rotas e na rede em estudo.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação foi dividida em cinco capítulos. No Capítulo 1 efetua-se o enquadramento do tema, sendo também apresentados os principais objetivos da Dissertação. No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre os principais temas abordados na realização deste trabalho, nomeadamente no que se refere aos sistemas ITS, à escolha de rotas e à microssimulação de tráfego e emissões. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada no decorrer desta Dissertação. Neste capítulo efetua-se a caracterização do domínio em estudo, a descrição da monitorização experimental das rotas, a apresentação da plataforma de modelação de tráfego e emissões, a avaliação dessa plataforma para a situação de referência, e a definição dos cenários em estudo. No Capítulo 4 apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos através da plataforma de simulação para a situação de referência e para os cenários previamente definidos. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, bem como algumas linhas de investigação futura.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados, de forma introdutória, as três principais áreas de estudo da presente Dissertação. Em primeiro lugar são apresentados os desenvolvimentos mais recentes na área dos ITS rodoviários, com destaque para a sua aplicação ao nível da escolha de rotas. De seguida, evidenciam-se alguns fatores que influenciam a escolha de rota por parte de um condutor. Por fim, abordam-se os vários aspetos relacionados com as emissões e a relação que há com a escolha de rota.

2.1. Sistemas Inteligentes de Transportes

O termo Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) refere-se à tecnologia de informação e comunicação aplicados aos transportes e que tem como objetivo a melhoria da gestão da rede de transportes.

Estes sistemas são de elevada importância nomeadamente quando se registam situações de congestionamento de tráfego. Este tipo de problemas tem vindo a aumentar em todo o mundo como resultado do aumento da população mundial e por consequência o aumento do número de veículos em circulação. Esta situação tem vindo a contribuir para o aumento dos tempos de viagem, dos consumos médios de combustível e dos níveis de poluição atmosférica.

A fim de minimizar estas consequências e obter uma melhoria da qualidade de vida estão em marcha estudos de novas tecnologias baseadas em ITS. Alguns exemplos destes ITS são: os painéis de mensagens variáveis; os detetores de intensidade de tráfego; os controladores de sinal; e uma diversidade de *hardware* e *software* que envolvem aplicações de eletrónica para regular e facilitar o fluxo de tráfego dos quais se destacam a comunicação entre veículos (V2V) e a comunicação entre veículos e infraestruturas (V2I). O V2V e V2I são tecnologias sem fios, que utilizam sistemas de comunicação DSRC (Dedicated Short Range Communications) baseada na tecnologia WLAN (Wireless Local Area Network) (<http://www.rohde-schwarz.com>), e que permitem aos veículos próximos comunicarem entre si ou com infraestruturas fixas preparadas para o efeito através de troca de informação, oferecendo assim a oportunidade de melhorias na área da segurança e da qualidade de condução. Contudo, segundo Santa et al. (2007), as comunicações V2V são o principal objeto de investigação atual, uma vez que o sistema V2I já está a ser desenvolvido como solução comercial.

Os sistemas V2V e o V2I são focados principalmente na segurança, isto é, prevenção dos acidentes e no controlo de tráfego (Rilett e Benedek, 1998). Um estudo dirigido por Ericsson (2006) foi efetuado para que tanto o V2I como V2V possam ser usados para comunicar os

tempos de viagem e o início de um congestionamento, permitindo ao utilizador efetuar escolhas baseadas em informação credível e atualizada sendo o consumo mínimo de combustível o principal objetivo. Coelho et al. (2008) indica que o V2V é idealizado para ter um impacte benéfico não só sobre a eficiência do tráfego mas também na segurança rodoviária. Com base na tecnologia V2V é possível usando um veículo do qual se conhecem dados como a velocidade, posição e localização, trocar informações com outros veículos relevantes sobre o trânsito e condições da via. Assim, o sistema pode ajudar o condutor a tomar ações preventivas para evitar ou minimizar situações não previstas na rota inicialmente traçada. Por outro lado, Recker et al. (2008) testaram a confiabilidade no sistema de comunicação entre veículos durante a circulação de tráfego e discutem a propagação dessas informações. Além disso têm sido efetuados testes de alcance da comunicação V2V (Oh et al., 2011) bem como estudo dos intervalos de tempo medidos em determinadas rotas usando esta tecnologia. Hu (2009) estudou o comportamento de condutores com e sem acesso a informação sobre o fluxo de tráfego, sendo que 37% dos condutores presentes neste estudo altera a sua rota devido a informações que recolhe nos ITS. O mesmo autor analisou ainda a aceitação dos condutores aos sistemas inteligentes de escolha de rotas sendo que a informação é bem-vinda desde que seja gratuita ou de valor muito baixo.

Estudos semelhantes foram feitos usando placares eletrónicos. McMillan et al. (2009) concluíram que o uso de placares eletrónicos com informação sobre incidentes em determinada rota, proporciona um melhor desempenho geral na fluidez de tráfego. Outro estudo efetuado na Nova Zelândia, sugere que quanto mais completa for a informação disponibilizada nos placares eletrónicos que se encontram nas autoestradas maior vai ser a aceitação dessa informação por parte dos condutores e como consequência a melhoria da fluidez de tráfego. Informações como a faixa a usar, ou o caminho alternativo a percorrer são benéficas para a fluidez do trânsito (Koorey et al., 2008).

Por outro lado, alguns estudos têm sido desenvolvidos aplicando ITS para avaliação dos impactes ambientais do tráfego rodoviário. Usando uma plataforma de simulação, Mei et al. (2009) estudou o comportamento de veículos com e sem a metodologia V2V para analisar os impactes ambientais de diferentes condições de tráfego. Neste estudo a utilização do *Dynamic Route Diversion* (DRD) permite fornecer ao condutor informações sobre os acidentes ocorridos e estradas alternativas à estrada onde ocorreu o acidente. Com este equipamento foi possível uma redução de combustível de cerca de 9% e uma maior fluidez de mobilidade além da redução de tempo perdido para quem optou por utilizar a via onde estava o acidente. Em relação a emissões totais estas foram reduzidas em aproximadamente 50% devido ao facto de evitar o congestionamento após aviso do sistema.

Também com este objetivo foi efetuado um estudo de modelação de tráfego na cidade da Praia, em Cabo Verde, tendo em conta a inclinação das vias e o peso dos veículos (Tavares

et al., 2008). Neste caso usou-se o *software Geographical Information Systems (GIS) 3D* para simulação do tráfego para fornecer informação de trânsito aos condutores através de um placar eletrónico. Neste estudo registou-se um decréscimo de 8% de combustível quando comparado os veículos que percorreram o percurso mais curto mas com tráfego muito intenso com os que optaram por uma alternativa mais longa mas com menor tráfego.

Os ITS estão a ter o reconhecimento dos utilizadores e a entrar no mercado de forma natural. Estes sistemas utilizam tecnologia de informação e comunicação para promover a melhoria e eficácia das operações da rede de transportes. Atualmente são já usados de diversas formas com os placares eletrónicos, sistema de vídeo vigilância de reconhecimento de acidentes ou incidentes (ex. viaturas em contramão, pessoas presentes nas vias de circulação), e reconhecimento de matrículas de viaturas para cobrança de portagem. Estes sistemas pretendem abranger todos os veículos em circulação através dos sistemas V2V e V2I, onde se valem do uso de tecnologia de informação e comunicação sem fios para fornecer acesso instantâneo a informações de tráfego, interação entre veículos ou infraestruturas e uma ampla gama de serviços que visam a melhoria da segurança e eficiência nas redes. Os sistemas V2V e V2I, englobados nos ITS, ainda se encontram em fase de desenvolvimento. Embora as vantagens da sua implementação sejam muitas, como foi referido anteriormente através do estudo de diversos autores, a sua massificação em veículos convencionais não está ainda prevista. Apesar das inúmeras vantagens destes sistemas, os utilizadores mostram-se hesitantes em investir neles pois o valor prático da relação custo/benefício é desconhecido e os custos significativos de investimento, sobretudo quando o sistema implica instalação de equipamento sofisticado na infraestrutura ou no veículo são, por norma, elevados.

2.2. Escolha de rota

A escolha de rota é influenciada por vários fatores como o tempo de viagem, o custo, a segurança ou a distância a percorrer sendo estes fatores por sua vez dependentes de outros. Conduzir um veículo implica partilha de estradas, ou seja, pode dizer-se que um carro é afetado pelos outros carros que se encontrem na sua vizinhança podendo assim alterar de diversas formas a rota inicialmente programada. Se um elevado número de veículos tentar usar uma determinada rota, essa rota vai ficar congestionada e assim aumentar o tempo de viagem. As características da via como dimensões, iluminação ou número de sinais de trânsito (Abdel-Aty e Abdalla, 2006), a configuração da via, zonas comerciais ou o número de interseções (Zhang e Levinson, 2008) são também apontadas como fatores fundamentais para a otimização do fluxo de tráfego e de escolha de rota.

De acordo com Doherty et al. (2009) os condutores revelam que o tempo é o critério fundamental da escolha de rotas de tráfego. Os mesmos autores dizem que as decisões sobre a rota a seguir tanto podem ocorrer antes do início da viagem, como no decorrer da mesma, em função do fluxo de tráfego. Ahn e Rakha (2008) verificaram que além do tempo, o custo é também um critério importante neste processo de decisão. Segundo Albert et al. (2011), cada indivíduo tem um comportamento diferente no que respeita à escolha de rota, quando se tem disponível a informação relativamente ao tempo estimado da viagem. As zonas por onde passam as vias de tráfego, as características da via e o desgaste que a viagem pode provocar são fatores apontados pelos condutores como determinantes na seleção da rota. O hábito e o estar familiarizado com o caminho são também fatores a ter em conta. Testes efetuados por Papinski et al. (2009) indicam que cerca de 20% dos utilizadores desviam-se da rota inicialmente planeada, principalmente em rotas de curta distância. Em média, o desvio da rota inicialmente programada representa cerca de 44% da distância da viagem. Estes desvios podem ter origem por exemplo em incidentes que obstruam a via, no seu congestionamento, ou na alteração de horários e prioridades.

Segundo Zhang et al. (2008), num estudo efetuado em Minnesota (EUA) a informação que permita poupar tempo na escolha de determinada rota pode ser economicamente valorizada. Este mesmo estudo demonstrou que os utilizadores estavam dispostos a pagar até um dólar para terem a informação do tempo que iriam demorar a percorrer determinado percurso, no entanto estes só estariam dispostos a pagar caso a informação fosse exata. A maioria dos inquiridos (70%) preferia ver essa informação disponibilizada gratuitamente pelo setor público, enquanto 19% acreditam que seria melhor ser o setor privado a vender a informação com um custo associado.

As horas do dia a que se fazem determinadas viagens têm uma influência muito significativa nas características que determinada rota pode ter, quer em termos de tempo gasto, como também ao nível de consumos e emissões, onde a hora de ponta apresenta sempre os piores cenários (Bandeira et al., 2012). Por outro lado, Ahn et al. (2008) analisaram o impacte da escolha de rotas ao nível do consumo de energia e emissão de poluentes. Os resultados demonstram que a escolha da rota mais rápida (neste caso por autoestrada) não é sempre a melhor opção na perspetiva de consumo energético e poluição ambiental devido ao aumento das velocidades médias praticadas neste tipo de via. Contudo, são alcançadas melhorias significativas para a qualidade do ar e redução de consumo, quando os condutores utilizam rotas mais lentas, implicando porém um aumento do tempo de viagem. Na mesma sequência de poupança, Barth et al. (2008) conseguiram uma redução de cerca de 20% em emissões de CO₂ com a adoção de três estratégias numa mesma rota: 1) evitando paragens e consequentes filas de trânsito, 2) usando técnicas de gestão de velocidade, onde todos os veículos circulam a velocidades moderadas e 3) obrigar os veículos a circular à mesma

velocidade permitindo menos travagens e acelerações e conseqüentemente menos emissões.

O tempo e o custo são as principais características a ter em conta quando se opta por determinada rota. Apesar da grande maioria dos condutores ter uma rota previamente definida, há uma percentagem (20%) que opta por alterar as suas decisões, o que se deve a, por exemplo, congestionamento da via. De salientar também que não há uma rota ideal para percorrer um determinado caminho. Esta escolha varia de indivíduo para indivíduo, devido por exemplo aos padrões de condução. As rotas são selecionadas por cada indivíduo de acordo com a sua personalidade sendo que na sua maioria todos colocam o tempo e o custo efetivo da viagem como características primordiais na escolha da rota, minimizando a importância da componente ambiental.

2.3. Microsimulação de tráfego e emissões

Diversos estudos de microsimulação de tráfego e emissões têm sido recentemente desenvolvidos. No Quadro 1 apresenta-se uma síntese dos principais estudos desenvolvidos nesta área.

Quadro 1 - Estudos publicados relacionados com microsimulação de tráfego e emissões.

Referência	Escala			Modelo de tráfego			Modelo de emissões			Incidência	
	Local	Rua	Rede	Vissim*	Paramics	Outros	CMEM	MOVES*	Versit		Outros
Noland e Quddus (2006)	Rede hipotética										Capacidade disponível
Int Panis et al. (2006)	Gent, Bélgica										Limites de velocidade dinâmicos
Kun e Lei (2007)	Beijing, China										Coordenação de semáforos e vias reservadas
Nesamani et al. (2007)	Orange County, Califórnia										Futuras de volumes de tráfego
Ishaque e Noland (2008)	Londres, Reino Unido										Qualidade do ar (concentrações de poluentes)
Boriboonsomsin e Barth (2008)	Califórnia, EUA										Vias de alta ocupação
Mensink e Cosemans (2008)	Gent, Bélgica										Qualidade do ar (concentrações de poluentes)
Huang et al. (2009)	Reino Unido										Trabalhos na via
Zhang et al. (2009)	Beijing, China										Coordenação de semáforos
Barth e Boriboonsomsin (2009)	Califórnia, EUA										Eco condução
Zhang et al. (2011)	Michigan, EUA										Congestionamento
Toledo (2011)	Estocolmo, Suécia										Congestionamento
Madhava et al. (2011)	Antuérpia, Bélgica										Coordenação de semáforos e limites de velocidade
Lv e Zhang (2012)	Rede hipotética										Coordenação de semáforos
Xie et al. (2012)	Carolina do Sul, EUA										Combustíveis alternativos
De Coense et al. (2012)	Rede hipotética										Combustíveis alternativos
Stevanovic et al. (2012)	Rede hipotética										Coordenação de semáforos

* Modelos utilizados no desenvolvimento desta Dissertação

Em resposta ao crescente congestionamento de tráfego e aos níveis de poluição do ar registados nos centros urbanos, Zhang et al. (2009) recolheram e compararam dados de emissões de tráfego na cidade de Beijing, com e sem coordenação de sinalização luminosa recorrendo a um sistema de medição de emissões portátil (PEMS). Neste estudo, analisam-se os níveis de emissão e características do tráfego sob estas duas estratégias de controlo. Além disso, integrando o modelo de simulação microscópica de tráfego VISSIM e a metodologia VSP, o trabalho desenvolve uma plataforma de simulação microscópica integrada das emissões de tráfego, que são utilizadas para avaliar o impacto das duas estratégias de controlo de tráfego, baseadas no tempo do sinal e no fluxo de tráfego. O congestionamento do tráfego ocorre com frequência durante os períodos de hora de ponta e em zonas urbanas, que são responsáveis por uma parcela significativa de emissões de poluentes e impactes (negativos) na qualidade do ar.

Um estudo conduzido por Zhang et al. (2011) compara as emissões em hora de ponta de veículos ligeiros e pesados em congestionamento urbano e suburbano (autoestrada), com condições de fluxo contínuo de tráfego (hora de vazio e em dias de pouco tráfego, caso dos fins de semana e feriados). Neste trabalho foram recolhidos dados segundo a segundo da velocidade e aceleração dos veículos. Os dados recolhidos foram utilizados no modelo CMEM (*Comprehensive Modal Emission Model*) capaz de simular as emissões segundo-a-segundo. Neste estudo, verificou-se que os veículos ligeiros registam um aumento dos níveis de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxido de azoto (NO_x) durante o período de transição, quando o tráfego passou de fluxo “livre” para condições de congestionamento e vice-versa. No que aos veículos ligeiros diz respeito, o menor consumo de combustível e as menores emissões de CO₂ verificaram-se com o congestionamento em zona urbana. Em relação aos veículos pesados, simularam-se congestionamentos em zonas suburbanas onde se verificam que os maiores níveis de consumo de combustível e emissões de CO, HC, e CO₂, enquanto as emissões de NO_x sob as diferentes condições de tráfego eram semelhantes. O congestionamento de tráfego em hora de ponta em zona urbana foi associado a emissões mais elevadas de CO, NO_x e CO₂ (mas não HC).

Ahn e Rakha (2008) recolheram dados segundo-a-segundo de trajetórias usando dispositivos GPS. Com estes dados aplicou-se a metodologia VSP para estudar as taxas de emissão para diferentes tipos de veículos e rotas e análise da influência das diferenças de altitude e inclinações das vias. Estes autores concluíram que numa via sem inclinação podem conseguir-se poupanças de combustível de 15 a 20% quando comparada com uma via com declive (veículo no sentido ascendente).

Adicionalmente têm sido também usadas câmaras de vídeo para registo das características da via, de incidentes de trânsito e dos níveis de congestionamento. Bandeira et al. (2010)

utilizaram diferentes condutores a fim de considerar a influência do comportamento do condutor e da dinâmica do veículo. Este estudo indica que as rotas mais rápidas e menos congestionadas são a melhor alternativa quando o objetivo é a redução dos consumos de combustível e a diminuição de emissões de CO₂. Além disso, concluiu-se que tanto em circuito urbano como suburbano se a rota escolhida for a mais indicada e o estilo de condução for suave e orientado para a poupança de combustível a prática de velocidades baixas mostra ser um dos principais redutores de emissões poluentes. Utilizando os dados de monitorização da dinâmica de veículos recolhidos com o sistema GPS, Almeida (2010) e Carvalho (2011) aplicaram a metodologia VSP para a zona urbana de Aveiro e na ligação interurbana Aveiro-Porto. Estes autores avaliaram o impacte da escolha de rotas em termos de emissões durante as horas de vazio e de ponta respetivamente onde se concluiu que as rotas mais poluentes na hora de vazio também o são em hora de ponta.

3. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida para avaliação do impacto de incidentes de tráfego que usam ITS ao nível dos consumos e emissões rodoviárias. Para isso será comparada a dinâmica de veículos e a estimativa das emissões obtidas através da monitorização da dinâmica de veículos recolhidos por um sistema GPS apresentado por Carvalho (2011), com uma plataforma de modelação de tráfego desenvolvida nesta Dissertação. Para alcançar estes objetivos, em primeiro lugar efetuou-se a caracterização dos trajetos em estudo (Capítulo 3.1). Após referência ao modelo de tráfego (Capítulo 3.2), recolheu-se um conjunto de dados de tráfego de modo a suportar o desenvolvimento de uma plataforma de simulação de tráfego (Capítulo 3.3) e de emissões (Capítulo 3.4). No Capítulo 3.5 apresenta-se a metodologia de avaliação dos resultados obtidos para a situação de referência, através da plataforma de simulação desenvolvida, e no Capítulo 3.6 a definição de cenários para avaliação do impacto ambiental dos ITS. A Figura 3 esquematiza a metodologia desenvolvida.

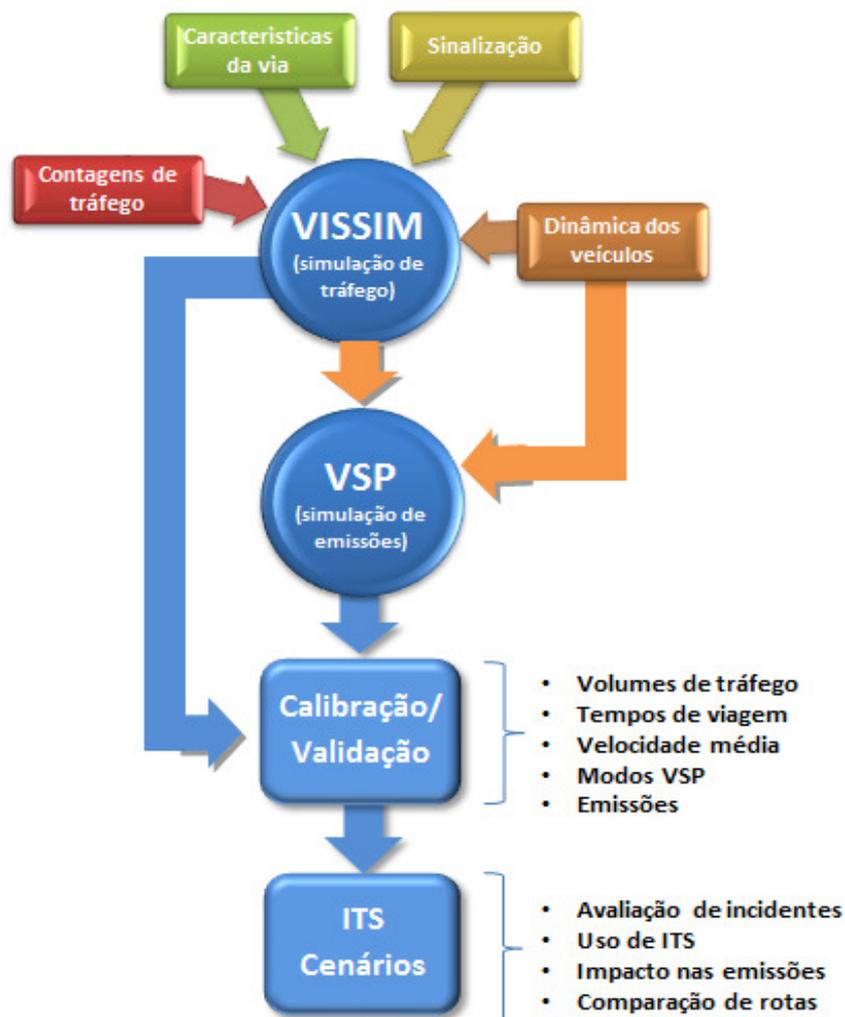


Figura 3 – Fluxograma da estrutura da dissertação.

Para alcançar os objetivos definidos, o trabalho foi organizado em sete tarefas que se distribuem de acordo com o apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Calendarização de tarefas.

Tarefa	Planeamento (2012)						
	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto
1 – Revisão bibliográfica	█						
2 – Recolha de dados experimentais	█						
3 – Modelação de tráfego e emissões		█					
4 – Calibração do modelo de tráfego				█			
5 – Validação e análise estatística dos resultados					█		
6 – Avaliação de cenários com base no uso de ITS						█	
7 - Escrita da Dissertação	█						

Na **tarefa 1** realizou-se uma revisão bibliográfica da literatura técnica sobre sistemas inteligentes de transportes e otimização de rotas com base em microsimulação de tráfego, consumos e emissões. Seguidamente, na **tarefa 2** procedeu-se à recolha e compilação de dados experimentais realizados por Almeida (2010) e Carvalho (2011). Esta tarefa foi complementada pela recolha no terreno de dados relativos a fluxos de tráfego, sinalização rodoviária e características das vias em estudo em pontos-chave do domínio em estudo.

Após a recolha de dados experimentais procedeu-se à conceção da rede usando o modelo de tráfego e emissões de microsimulação (**tarefa 3**). Os resultados obtidos através deste modelo serão calibrados e validados para os volumes de tráfego, tempos de viagem, velocidades de circulação e emissões (**tarefas 4 e 5**). Neste processo de avaliação será efetuada a análise estatística dos resultados do modelo tendo em conta os métodos usualmente usados neste tipo de aplicações. Após validação dos resultados da plataforma de microsimulação de tráfego e emissões, será analisado o impacte do uso de ITS nas emissões atmosféricas quando ocorre um incidente de tráfego numa via de tráfego urbana, suburbana ou autoestrada (**tarefa 6**). A redação da Dissertação decorreu durante todo o período de desenvolvimento (**tarefa 7**).

3.1. Caracterização dos trajetos

No presente estudo as rotas seleccionadas correspondem aos mesmos trajetos efetuados nos trabalhos de Almeida (2010) e Carvalho (2011). Assim, foram definidas três pares origem/destino caracterizados por terem o mesmo ponto de partida e de chegada, a Rotunda do Hospital Infante D. Pedro (Figura 4.a) e a Rotunda da Taboeira (Figura 4.b). Cada uma das três rotas apresenta características próprias, distintas entre si:

- Rota A (RA) (Figura 5.a): corresponde ao percurso efetuado utilizando maioritariamente a autoestrada (A25). Com um percurso de aproximadamente 6,4 km, é a rota mais longa e mais rápida a percorrer. Isto deve-se essencialmente à existência de duas vias de circulação em ambos os sentidos e à velocidade máxima permitida de 120 km.h^{-1} . Neste trajeto, cerca de 55% corresponde a autoestrada, sendo o restante realizado em estrada nacional e urbana. Este percurso não está sujeito a grandes variações de volume de tráfego ou ocorrência de períodos de congestionamento em hora de ponta;
- Rota B (RB) (Figura 5.b): corresponde a um percurso efetuado na sua grande maioria por estrada nacional (N109). É uma rota classificada como “rota intermédia” pelo facto das velocidades médias registadas serem superiores às verificadas no trajeto totalmente urbano (Rota C), mas inferiores às obtidas na Rota A. Tem um comprimento de aproximadamente 6,2 km, com 61% do percurso em estrada nacional onde a velocidade máxima permitida é de 90 km.h^{-1} ;
- Rota C (RC) (Figura 5.c): trajeto realizado em circuito urbano, percorrendo o interior da cidade de Aveiro. É a rota mais curta com 4,2 km, na qual a velocidade máxima permitida é de 50 km.h^{-1} . Em contra partida o tempo de percurso é o mais elevado das três rotas efetuadas.



Figura 4: Origem e destino das rotas em estudo em Aveiro: a) Rotunda do Hospital, e b) Rotunda da Taboeira.

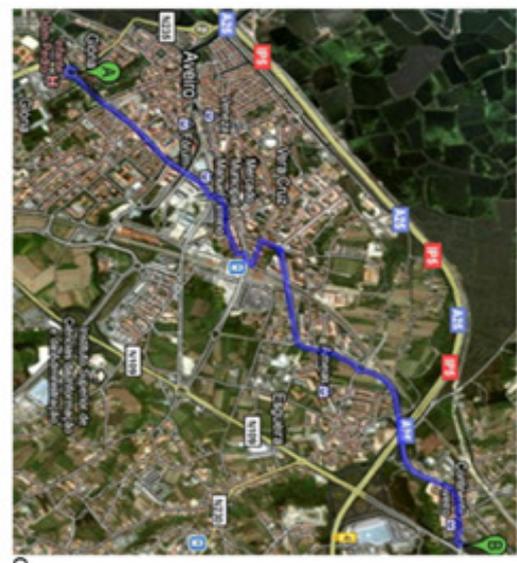
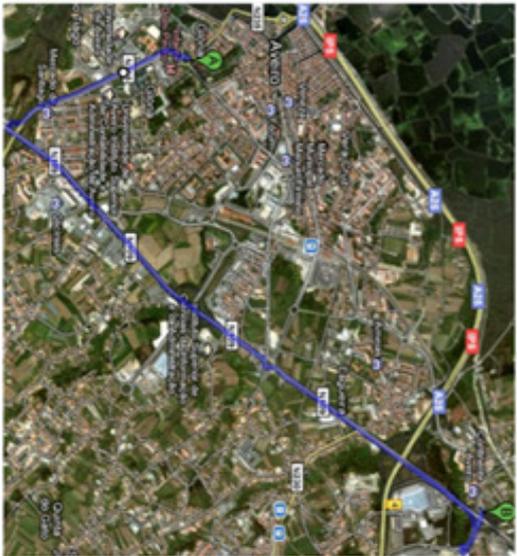


Figura 5: Rotas em estudo: a) Rota A (RA), b) Rota B (RB) e c) Rota C (RC).

Os locais considerados foram estrategicamente selecionados devido à sua importância no que ao tráfego da cidade diz respeito. A rotunda do Hospital é um ponto de entrada na parte sul da cidade de Aveiro, corresponde também à entrada na Universidade e no Hospital Infante D. Pedro. Este local permite ainda a ligação a estradas estruturantes como a Nacional 109 (EN109) e a Nacional 235 (N235). A rotunda da Taboeira é a entrada norte da cidade, permitindo ainda a ligação à zona industrial.

Além da importância que tem na estruturação do tráfego da cidade, é possível com estas ligações origem/destino, perceber as diferenças entre percorrer uma rota urbana e uma rota periférica, quer através de estrada nacional (EN109) e/ou autoestrada (A25). A escolha de rotas com características tão diversas permite comparar o impacte energético e ambiental entre as mesmas.

3.2. Modelação de tráfego

Algumas das aplicações comerciais existentes de modelação microscópica de tráfego incluem novas ferramentas que permitem calcular as emissões dos veículos no meio ambiente. Este é o caso do modelo de simulação VISSIM (versão 5.10) utilizado na presente dissertação, devido à sua capacidade de modelar o domínio em estudo.

O modelo VISSIM foi desenvolvido na Universidade de Karlsruhe (Alemanha) durante a década de 70 (<http://www.ptvag.com/>). A sua distribuição comercial começou em 1993, através da empresa PTV AG. A seleção deste modelo para o desenvolvimento do presente trabalho deve-se ao facto de permitir um elevado detalhe do desenho das vias de tráfego, bem como a extensão e o número de vias que permite intersectar. Este modelo permite ainda definir diferentes parâmetros do comportamento do condutor para diferentes tipos de veículos. Além disso, algumas grandezas físicas como a velocidade, aceleração, taxa de ocupação ou potência são definidas sob forma de distribuição, em vez de um valor fixo, tornando assim, a simulação bastante realista.

A natureza estocástica do tráfego implica a necessidade de fornecer informação variada ao *software*. Assim sendo as características de distribuição da categoria de veículos e comportamento dos condutores (ex. velocidade e aceleração) são indispensáveis para a realização da simulação (PTV, 2008).

Em relação à rede viária, o VISSIM utiliza como parâmetros de entrada dois tipos de dados (Chen e Yu, 2007):

- (i) Dados sobre a infraestrutura de tráfego: onde é necessário identificar o início e fim da via, comprimento e largura, declive da via, e o número de vias;

- (ii) Dados para a simulação do tráfego: fluxo de veículos, regras de prioridade, semáforos e interseções.

Tendo em conta o domínio em estudo descrito no capítulo 3.1, o modelo de tráfego VISSIM foi aplicado para a área de estudo apresentada na Figura 6. Nos próximos subcapítulos descrevem-se os dados de entrada considerados no modelo, bem como os métodos de calibração e validação dos resultados obtidos através desta plataforma de simulação.

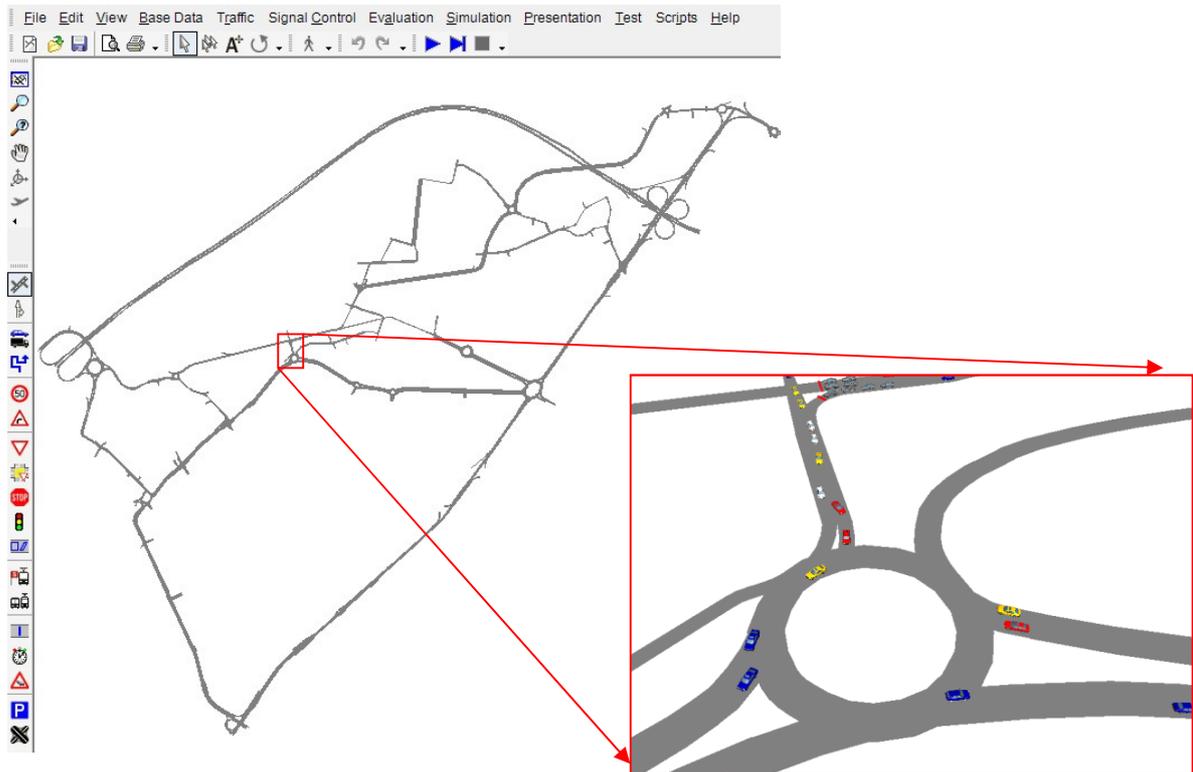


Figura 6 – Vias de tráfego simuladas através do modelo VISSIM.

3.3. Dados de entrada no modelo de tráfego

Para desenvolvimento de uma simulação de tráfego é essencial o conhecimento da rede. Este conhecimento pode ser usado para monitorizar o risco de acidente em determinadas zonas nomeadamente zonas com más condições do pavimento, zonas com velocidades médias excessivas, locais com largura insuficiente das vias de tráfego, entre outras características que podem ser reproduzidas pelo modelo de tráfego. Assim, para a obtenção dos dados necessários para a modelação de tráfego consideraram-se duas fases:

- 1.^a fase: utilização da plataforma do Google Maps para identificação das principais infraestruturas de tráfego das rotas descritas anteriormente (3.1);
- 2.^a fase: realização de trabalho de campo para recolha de informação de tráfego como: volumes de tráfego, matrizes de viragens e temporização de semáforos.

Em conformidade com o estudo apresentado por Carvalho (2011), o período de simulação foi igualmente realizado para a hora de ponta do período da manhã entre as 8:15H e as 9:15H. Este período do dia é quando se regista maior volume de tráfego a circular nas vias em estudo e é quando se registam as maiores limitações das vias no que respeita ao escoamento dos volumes de tráfego (TRB, 2010). Além disso, a hora de ponta é onde se verificam, em geral, aumento das emissões que irão contribuir para a degradação da qualidade do ar (Carvalho, 2011). À semelhança deste estudo prévio, as novas medições realizadas durante a presente Dissertação foram efetuados apenas durante os dias úteis entre terça-feira e quinta-feira, no período de 6 a 8 de Março de 2012. Segundo estudos realizados no domínio em análise o fim de semana regista volumes de tráfego muito diferentes dos dias úteis, sendo a segunda-feira e a sexta-feira são considerados dias atípicos no que respeita a volumes de tráfego durante os dias úteis (Carvalho, 2011).

A recolha de dados experimentais foi efetuada de modo a tornar o processo de simulação o mais real possível. Assim, em cada uma das vias de tráfego em estudo foi realizado um levantamento da sua configuração geométrica e identificados 14 pontos correspondentes a locais estratégicos de entrada e saída de tráfego para recolha de informação relativa à gestão de tráfego (Figura 7). Nestes pontos estratégicos procedeu-se à monitorização de volumes de tráfego, da sinalização vertical e horizontal, da sinalização luminosa e analisaram-se as velocidades permitidas e praticadas. Foram também nestes pontos que se recolheram os dados que permitiram compor as matrizes de viragem. As principais características das diferentes rotas em estudo são descritas no Quadro 3.

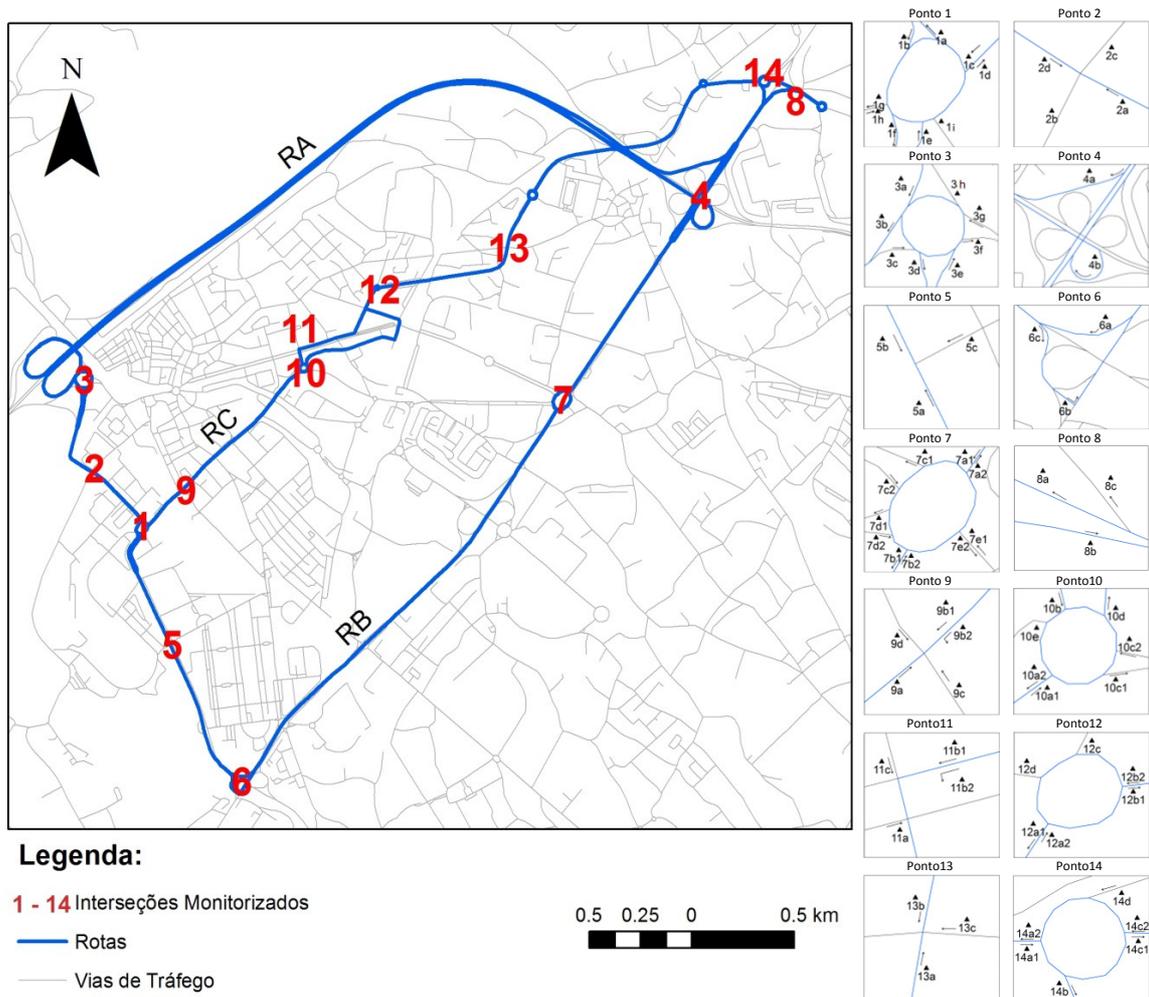


Figura 7 – Localização das rotas selecionadas no domínio em estudo (Aveiro) e localização dos pontos de monitorização.

Quadro 3 - Características das rotas em estudo.

Rota	Distância (km)	Limites de velocidade (km.h ⁻¹)/(% km)	Número de vias (% distância)	Número de interseções:			
				Com semáforos	Com rotundas	Outros	Total
RA (Hospital → Taboeira)	6,9	50 (29%) 70 (13%) 120 (58%)	2 (29%) 4 (71%)	1	4	11	16
RA (Taboeira → Hospital)	5,8	50 (32%) 70 (2%) 120 (66%)	2 (32%) 4 (68%)	1	3	10	14
RB (Hospital → Taboeira)	6,4	50 (66%) 70 (34%)	2 (45%) 4 (55%)	1	5	10	16
RB (Taboeira → Hospital)	5,7	50 (63%) 70 (37%)	2 (39%) 4 (61%)	1	3	8	12
RC (Hospital → Taboeira)	4,3	50 (100%)	4 (60%) 2 (40%)	2	5	15	22
RC (Taboeira → Hospital)	4,1	50 (100%)	4 (60%) 2 (40%)	3	5	15	23

Nos pontos de monitorização 10, 11, e 12 a informação relativa aos volumes de tráfego obteve-se através de informação fornecida pela Câmara Municipal de Aveiro (Soltráfego, 2008). Para os restantes cruzamentos e rotundas o trabalho de campo foi efetuado para cada rota em análise (RA, RB e RC) nos seguintes pontos de monitorização:

- RA: pontos 2, 3 e 4
- RB: pontos 5, 6 e 7;
- RC: ponto 9 e 13.

Os pontos 1, 8 e 14 são comuns às três rotas tendo sido também alvo de monitorização.

Nestes pontos, onde não estava disponível informação, efetuou-se um levantamento exaustivo dos volumes de tráfego em cada direção. Com base nestas contagens, construíram-se matrizes de viragem para cada um dos cruzamentos e rotundas em análise (Anexo I).

Em relação à sinalização luminosa (semáforos) efetuou-se a medição da temporização dos semáforos incluídos no domínio em estudo localizados nos pontos de monitorização 2, 5, 9, 11 e 13. A análise prévia do ciclo permitiu constatar que todos os semáforos em análise eram atuados pelo tráfego. Neste tipo de semáforos não é possível determinar um tempo fixo de ciclo ou mesmo um tempo fixo de sinal verde ou vermelho. Embora seja benéfico ao fluxo de tráfego esta característica não pode ser incluída na modelação do VISSIM pois o atual pacote, disponível na Universidade de Aveiro e utilizado nesta tese, não inclui a ferramenta relativa à sinalização luminosa atuada. Para tal, efetuou-se a monitorização do tempo de ciclo, para cada semáforo, durante seis vezes. Tendo em consideração que durante este período de monitorização não se registaram grandes desvios, o valor adotado no VISSIM corresponde ao valor médio dos valores medidos em cada semáforo monitorizado (Anexo II).

A velocidade permitida e a velocidade praticada numa via de tráfego são outros dos parâmetros que devem ser tidos em conta durante o processo de modelação do tráfego rodoviário. Neste tipo de trabalhos estas velocidades são fatores extremamente importantes pois vão influenciar muito o tempo total de viagem obtido nas simulações. Para esta análise é necessário conhecer os intervalos de velocidade que os automobilistas praticam nas rotas em estudo. A velocidade média aplicada em cada *link* baseou-se na dinâmica de veículo recolhida com dispositivos GPS por Carvalho (2011).

De modo a tornar o cenário mais realista foram ainda consideradas áreas de redução de velocidade que correspondem a curvas de menores raios ou a lombas existentes na rede viária. Refira-se que locais de paragem obrigatória como sinais vermelhos ou sinalização de paragem obrigatória não são abrangidos nestes casos. A redução de velocidade é identificada no modelo como uma zona em que os veículos reduzem a velocidade para um

determinado intervalo de segurança na aproximação de locais que assim o obrigam, como por exemplo escolas, pontes, lombas, etc.. Para o cálculo da velocidade de circulação (V_C), em cada uma destas zonas foi usado o método proposto pela AASHTO (1994) através da seguinte equação:

$$V_C = \sqrt{127,4021 R (s + f)} \quad [1]$$

Onde:

V_C : velocidade de circulação (km.h^{-1});

R: raio interior da curva (m);

s: sobrelevação (m.m^{-1});

f: coeficiente de fricção lateral.

Os raios interiores de cada curva (R), correspondentes às áreas onde se pretende efetuar as reduções de velocidade, foram calculados através da ferramenta ArcGIS. No que respeita ao coeficiente de sobrelevação (s), assumiu-se o valor -0,02 quando se trata de velocidades adotadas no interior de rotundas e o valor 0,02 nos restantes casos (AASHTO, 1994). O coeficiente de fricção lateral (f) foi determinado com base nos dados do Quadro 4:

Quadro 4 – Coeficiente de fricção lateral (f) em função da velocidade (km.h^{-1}) (TRB, 2010).

Velocidade (km.h^{-1})	Coeficiente de fricção lateral f
30	0,20
40	0,18
50	0,16
60	0,15
70	0,15
80	0,14
90	0,14
100	0,13
120	0,11

Com base na velocidade de circulação (V_C) determinou-se o valor da desaceleração que a viatura terá de ter para atingir as velocidades pretendidas. Para isso utilizaram-se os perfis de velocidade da Figura 8, definidos por Akçelik e Besley (2001).

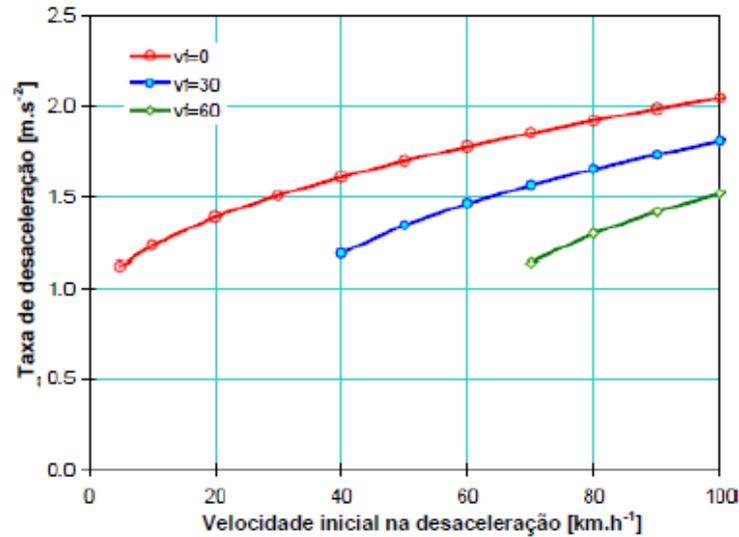


Figura 8 – Taxa de desaceleração ($m.s^{-2}$) em função da velocidade inicial na desaceleração ($km.h^{-1}$) (Akçelik e Besley, 2001).

Esta metodologia foi aplicada em 225 pontos do domínio. A título de exemplo, são apresentados três zonas com reduções de velocidade correspondentes às principais entradas da cidade, nomeadamente a entrada norte, entrada sul e a rotunda do Hospital (Figura 9). Nestes locais pode verificar-se que as reduções aplicadas foram realizadas não só no interior das rotundas, mas também nas vias que lhe dão acesso. No Anexo III podem ser consultados os valores obtidos através da aplicação desta metodologia para os principais pontos de monitorização apresentados previamente. Tendo em conta os valores obtidos de redução de velocidade e as velocidades observadas durante o período de monitorização nestes locais, foi definido no VISSIM um intervalo de velocidades mínimo e máximo que os veículos poderão adotar.

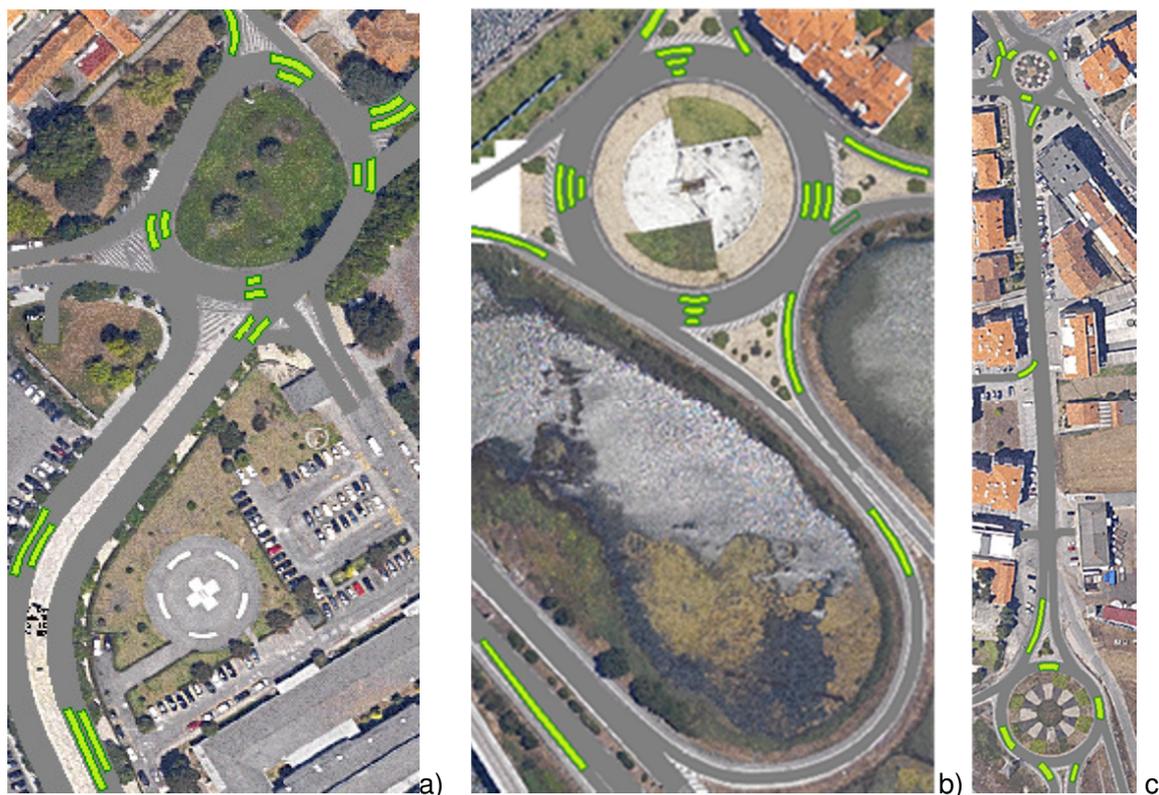


Figura 9 – Exemplos da localização da implementação de reduções de velocidade no modelo VISSIM: a) Rotunda do Hospital (Ponto 1); b) Rotunda das Pirâmides (Ponto 3); e c) entrada Norte da cidade de Aveiro (Rotunda da Taboeira (ponto 14) e Rotunda Olho d'Água).

Para além da velocidade considerou-se ainda o nível de agressividade imposta na condução. O comportamento de condução no VISSIM é passível de alteração, o que implica diferentes modos de condução, quer no seguimento de um veículo, mudança de via de circulação, tempo de aceitação da ação, ou na abordagem a um semáforo. Na presente Dissertação o nível de agressividade considerado foi de 20%, valor selecionado no seguimento de uma análise de sensibilidade ao modelo, tendo sido realizadas diversas simulações de tráfego com níveis de agressividade diversos. O valor escolhido foi o que mais aproximou a modelação ao observado no trabalho de campo realizado, por exemplo, em relação ao número de veículos a entrar numa rotunda num determinado intervalo de tempo.

3.4. Modelação de emissões e consumos

O cálculo de emissões depende de inúmeros fatores, entre os quais se destacam as características dos veículos, o tipo de combustível e a agressividade do condutor. Assim, à semelhança do trabalho desenvolvido por Carvalho (2011), na presente Dissertação, as emissões foram calculadas para os veículos ligeiros de passageiros a gasolina e gasóleo. Nesta análise consideram-se os óxidos de azoto (NO_x), os hidrocarbonetos (HC) e o

monóxido de carbono (CO) como poluentes locais. Adicionalmente considerou-se ainda o dióxido de carbono (CO₂) como poluente global o qual se relaciona linearmente com os consumos energéticos do veículo. Nas rotas em análise as emissões foram calculadas para ambas as propulsões (gasolina e gasóleo) segundo-a-segundo.

Para a estimativa das emissões neste trabalho utilizou-se uma metodologia baseada na potência específica do veículo (VSP) e que tem como finalidade estimar as emissões segundo-a-segundo (Coelho et al., 2009). O parâmetro VSP calcula-se da seguinte forma (Coelho et al., 2009):

$$VSP = v[1,1a + 9,81 \times \sin \times (\arctan(g)) + 0,132] + 0,000302v^3 \quad [2]$$

Onde:

VSP: potência específica do veículo em kW.ton⁻¹;

v: velocidade instantânea em m.s⁻¹;

a: aceleração instantânea em m.s⁻²;

g: inclinação instantânea da via em %.

Calculada a potência específica em cada segundo, é necessário agrupar os valores em modos, os quais se diferenciam entre si através da sua taxa de emissão média. Assim sendo existem 14 modos VSP com diferentes fatores de emissão para veículos ligeiros a gasolina (Quadro 5) e veículos ligeiros a gasóleo (Quadro 6). Os fatores de emissão usados, correspondem a um veículo ligeiro de passageiros, típico do parque automóvel português.

Quadro 5 - Modos VSP e fatores de emissão (NO_x, HC, CO e CO₂) para veículos a ligeiros de passageiros a gasolina (USEPA, 2002) .

Modo VSP	VSP (kW.ton ⁻¹)	Fatores de Emissão (g.s ⁻¹):			
		NO _x	HC	CO	CO ₂
1	VSP < -2	0,0009	0,004	0,0078	1,6711
2	-2 <= VSP < 0	0,0006	0,003	0,0039	1,458
3	0 <= VSP < 1	0,0003	0,004	0,0033	1,1354
4	1 <= VSP < 4	0,0012	0,0004	0,0083	2,2333
5	4 <= VSP < 7	0,0017	0,0005	0,011	2,9199
6	7 <= VSP < 10	0,0024	0,0007	0,017	3,5253
7	10 <= VSP < 13	0,0031	0,0008	0,02	4,1075
8	13 <= VSP < 16	0,0042	0,001	0,0292	4,635
9	16 <= VSP < 19	0,0051	0,0011	0,0355	5,1607
10	19 <= VSP < 23	0,0059	0,0014	0,0551	5,6325
11	23 <= VSP < 28	0,0076	0,0021	0,1138	6,5348
12	28 <= VSP < 33	0,0121	0,0034	0,2076	7,5852
13	33 <= VSP < 39	0,0155	0,0049	0,4418	9,0242
14	39 <= VSP	0,0179	0,0109	0,8823	10,0884

Quadro 6 – Modos VSP e fatores de emissão (NO_x, HC, CO e CO₂) para veículos a ligeiros de passageiros a gasóleo (USEPA, 2002).

Modo VSP	VSP (kW.ton ⁻¹)	Fatores de Emissão (g.s ⁻¹):			
		NO _x	HC	CO	CO ₂
1	VSP < -2	0,001294	0,000135	0,00003	0,206
2	-2 ≤ VSP < 0	0,002623	0,000113	0,00007	0,608
3	0 ≤ VSP < 1	0,003377	0,000112	0,00014	0,728
4	1 ≤ VSP < 4	0,006047	0,000117	0,00025	1,504
5	4 ≤ VSP < 7	0,009364	0,000198	0,00029	2,343
6	7 ≤ VSP < 10	0,012533	0,00023	0,00069	3,287
7	10 ≤ VSP < 13	0,015481	0,000236	0,00058	4,2
8	13 ≤ VSP < 16	0,017818	0,000233	0,00064	4,936
9	16 ≤ VSP < 19	0,021316	0,000242	0,00061	5,574
10	19 ≤ VSP < 23	0,032526	0,000277	0,00101	6,262
11	23 ≤ VSP < 28	0,055746	0,000367	0,00115	7,396
12	28 ≤ VSP < 33	0,083511	0,000405	0,00096	8,757
13	33 ≤ VSP < 39	0,096899	0,000396	0,00077	9,866
14	39 ≤ VSP	0,100746	0,000422	0,00073	10,361

Os modos VSP estão diretamente associados ao comportamento da viatura e ao seu desempenho (Coelho et al., 2009). Assim, devido ao decréscimo de emissões do primeiro para o terceiro modo, os modos um e dois correspondem a acelerações negativas (travagens – VSP negativo) ou descidas, e o modo três corresponde a situações de velocidades reduzidas ou pára-arranca. Nos restantes modos (5 a 14) há um aumento de emissões o que se traduz em maiores velocidades e acelerações.

Os resultados das emissões obtidos na presente Dissertação e estimados com base no modelo de microsimulação de tráfego serão comparados com os resultados obtidos com base na recolha da dinâmica de veículos usando dispositivos GPS (Carvalho, 2011). Estes resultados serão comparados para as três rotas previamente definidas: RA, RB e RC.

3.5. Avaliação dos resultados do modelo

Diferentes metodologias de avaliação têm sido recomendadas e desenvolvidas para várias áreas, contudo os parâmetros analisados são diferentes de acordo com as disciplinas em estudo. No caso dos modelos de microsimulação de tráfego, a revisão bibliográfica indica que não existem procedimentos universalmente aceites para a calibração e validação de redes complexas de transportes (Zhang e Levinson, 2003). A responsabilidade recai sobre o modelador na implementação de um procedimento adequado, que ofereça um nível aceitável de confiança dos resultados do modelo. Assim, o objetivo deste processo consiste na obtenção da melhor correspondência possível entre os valores estimados pelo modelo e os valores monitorizados durante as medições de campo.

Durante a validação do modelo VISSIM, os fluxos de tráfego, os tempos de viagem e as velocidades médias foram comparados com os valores observados no terreno. Este processo de comparação permite verificar se as diferenças entre os valores observados e estimados se encontravam dentro dos níveis aceitáveis de variabilidade.

Para avaliação dos resultados do modelo considerou-se que o número de simulações em relação ao período da hora de ponta da manhã foi igual a 15. Este valor foi estimado através do método sugerido por Hale (1997), no qual a variância das amostras provenientes de um número preliminar de simulações é comparada para um intervalo de confiança baseado na distribuição t-Student no qual se obtém o erro verificado na modelação face aos volumes de tráfego. Segundo Hale (1997) o número mínimo de simulações varia usualmente entre 10 e 20.

A avaliação dos fluxos de tráfego foi efetuada para os 14 pontos referidos anteriormente (Figura). Para avaliação dos resultados deste parâmetro aplicou-se o erro quadrático médio (RMSE) e o GEH. O RMSE permite comparar os volumes de tráfego registados durante um período de monitorização com os volumes estimados pelo modelo de tráfego (Systematics, 2010). Por outro lado, a fórmula empírica desenvolvida por Geoffrey E. Havers (GEH) é dada por Crossing (2006):

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m-c)^2}{m+c}} \quad [3]$$

Onde:

GEH: índice de Geoffrey E. Havers;

m : volume de tráfego simulado;

c : volume de tráfego observado.

Os valores de GEH podem ser avaliados através do seguinte critério:

GEH < 5: o fluxo de tráfego é considerado bom;

5 < GEH < 10: o fluxo de tráfego necessita de ajuste;

10 < GEH: o fluxo de tráfego não pode ser considerado.

No que concerne aos tempos de viagem e à velocidade de circulação, a avaliação do número mínimo de veículos de teste necessários (N_{MIN}) foi determinada através da equação 4 (Dowling et al., 2004). Esta equação utiliza a média e o desvio padrão de uma amostra e permite obter um número de simulações para determinados níveis de tolerância:

$$N_{MIN} = \left(2 \times t_{\alpha, n-1} \frac{s}{r} \right)^2 \quad [4]$$

Onde:

N_{MIN} : número mínimo de simulações necessárias;

$t_{\alpha, n-1}$: valor crítico da distribuição do t Student para um intervalo de confiança $1-\alpha$;

r : intervalo de confiança a 95%;

s : desvio padrão da amostra.

Outro dos parâmetros de validação corresponde à distribuição dos modos VSP. De modo a comparar os valores observados e estimados, a análise gráfica desta distribuição apresentam barras de erro incluídos num intervalo de confiança de 95% na distribuição de T-student. Os valores de emissões, observados e estimados, por veículo e por rota foram também comparados. Nesta análise dividiram-se os veículos a gasolina e a gasóleo.

3.6. Definição de cenários

Após calibração e validação dos resultados do modelo de tráfego e emissões para a situação de referência, definiram-se diversos cenários de modo a avaliar a ocorrência de incidentes nas três rotas predefinidas. Com estes cenários pretende-se estudar eventuais problemas que possam afetar a rede (ex: acidentes, obras, etc.) e simular a importância da utilização dos ITS, nas rotas em estudo, mas também o impacte em toda a rede de tráfego.

Assim, pretende-se avaliar as vantagens/desvantagens que um condutor possa obter relativamente ao tempo de viagem e emissões/consumos, tendo possibilidade de acesso a informação relativa a cada uma das rotas, nomeadamente à ocorrência de incidentes.

Com base no cenário de referência (as três rotas previamente definidas com um fluxo de trânsito normal em hora de ponta da manhã e sem qualquer incidente), definiram-se três cenários para avaliação da utilização do ITS, nos três tipos de vias de tráfego referenciadas. Estes cenários localizam-se nas vias de tráfego do sentido de tráfego Norte-Sul, correspondente às principais entradas da cidade durante o período em análise. Os cenários simulados foram os seguintes:

- Cenário 1 – Simulação de um incidente na A25 (RA) durante 15 minutos (900 segundos). Neste caso simulou-se uma obstrução da totalidade da via de trânsito durante 9 minutos (540 segundos) e a obstrução parcial da mesma via de trânsito durante os 6 minutos seguintes (360 segundos). Para este cenário analisaram-se quatro alternativas à via onde ocorre o incidente;
- Cenário 2 – Simulação de um incidente na Estrada Nacional N109 (RB). Neste cenário é efetuado o corte total da via de trânsito durante 7,5 minutos (450 segundos). No presente cenário optou-se por duas alternativas à via do incidente.

- Cenário 3 – Simulação de um incidente no centro da cidade (RC) durante 13,5 minutos (810 segundos). Neste cenário é efetuada a simulação do corte total de uma via com duas faixas de acesso à avenida principal da cidade (avenida Dr. Lourenço Peixinho) durante 9 minutos (540 segundos) que posteriormente é desobstruída, mas onde uma das faixas continua encerrada devido à imobilização de um veículo durante os 4,5 minutos seguintes (270 segundos). Neste cenário foram propostas duas alternativas à via do incidente.

Em cada cenário a rede de tráfego foi estudada nas seguintes vertentes:

- i) ausência de informação relativa ao incidente;
- ii) informação relativa à localização do incidente;
- iii) informação relativa à localização do incidente e sugestão da rota de desvio alternativa com base nas emissões de gases atmosféricos

A sugestão da rota alternativa acontece com intervalos de cinco minutos tendo como critério de avaliação a menor emissão/consumo nas alternativas disponíveis.

O critério de avaliação usado para comparação das vias alternativas ao incidente foram o CO₂ e o NO_x. A escolha do CO₂ deve-se ao facto de, na área dos transportes, este ser o poluente de maior impacto ao nível do efeito de estufa. Além disso, este GEE é também um importante indicador dos consumos energéticos dos veículos. A escolha do NO_x deveu-se a este causar uma variedade de impactos na saúde humana nomeadamente efeitos negativos no sistema respiratório (aumenta a sensibilidade à asma e bronquite), bem como à sua capacidade em criar *smog* (névoa de poluição) (Mattos, 2001).

Ao disponibilizar informação sobre as rotas alternativas, pretende-se que os condutores adotem a alternativa com menor impacto ambiental. Assim, para cada uma das situações definiram-se alternativas que permitissem a deslocação entre a zona norte da cidade e a zona sul. Considerou-se a rotunda do Hospital Infante D. Pedro como término de todas as alternativas.

As quatro alternativas consideradas ao incidente, definidas para o cenário 1, encontram-se referenciadas na Figura 10. As alternativas 1 e 2 são maioritariamente efetuadas pelo interior da cidade (a alternativa 1 corresponde à rota RC), ao contrário da alternativa 4 (corresponde à rota RB) onde se circula maioritariamente por estrada nacional (EN109). A alternativa 3 regista uma distribuição equitativa, sendo cerca de 50% urbana e 50% por estrada nacional.

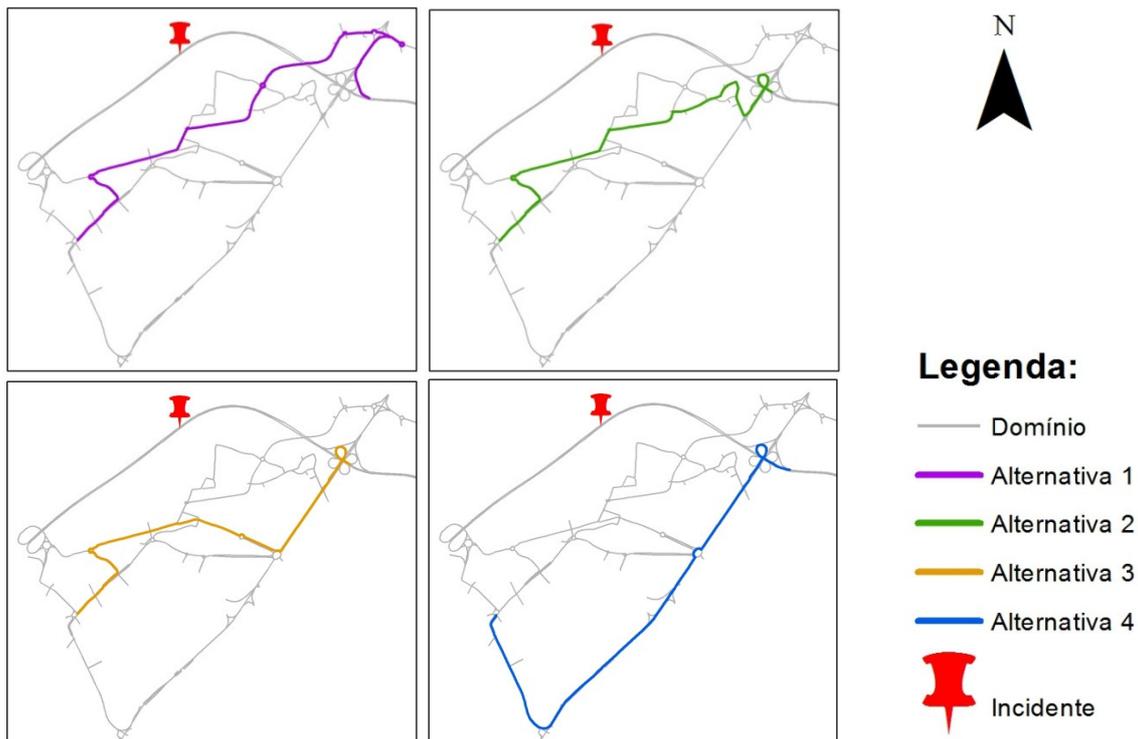


Figura 10 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 1.

Na Figura 11 são apresentadas as duas alternativas consideradas ao incidente do cenário 2. As alternativas 1 e 2 são muito semelhantes no tempo e no trajeto em estrada nacional e interior da cidade, com a particularidade da alternativa 2 passar pela principal avenida da cidade de Aveiro (Av. Doutor Lourenço Peixinho).



Figura 11 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 2.

Na Figura 12 são apresentadas as duas alternativas consideradas ao incidente do cenário 3. Na 1 os veículos circulam cerca de 85% por via urbana e 15% por estrada nacional. Na alternativa 2 verifica-se o inverso, 85% da rota é por estrada nacional e apenas 15% é efetuado por via urbana (com passagem pela principal avenida da cidade).

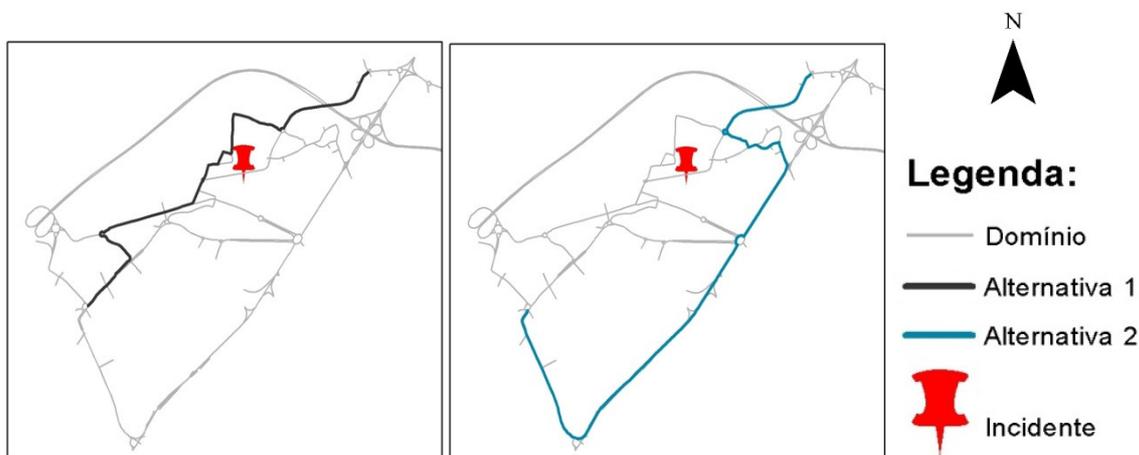


Figura 12 - Alternativas referentes ao incidente do cenário 3.

Todos os cenários foram simulados durante um período total de 3600 segundos. Considerou-se que a partir dos 1000 segundos, a rede de tráfego já se encontra estabilizada. Após este período é efetuada a avaliação do incidente. Em cada cenário, o incidente tem uma duração aproximada de 900 segundos.

A avaliação do impacto dos ITS tem início no momento em que se dá o incidente e prolonga-se durante os 30 minutos seguintes (1800 segundos).

A modelação do incidente usando ITS foi realizada com base em duas situações: com e sem sugestão de rota alternativa. No caso de existir sugestão de rota alternativa, quando se dá a ocorrência do incidente o sistema ITS fornece informação ao condutor sobre a melhor das rotas.

A seleção dessa rota tem por base a análise do total das emissões para o gás em estudo (CO_2 ou NO_x) durante os 180 segundos (5 minutos) anteriores à ocorrência do incidente. Este sistema de informação será, a partir deste momento, atualizado a cada 5 minutos tendo em conta a menor emissão nas diversas rotas alternativas disponíveis em cada cenário (Figura 13).

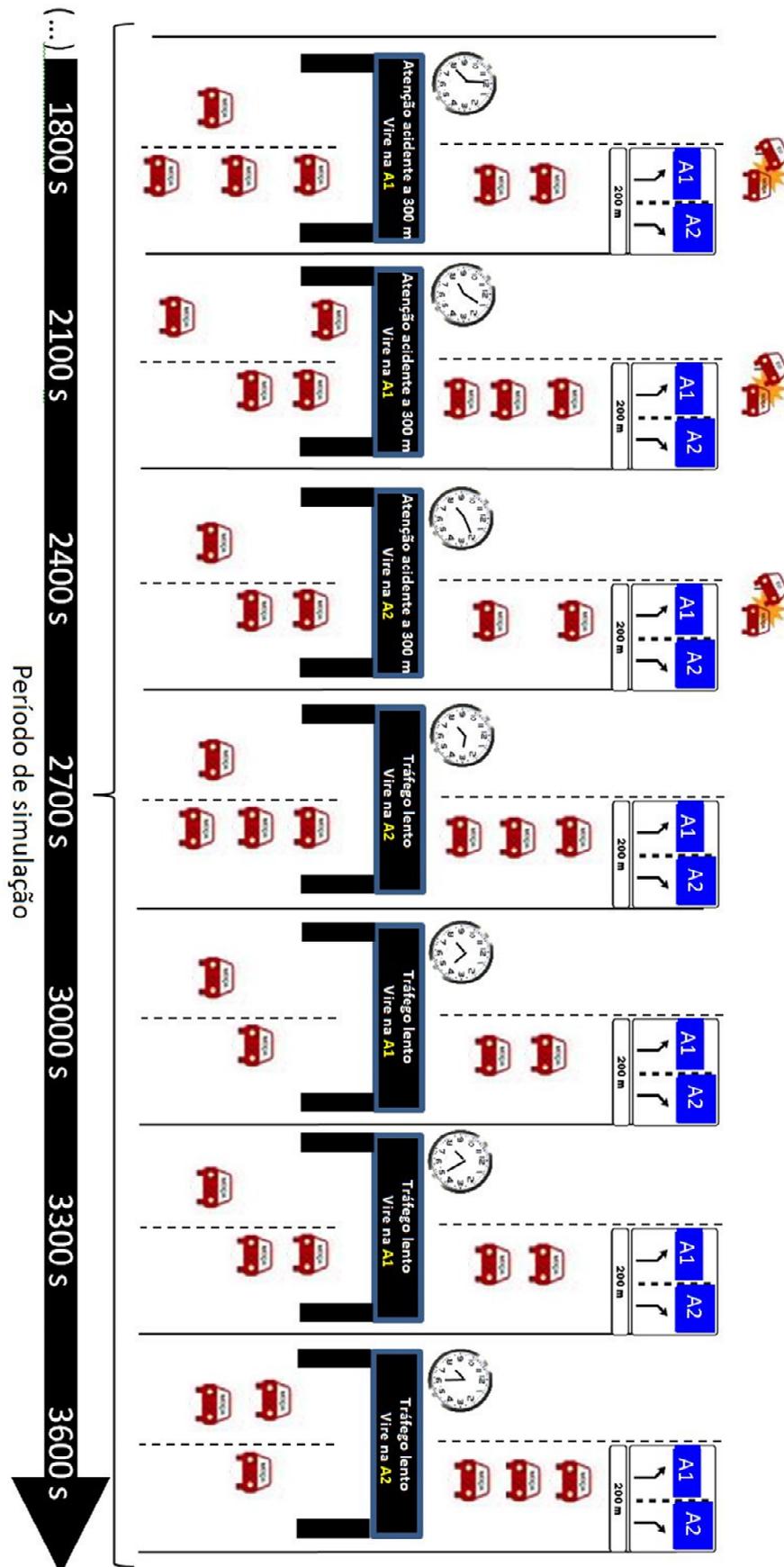


Figura 13 - Exemplo relativo aos intervalos estudados e informações fornecidas durante a avaliação de um cenário considerando duas rotas alternativas, A1 e A2.

A avaliação dos resultados do impacto do uso de ITS foi efetuada ao nível do comprimento das filas e ao nível dos consumos e emissões. Com esta metodologia pretende-se comparar os tempos de viagem e emissões dos veículos com e sem informação aos condutores acerca do incidente através do uso de placares eletrónicos, ou de um sistema GPS integrado nos veículos.

No que respeita à avaliação do comprimento das filas e do número de “para-arranca” foi usada uma funcionalidade do VISSIM denominado *Queue Counters*. Este “contador” foi colocado na via modelo a aproximadamente 500 metros do incidente, permitindo assim retirar informações importantes (valores médios e máximos) relativas às filas que se formaram devido ao incidente e calcular o número de “para-arranca” efetuados pelos veículos integrados nas filas.

Complementarmente, para avaliação dos consumos e emissões usaram-se duas fases distintas: em primeiro lugar foi efetuada uma avaliação global dos resultados ao fim de 30 minutos de simulação do incidente; em segundo lugar realizou-se uma avaliação mais detalhada dos resultados que permitiu avaliar o impacto da escolha de rota usando ITS a cada 5 minutos da simulação do incidente.

Para análise global dos resultados de emissões obtidos, na primeira fase de avaliação consideraram-se três situações:

- 1.^a Situação modelada sem utilização de ITS: total ausência de informação ao condutor durante a ocorrência do incidente;
- 2.^a Situação modelada com adoção de ITS mas sem sugestão de rota alternativa: fornecimento de informação ao condutor durante a ocorrência do incidente, impedindo-o do uso da via onde este ocorre. Nesta situação os valores de viragem para vias alternativas à via onde ocorreu o incidente mantêm-se iguais à matriz definida para o cenário de referência (situação sem incidente);
- 3.^a Situação modelada com adoção de ITS e sugestão de rota alternativa: fornecimento de informação ao condutor durante a ocorrência do incidente, impedindo-o do uso da via onde este ocorre. Adicionalmente, a cada 5 minutos é fornecida informação ao condutor da rota alternativa mais adequada, o que implica alteração da matriz de viragem para vias alternativas à via onde ocorreu o incidente.

Nesta primeira fase de avaliação, as três situações anteriormente referidas são comparadas com a situação referência que não inclui qualquer incidente. Em cada cenário são analisados os tempos de viagem e emissões. A análise do impacto é realizada individualmente para as rotas alternativas ao incidente e paralelamente o impacto em todo o domínio (vias modeladas da rede viária da cidade de Aveiro).

Na segunda fase a análise do impacto centrou-se apenas na situação onde é usado ITS e sugestão de rota alternativa (3.^a situação da primeira fase). Neste caso compararam-se, entre si, as rotas alternativas disponíveis em cada cenário. Apresentando-se, a cada 5 minutos de simulação, a variação percentual das emissões de todas as rotas alternativas face à melhor das mesmas. Com isto pretende-se analisar detalhadamente a informação prestada pelo ITS.

A avaliação nos diversos cenários ao nível das emissões foi realizada para o NO_x, o HC, o CO e o CO₂. Embora se esteja a tentar minimizar o impacte de um único poluente (CO₂ ou NO_x), pretende-se perceber o impacte dessa minimização nos restantes poluentes.

4. Apresentação e discussão de resultados

Neste capítulo será efetuada a comparação geral dos resultados obtidos por Carvalho (2011) baseados na monitorização dos veículos com sistemas GPS com os resultados obtidos nesta tese através da plataforma de simulação desenvolvida no modelo VISSIM. Em primeiro lugar, serão apresentados e discutidos os resultados da avaliação do modelo para a situação de referência. Neste processo, serão analisados os fluxos de tráfego, os tempos de viagem, as velocidades de circulação, a distribuição das frequências modais VSP, e as emissões. Numa segunda fase serão apresentados e discutidos os resultados para os vários cenários definidos, tendo em conta a utilização, ou não, de ITS. Os resultados apresentados são referentes à hora de ponta de um dia útil.

4.1. Avaliação do modelo para a situação de referência

A avaliação dos fluxos de tráfego apresenta valores bastante satisfatórios, verificando-se que os volumes de tráfego estimados são muito próximos dos observados (Quadro 7). Nesta análise, salienta-se apenas um desvio maior relativamente ao ponto 14 localizado junto à rotunda da Taboeira. Embora os resultados relativos a este ponto estejam dentro dos parâmetros de aceitação definidos pela metodologia GEH, verifica-se que os valores apresentam uma diferença significativa. Destaca-se que a diferença de valores nesse ponto foi intencional, pois é um ponto de entrada numa rotunda, onde se verifica, na realidade, algum nível de perigosidade para entrar (não são respeitadas distâncias de segurança) e ao mesmo tempo há maior tolerância por parte dos condutores que circulam dentro da rotunda para deixar entrar. Como não é possível reproduzir esta realidade na plataforma de modelação, optou-se por diminuir (aproximadamente 18%) o fluxo de viaturas o que permitiu retratar mais fielmente o tamanho das filas que se formam na entrada para a rotunda e os tempos de circulação na rotunda.

Quadro 7 – Resultados da avaliação dos fluxos de tráfego simulados, em hora de ponta.

Ponto de contagem *	Fluxo de tráfego horário, em hora de ponta:			
	Observado	Estimado (95% IC)	RMSE (%)	GEH
1	672	673 (6)	2,64%	0,05
2	963	973 (5)	1,61%	0,30
3	796	797 (6)	2,37%	0,02
4	738	756 (6)	3,13%	0,67
5	904	965 (12)	6,58%	1,99
6	240	251 (2)	3,18%	0,72
7	1808	1783 (9)	1,87%	0,59
8	344	336 (6)	3,13%	0,46
9	468	466 (5)	3,21%	0,08
10	504	492 (6)	4,36%	0,53
11	748	754 (5)	1,26%	0,20
12	520	525 (3)	2,15%	0,21
13	496	489 (5)	3,87%	0,34
14	360	294 (5)	19,62%	3,65

* Os pontos de contagens podem ser consultados na Figura 7.

Após a avaliação dos fluxos de tráfego foram usados carros teste no modelo de microsimulação de tráfego para avaliação dos tempos de viagem (em segundos) e as velocidades praticadas (em km.h^{-1}) nas rotas em estudo. De salientar que as simulações realizadas permitem a recolha de um conjunto elevado de dados que permite uma melhor perceção dos intervalos que se querem comparar.

A análise dos tempos médios de viagem em cada trajeto indica algumas diferenças entre os valores observados e os simulados (Quadro 8). A maior diferença de tempo médio regista-se na rota efetuada pelo interior da cidade (RC) onde os fluxos de tráfego podem variar devido a diversos fatores, tais como o maior número de cargas e descargas, ocorrência de incidentes nas vias alternativas, fatores climatológicos, eventos desportivos/culturais entre outros. No trajeto RA, em particular no sentido Taboeira→Hospital, é onde se verifica a maior amplitude entre os valores mínimos e máximos dos tempos de viagem estimados. Neste caso, na simulação verificam-se dois pontos onde existe uma perda acentuada de tempo devido à

grande aglomeração de veículos: na entrada para a rotunda de Taboeira e no cruzamento semaforizado junto ao pavilhão do Beira-Mar (uma das principais entradas na Universidade de Aveiro), pelo que se pode explicar este “atraso” em relação às medições reais.

Em relação às velocidades médias de cada trajeto as diferenças verificadas também se encontram dentro dos padrões aceitáveis definidos pela metodologia GEH (Quadro 8). A rota com maior diferença é a rota RB, sentido Hospital→Taboeira, que regista um elevado de tempo de congestionamento devido à grande quantidade de veículos em circulação no referido trajeto, o que implica circulação a velocidades baixas e conseqüentemente redução da velocidade média do trajeto.

Quadro 8 - Resultados da avaliação dos tempos de viagem e velocidades médias simuladas, em hora de ponta.

Rota	N (N _{MIN})	Tempo de viagem (s)			Velocidade média (km.h ⁻¹)		
		Observado (95%IC)	Estimado (95%IC)	GEH	Observado (95%IC)	Estimado (95%IC)	GEH
RA (Hospital → Taboeira)	20 (6,5)	477,17 (3,02)	468,70 (2,55)	0,39	52,00 (2,83)	52,62 (2,50)	0,09
RB (Hospital → Taboeira)	21 (19)	602,67 (5,59)	611,14 (4,33)	0,34	39,00 (4,95)	26,38 (4,16)	0,17
RC (Hospital → Taboeira)	11 (8)	633,50 (3,74)	717,36 (2,80)	3,23	24,53 (1,07)	23,49 (1,83)	0,21
RA (Taboeira → Hospital)	12 (11)	483,42 (6,46)	562,25 (3,22)	3,45	42,24 (3,48)	37,67 (2,29)	0,72
RB (Taboeira → Hospital)	12 (9)	562,86 (5,01)	577,69 (2,85)	0,62	37,54 (1,62)	35,97 (1,48)	0,26
RC (Taboeira → Hospital)	13 (11)	543,77 (6,31)	519,00 (3,26)	1,07	25,76 (1,88)	28,45 (2,37)	0,52

Nas Figuras 14 a 16 apresenta-se uma comparação dos tempos de viagem e velocidades médias de percurso para as rotas em estudo, para cada veículo de teste (eixo x) utilizada no modelo VISSIM e os valores medidos por Carvalho (2011).

No sentido Hospital → Taboeira da rota RA verifica-se que os tempos de viagem estimados são muito satisfatórios e encontram-se num intervalo entre os 420 e os 540 segundos, praticamente todos dentro do intervalo do desvio padrão obtido, sendo a média obtida por Carvalho (2011) de 477,2 segundos (Figura 14). As velocidades médias simuladas variam entre os 48 e os 57 km.h⁻¹, sendo que apenas dois valores se encontram ligeiramente fora dos limites de confiança definidos pelo desvio padrão. Neste sentido, tanto os valores estimados como os observados por Carvalho (2011) não apresentam grandes oscilações. Por outro lado, no sentido inverso verifica-se que o tempo de viagem simulado regista muitas oscilações, não se verificando nenhum tempo de viagem abaixo da média obtida por Carvalho (2011). Como já explicado anteriormente este trajeto apresenta uma peculiaridade, pois

concentra muitos veículos às 9:00 da manhã (hora de início de funcionamento da Universidade de Aveiro) numa das entradas da universidade, o que explica o maior tempo de viagem neste percurso. Contudo, dado este percurso realizar-se maioritariamente por autoestrada, a velocidade média do trajeto simulado não apresenta grandes variações comparando com os valores observados (Figura 14).

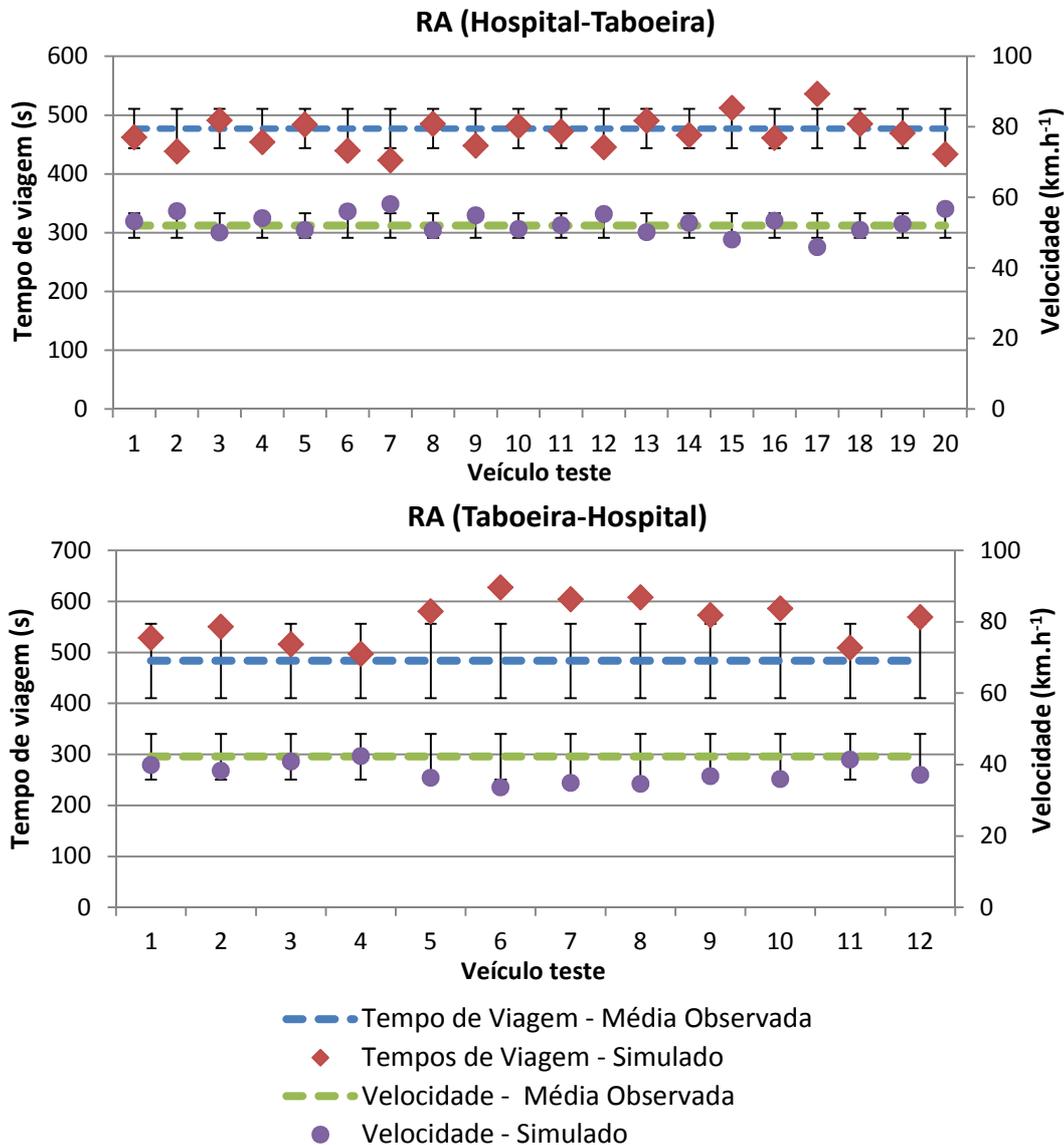


Figura 14 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RA.

Na rota RB, sentido Hospital→Taboeira, verifica-se que os resultados dos tempos de viagem estimados se encontram no intervalo entre os 526 e os 763 segundos, sendo a média obtida por Carvalho (2011) de 602,7 segundos (Figura 15).

Apenas 2 dos 21 valores se encontram fora do intervalo de confiança definido pelo desvio padrão dos valores observados por Carvalho (2011). As velocidades médias estimadas variam entre os 30,11 e os 43,66 km.h^{-1} , ou seja, um intervalo amplo, mas onde a média total dos 21 veículos analisados ($37,9 \text{ km.h}^{-1}$) fica muito próxima da observada ($39,0 \text{ km.h}^{-1}$). No sentido inverso (Taboeira→Hospital) tanto para os tempos de viagem como para as velocidades médias estimadas, verificam-se poucas oscilações e valores muito próximos dos valores médios observados por Carvalho (2011). Todos os valores estimados se encontram dentro dos intervalos de confiança definidos pelo desvio padrão dos valores observados.

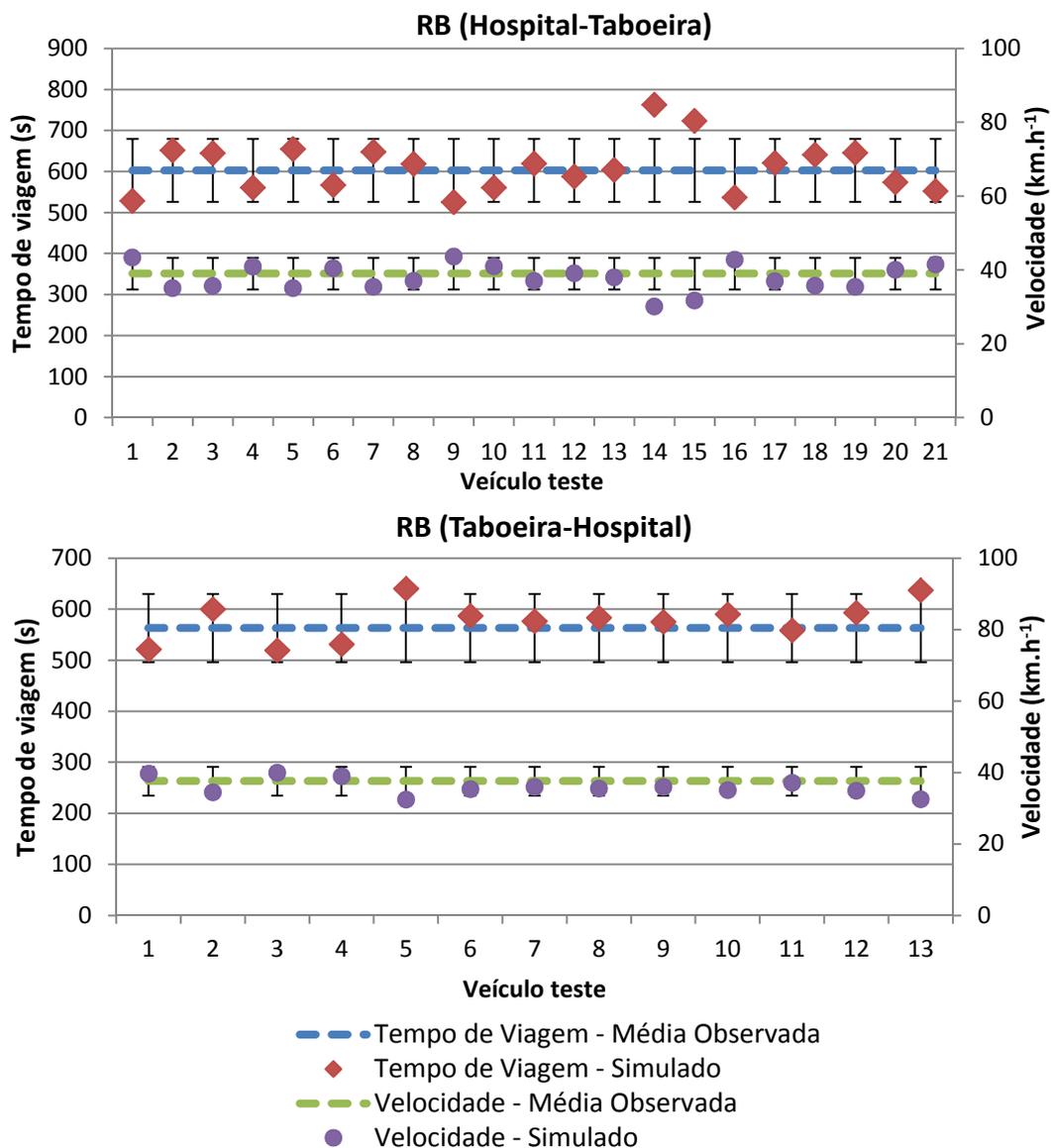


Figura 15 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RB.

Na rota RC, sentido Hospital→Taboeira, verifica-se que os resultados dos tempos de viagem estimados se encontram no intervalo entre os 659 e os 805 segundos sendo a média obtida

por Carvalho (2011) de 633,5 segundos (Figura 16). Neste caso, apesar de vários testes realizados nenhum veículo conseguiu efetuar este percurso abaixo da média realizada por Carvalho (2011). Porém, é de salientar que segundo Carvalho (2011), para esta rota apenas se efetuaram seis testes de monitorização da dinâmica de veículos neste percurso (foi o percurso menos testado, devido a limitações temporais) o que pode influenciar negativamente os resultados. Por outro lado, os valores de velocidade média observados e estimados encontram-se muito próximos ($24,5 \text{ km.h}^{-1}$ vs. $23,5 \text{ km.h}^{-1}$). No sentido inverso o modelo registou tempos de viagem abaixo dos observados por Carvalho (2011) e velocidades médias mais elevadas. Esta diferença pode dever-se ao facto de neste trajeto haver três cruzamentos com sinalização luminosa o que tem grande influência nos tempos e velocidades médias.

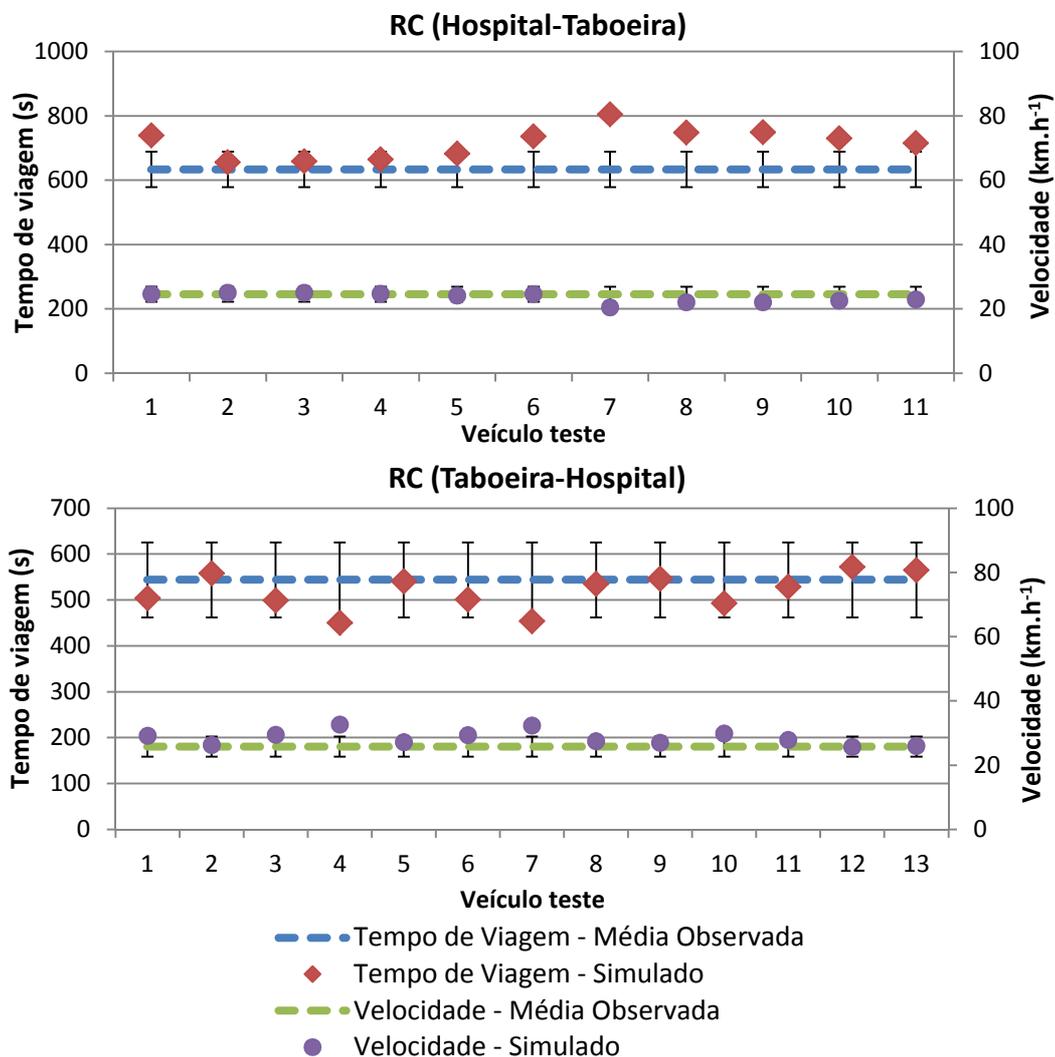


Figura 16 – Comparação de tempos de viagem e perfis de velocidade observados e estimados pelos respetivos veículos de teste durante a hora de ponta para a rota RC.

Com base no número de veículos definidos anteriormente (Quadro 7) procedeu-se à comparação dos modos VSP para veículos ligeiros calculado com base na plataforma de

simulação desenvolvida e os valores da dinâmica de veículos recolhidos através de um sistema GPS (Quadro 9).

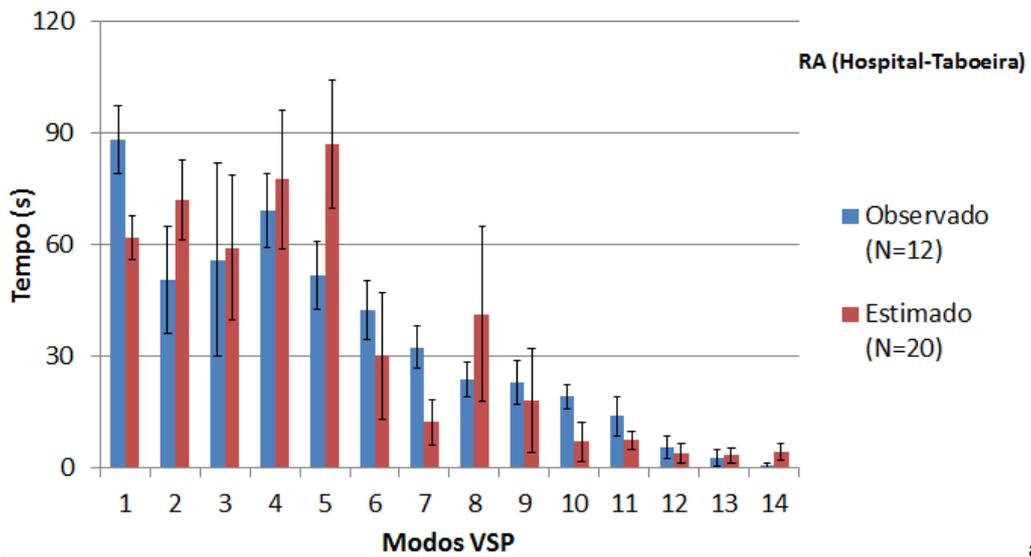
Quadro 9 - Comparação das médias dos modos VSP por rota e sentido.

Rota	VSP	
	Observado (95% CI)	Estimado (95% CI)
RA (Hospital → Taboeira)	477,17 (7,7)	483,70 (10,5)
RB (Hospital → Taboeira)	602,67 (9,6)	580,14 (14,5)
RB (Hospital → Taboeira)	633,50 (8,9)	717,36 (12,4)
RA (Taboeira → Hospital)	483,42 (10)	562,25 (15,0)
RB (Taboeira → Hospital)	562,86 (8,82)	580,69 (14,1)
RC (Taboeira → Hospital)	543,77 (8,56)	519,00 (9,8)

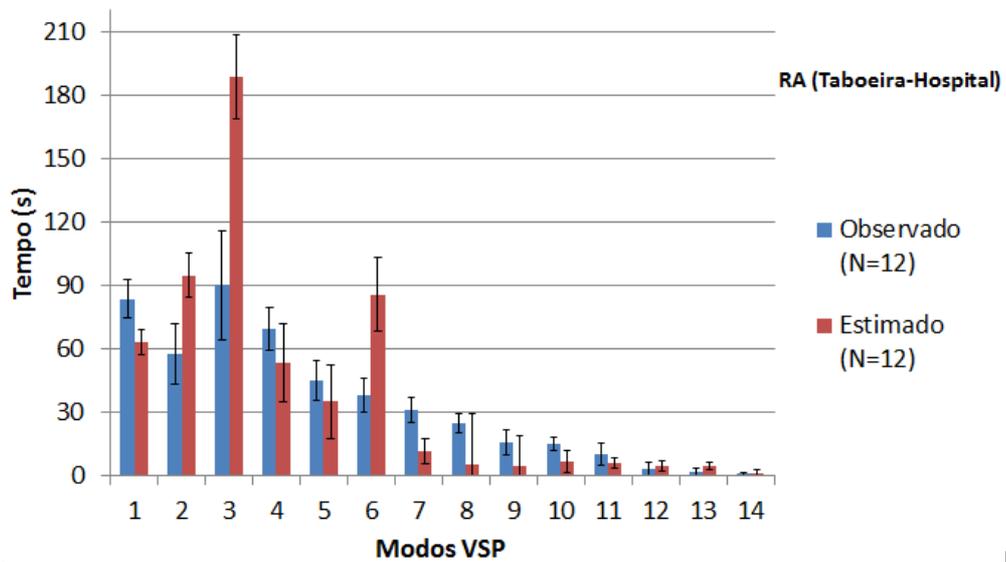
A análise das Figuras 17 a 19 indicam uma diminuição do tempo nos números de modos VSP mais elevados, consequência de em todas as rotas haver locais onde se circula a baixas velocidades. Na rede em estudo verificou-se um baixo número de modos VSP elevados. Sabendo que os modos 1 e 2 reproduzem períodos de travagem/descidas e considerando que não foram considerados declives na simulação, verifica-se pela similaridade dos modos 1 e 2 que Aveiro é uma cidade plana e as travagens registadas durante o período de simulação se aproximam às registadas durante o período de monitorização. O modo 3 representa situações de pára-arranca e velocidades reduzidas. A maior diferença de valor médio de VSP estimado verifica-se na rota RA no sentido Taboeira→Hospital o que pode ser explicado pelo congestionamento que se verifica numa das entradas da universidade junto ao Pavilhão do Beira-Mar, uma vez que para as situações de simulação real a hora de ponta considerada, poderia ou não coincidir com o intervalo de tempo onde a Universidade entra em pleno funcionamento (~9:00H). Os modos que revelam combinações de aceleração positiva e crescentes (de 4 a 14) demonstram, no geral, um valor mais elevado nas situações reais.

A rota RA, mais rápida e percorrida essencialmente em autoestrada, apresenta uma menor dispersão de valores de modos VSP quando comparada com a rota RC, predominantemente percorrida em áreas urbanizadas. A rota RB apresenta valores de VSP intermédios entre as rotas RA e RC o que confirma o tipo de condução que se pratica nesta rota corresponde às características intermédias entre autoestrada e meio urbano. Nesta rota registam-se um maior número de períodos com baixas velocidades e paragens do que nas autoestradas, mas praticam-se velocidades mais elevadas que nos meios urbanos. A redução de velocidade

proporciona a ocorrência de modos VSP mais baixos (1-4) que neste caso caracterizam a rota RC.

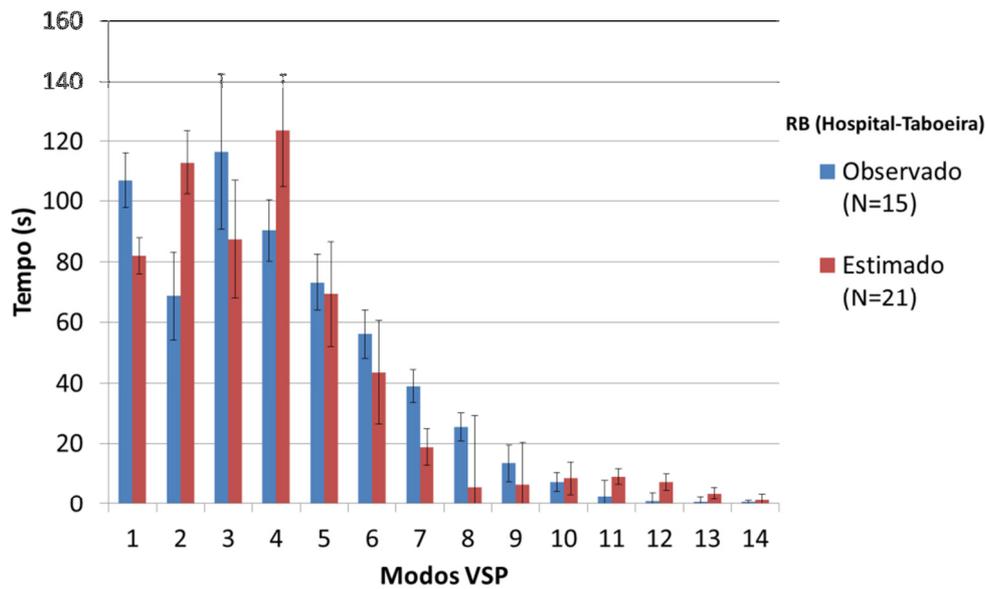


a)

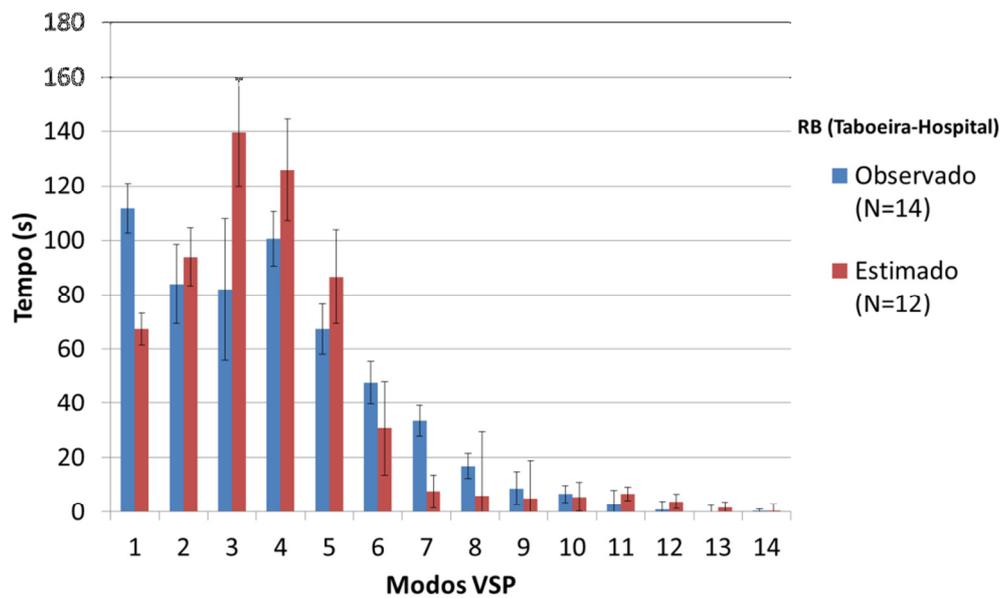


b)

Figura 17 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RA por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.

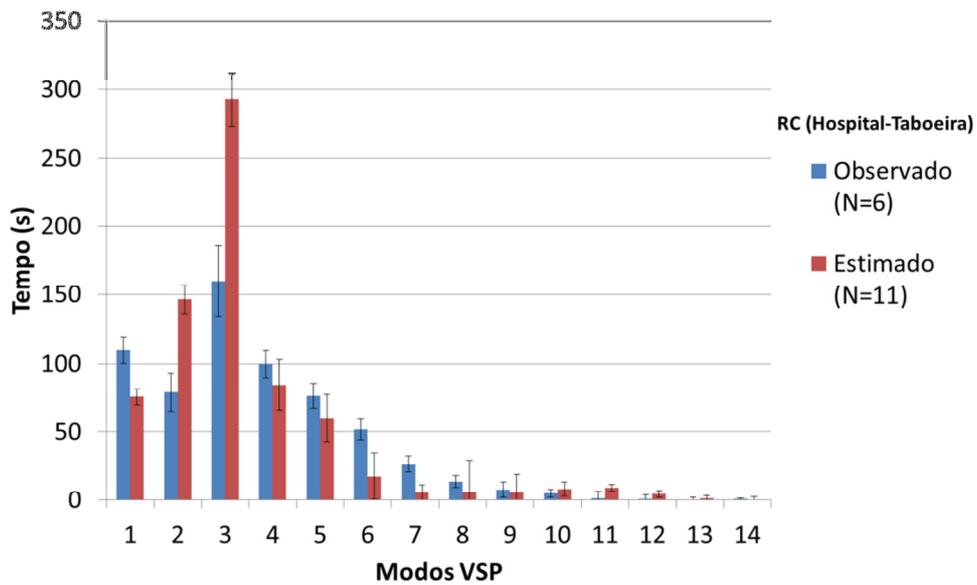


a)

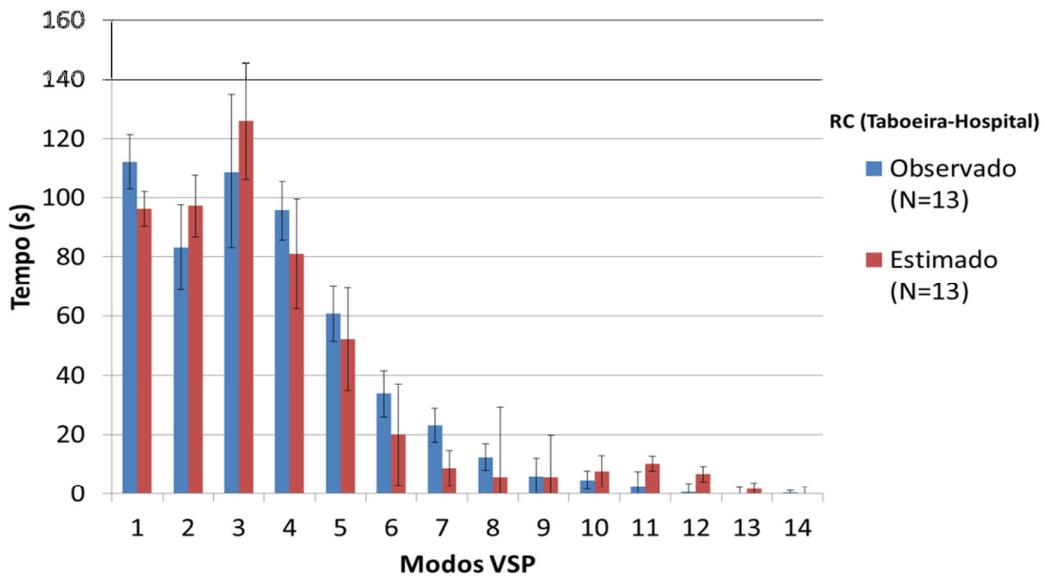


b)

Figura 18 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RB por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.



a)



b)

Figura 19 - Distribuição de modos VSP observados e estimados na rota RC por sentido: a) Hospital→Taboeira e b) Taboeira→Hospital.

A análise geral das emissões dos trajetos simulados foi efetuada com base na comparação com dados observados. Relativamente às diferenças de propulsão, os resultados obtidos através da plataforma de simulação são, na sua maioria, semelhantes aos observados encontrando-se dentro dos limites de confiança definidos através dos desvios padrões calculados. Os resultados observados e estimados das emissões por quilómetro, são apresentados na Figura 20 para os veículos a gasolina e na Figura 21 para os veículos a gasóleo.

É patente nas Figuras 20 e 21 a diferença de emissões das duas propulsões analisadas. Comparando as Figuras 20.a e 21.a referentes ao poluente local NO_x verifica-se que o

veículo a gásóleo apresenta valores aproximadamente cinco vezes superiores ao veículo a gasolina para os mesmos trajetos. Nos restantes poluentes locais analisados (HC (Figuras 20.b e 21.b) e CO (Figuras 20.c e 21.c)) o veículo a gásóleo apresenta valores inferiores aos estimados para o veículo a gasolina, sendo no CO essa diferença bastante significativa (oito vezes no caso da RA). As emissões de HC são sempre, independentemente do percurso, menores nos veículos a gásóleo. Apenas em RC no sentido Taboeira→Hospital se verifica um valor ligeiramente superior de emissões de HC dos veículos a gasolina, mas do mesmo modo no gráfico, confirma-se um maior valor de desvio. Os valores obtidos para o CO₂ demonstram a menor eficiência energética dos veículos a gasolina em relação aos movidos a gásóleo, apresentando sempre uma desvantagem de aproximadamente 50 g.km⁻¹.

Em relação às emissões de NO_x e de CO, verifica-se que tanto a rota RA como a rota RB apresentam a mesma tendência de valores registados durante o período de monitorização, mas mais uma vez com valores absolutos inferiores. Em RC verifica-se uma troca em relação ao verificado na realidade dos carros a gasolina, pois num dos sentidos o valor de CO supera ligeiramente (1,4%) o valor monitorizado. Neste caso, este resultado pode ser explicado pelo grande número de filas ou pára-arranca que a rota com o sentido Taboeira→Hospital apresenta em hora de ponta, nomeadamente junto das zonas de elevado tráfego (ex: Universidade de Aveiro e Hospital). No mesmo trajeto (RC) os valores de NO_x entre viaturas com a mesma propulsão são muito idênticos independentemente do sentido da rota. No geral destes dois poluentes, o primeiro trajeto (RA) revela-se como sendo o mais poluente situando o RB na segunda posição.

Em termos de valores absolutos, os valores estimados ficam sempre ligeiramente abaixo dos verificados na realidade o que pode ser explicado com os declives do terreno, as características do veículo, do tipo de condução e também pelo fluxo de tráfego incerto. A comparação de rotas indica que a rota RA é a mais poluente para os veículos a gásóleo embora com margem muito reduzida. No caso dos veículos a gasolina a rota RB é a mais poluente. Na rota RC, embora não deixando dúvidas em relação ao sistema de propulsão do veículo mais poluente, as diferenças nos sentidos esbatem-se, ou seja, em emissões são praticamente as mesmas independentemente do sentido do trajeto.

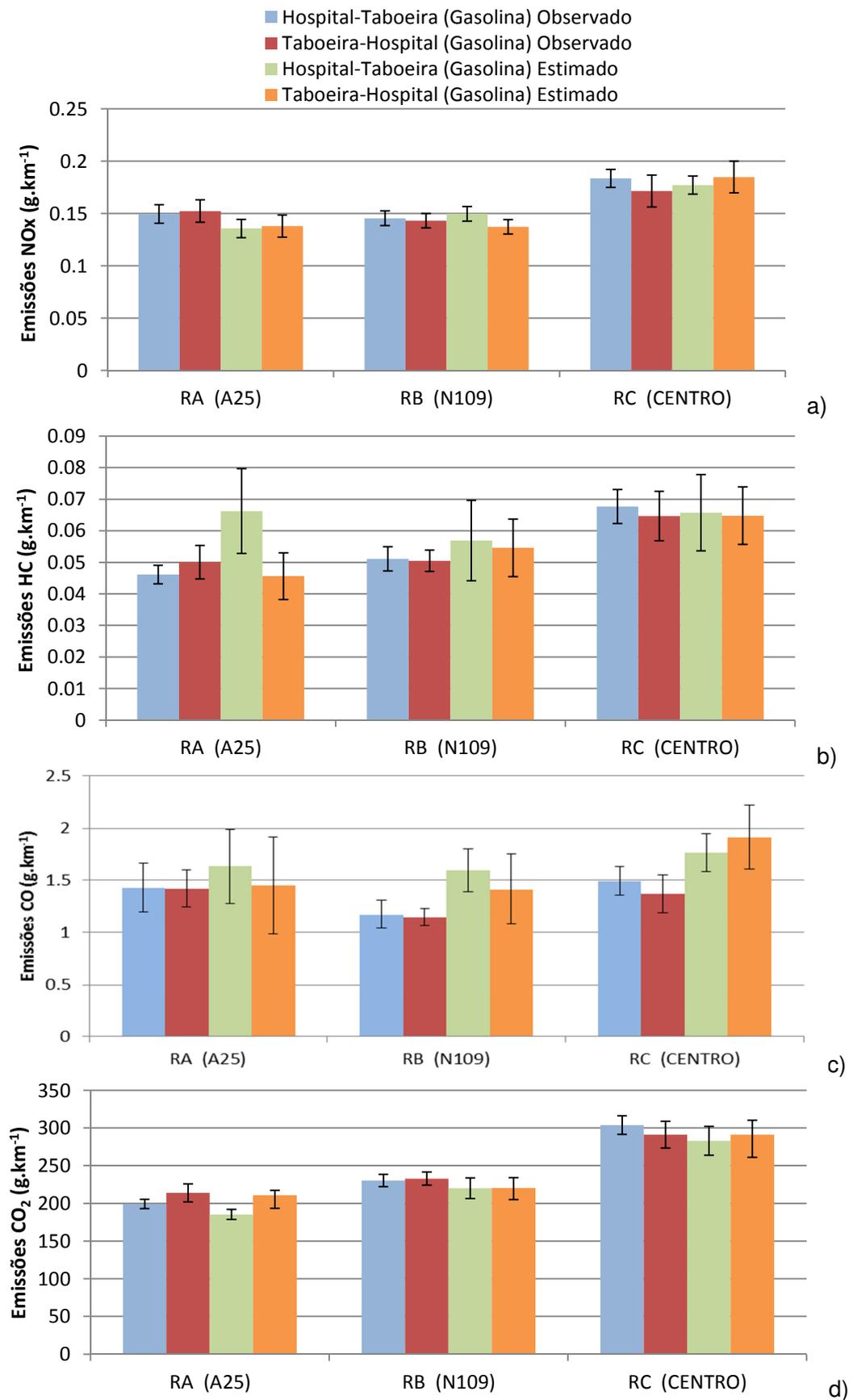


Figura 20 - Emissões médias (g.km⁻¹), em hora de ponta para um veículo ligeiro de passageiros a gasolina para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂.

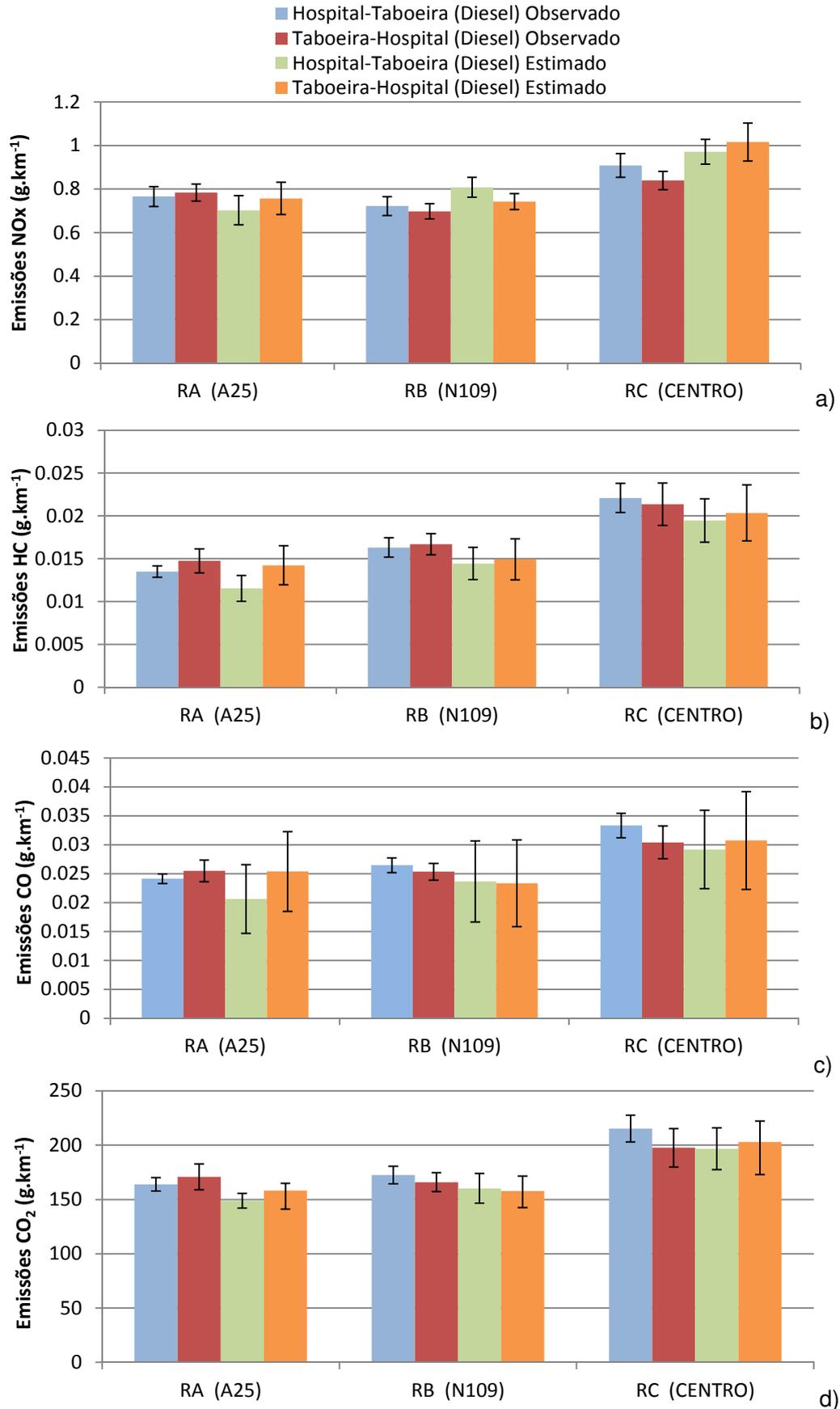


Figura 21 - Emissões médias (g.km⁻¹), em hora de ponta para um veículo ligeiro de passageiros a gasóleo para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂.

Uma análise mais específica às três rotas estudadas permitem apurar que:

- ✓ O recurso a vias com perfis de velocidade estabilizados é favorável do ponto de vista ambiental;
- ✓ Em média, os trajetos estritamente citadinos (RC) apresentam emissões por quilómetro superiores às alternativas mistas (RA e RB);
- ✓ Há, em todas as rotas, diferenças superiores a 20% entre viaturas diesel e gasolina, sendo os últimos mais poluentes ao nível do CO₂;
- ✓ Para os poluentes locais (NO_x, HC, CO), apenas a emissão de NO_x é inferior nos veículos com propulsão a gasolina, sendo este propulsor mais poluente que o diesel em HC e CO;
- ✓ A circulação a velocidades elevadas (ex. circulação em autoestrada) não permite a redução de emissões de CO₂;
- ✓ Tendo em conta a minimização de CO₂ a melhor rota é a RC, que apresenta resultados inferiores em 10,1% e 9,3% respetivamente, face ao percurso mais poluente (RB);
- ✓ Para a minimização de NO_x a melhor rota continua a ser a RC em ambos os propulsores (gasolina e diesel), que apresentam resultados inferiores em 20% e 15% respetivamente, face ao percurso mais poluente que no caso dos veículos a gasolina foi o RB e no caso dos diesel o RA;
- ✓ Para a minimização de HC a melhor rota é a RB no caso dos veículos a gasolina que apresenta resultados inferiores em 58% face ao percurso mais poluente, RA. Para o caso da propulsão diesel a RA é a mais benéfica apresentando resultados inferiores em 14% face ao percurso mais poluente (RB);
- ✓ Para a minimização de CO a melhor rota é a RC no caso dos veículos a gasolina que apresenta resultados inferiores em 29 % face ao percurso mais poluente, RA. Para o caso da propulsão diesel a RC volta a ser a mais benéfica apresentando resultados inferiores em 16% face ao percurso mais poluente (RB).

4.2. Avaliação de cenários de incidentes usando ITS

O estudo relativo ao número total de “para-arranca” é efetuado para os veículos que circulam na via do incidente, com e sem ITS (Quadro 10). Sem ITS, gera-se um aumento do número de “para-arranca” em todos os cenários e conseqüentemente de emissões, e de tempo de viagem. O número de veículos que circulam na via é o principal fator responsável pelo aumento do número de “para-arranca”, no entanto também as características da via (número

de faixas de rodagem, etc.) influenciam grandemente. Com a adoção de ITS registam-se reduções do número de “pára-arranca”.

Quadro 10 - Comparação do número total de pára-arranca por cenário.

Cenário	Número de pára-arranca:		
	Sem ITS	Com ITS	Variação percentual
Cenário 1	94	28	-70,2%
Cenário 2	96	16	-83,3%
Cenário 3	86	23	-73,3%

Os incidentes dos cenários 1 e 3 ocorrem em locais com duas vias de trânsito em cada sentido. Após a desobstrução de uma das vias há ainda registo de “pára-arranca” de veículos que pretendem efetuar mudança de via para ultrapassar o incidente. Nestes cenários, mesmo com um veículo a obstruir uma das vias, o trânsito decorre com alguma normalidade não apresentando praticamente dificuldades. As alterações verificadas resumem-se a desacelerações, mais ou menos repentinas, ao visualizar o veículo imobilizado e posterior mudança de via.

No incidente do cenário 2 regista-se o menor número de “pára-arranca” com a adoção de ITS, com um valor de 83% inferior ao cenário sem ITS. Sendo esta a via com maior fluxo de viaturas aliado ao fato de apenas existir uma via de circulação em cada sentido, verifica-se que na ausência de informação se regista um congestionamento rápido da rota, com conseqüente formação de filas de veículos e aumento do número de “pára-arranca”.

No que respeita à análise das emissões, verifica-se que com a adoção de ITS (sem sugestão de rota alternativa) se regista, na via onde ocorre o incidente, redução das emissões de NO_x, HC, CO e CO₂:

Cenário 1 - 68,6%, 65,3%, 58,1% e 95,0% respetivamente;

Cenário 2 - 91,2%, 87,9%, 94,4% e 90,9% respetivamente;

Cenário 3 - 44,9%, 52,7%, 45,1% e 45,7% respetivamente.

Por outro lado, em todos os cenários se verificam aumentos de emissões nas alternativas devido ao aumento da procura destas vias durante a ocorrência do incidente.

No caso da adoção de ITS com sugestão de rota, pelo critério de escolha proposto, a análise detalhada por cenário das rotas alternativas menos poluentes obtida a cada cinco minutos, bem como indicação do aumento percentual dos poluentes em relação à situação de referência (alternativa menos poluente) verifica-se, em todos os cenários, que algumas

dessas rotas, devido ao tráfego já existente, nunca chegam a ser consideradas como vias alternativas menos poluentes pois há sempre uma melhor em termos ambientais.

Para avaliação detalhada dos cenários previamente apresentados, efetua-se nos próximos subcapítulos uma análise pormenorizada do comprimento das filas e das emissões por cenário.

No caso das emissões, numa primeira fase é apresentada a comparação dos cenários com recurso ao ITS relativamente ao cenário de referência ao fim de 30 minutos de simulação. Numa segunda fase analisam-se as rotas alternativas de forma individual, sendo apresentados os valores percentuais de emissões para cada uma delas a cada 5 minutos.

Cenário 1

No que respeita à monitorização do comprimento das filas, verifica-se que no cenário 1 a utilização de ITS permitiu, nos 540 segundos em que a via se encontrou intransitável, uma redução do comprimento das filas na ordem dos 87,3% face ao cenário em que os condutores não dispõem de informação (Figura 22).

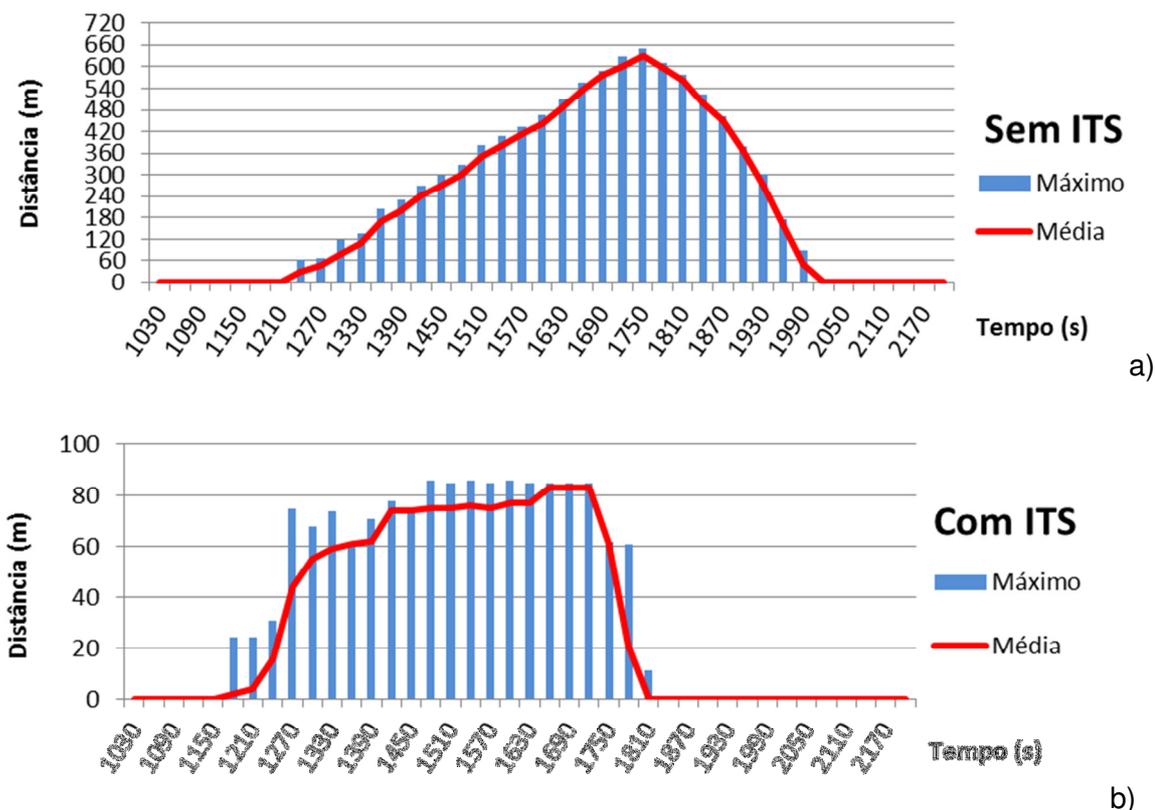


Figura 22 - Comprimento e duração de filas no cenário 1: a) sem ITS e; b) com ITS sem sugestão de rota.

O Quadro 11 apresenta os tempos de viagem e os valores percentuais de emissões rodoviárias obtidos para o cenário 1. A especificação dos valores absolutos de emissões é apresentada no Anexo V – Figura V.1.

A análise global da rede de tráfego após os 30 minutos de simulação indica que os tempos médios de viagem sem ITS (que obriga a esperar pela desobstrução da via) são de aproximadamente 1454,2 s. Considerando o uso de ITS, verifica-se que nas vias alternativas os tempos de viagem são consideravelmente menores (~-41,5%) comparativamente à situação de continuar na via do incidente e esperar que esta fique desimpedida (Quadro 11).

Por outro lado, verifica-se que a adoção de ITS (com ou sem sugestão de rota) permitiu, na via onde ocorre o incidente, uma redução aproximada do fluxo de veículos em cerca de oito vezes. Esta redução reflete-se numa diminuição de poluentes locais em -68,6% para NO_x , -65,3% para HC e de -58,1% para CO. A diminuição de CO_2 fixou-se nos -95,0%, facto comprovado pelo menor número de veículos a circular naquela via (Quadro 11).

Nas rotas alternativas verifica-se que a utilização de ITS (com ou sem sugestão de rota) causa um aumento dos volumes de tráfego e que se reflete num aumento de emissões tanto para poluentes locais (NO_x , HC e CO) como para poluentes globais (CO_2).

Na ausência de sugestão de rota verifica-se que as rotas alternativas 1 e 2 aproximam-se entre si em emissões e tempos de viagem, ficando a alternativa 3 como a mais lenta mas não a mais poluente. A alternativa 4 é a mais poluente e também a mais rápida (Quadro 11).

Com a sugestão de rota ao condutor, verifica-se uma alteração da situação verificada anteriormente. Neste caso as rotas alternativas 3 e 4 são as que apresentam menores emissões, porém, os níveis de emissões registados nas alternativas 1 e 2 são superiores aos registados à situação de utilização de ITS sem sugestão de rota.

Uma avaliação global de todo o domínio indica que a utilização de ITS com sugestão de rota permite que os aumentos de emissão comparados com a situação de referência (sem incidente) sejam menores (exceto o CO_2) que os verificados nas outras situações analisadas (sem ITS e com ITS sem sugestão de rota).

Assim sem ITS obtêm-se aumentos de 194,9%, 101,6%, 240,9% e 12,7%, com ITS sem sugestão de rota 49,4%, 48,1%, 48,4%, 42,0% e com ITS com sugestão de rota 39,2%, 39,1%, 38,9% e 32,5% para NO_x , HC, CO e CO_2 respetivamente. Verifica-se que fazendo uso da sugestão de rota conseguem-se reduzir os poluentes todos em cerca de 10% em todo o domínio (Quadro 11).

No caso com ITS mas sem identificação da melhor rota ambiental, o CO é o poluente local que mais aumenta (cerca de 48,4%) sendo o CO_2 o poluente que menos aumentou percentualmente em relação ao cenário de referência (42,0%).

Quadro 11 – Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x, HC, CO e CO₂), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 1.

Período	Situação	Local	Tempo de viagem (s)	Emissão (%)			
				NO _x	HC	CO	CO ₂
Análise ao fim de 30 minutos	Sem ITS	RA (via do incidente)	1454,2	414,6%	266,3%	570,5%	200,8%
		RA: Alternativa 1	616,5	0%	0%	0%	0%
		RA: Alternativa 2	619,3	0%	0%	0%	0%
		RA: Alternativa 3	638,9	0%	0%	0%	0%
		RA: Alternativa 4	606,9	0%	0%	0%	0%
		Todo o domínio	-	194,9%	101,6%	240,9%	12,7%
	Com ITS sem sugestão de rota	RA (via do incidente)	-	-68,6%	-65,3%	-58,1%	-95,0%
		RA: Alternativa 1	837,3	9,4%	20,2%	13,2%	12,6%
		RA: Alternativa 2	840,1	22,3%	29,1%	25,4%	20,9%
		RA: Alternativa 3	850,5	80,6%	86,6%	94,7%	98,8%
		RA: Alternativa 4	821,8	134,8%	169,9%	133,1%	108,2%
		Todo o domínio	-	49,4%	48,1%	48,4%	42,0%
	Com ITS com sugestão de rota	RA (via do incidente)	-	-68,6%	-65,3%	-58,1%	-95,0%
		RA: Alternativa 1	757,8	63,2%	63,4%	62,8%	33,6%
		RA: Alternativa 2	771,6	70,2%	73,3%	71,7%	41,9%
		RA: Alternativa 3	639,9	0,1%	0,2%	0,2%	0%
		RA: Alternativa 4	610,2	0,8%	0,3%	0,9%	0%
Todo o domínio		-	39,2%	39,1%	38,9%	32,5%	

O Quadro 12 apresenta os valores percentuais de emissão registados a cada 5 minutos na situação de ITS com sugestão de rota. Na Figura V.7 do Anexo V, apresentam-se os valores absolutos registados a cada 5 minutos de avaliação do cenário 1. A análise destes resultados mostra que nos primeiros 5 minutos de avaliação das rotas alternativas, ambos os critérios previamente definidos (emissões de CO₂ ou NO_x) sugerem que se adote sempre a rota alternativa 1 (Quadro 12). Nas atualizações subsequentes, verifica-se uma alternância entre as rotas alternativas 1 e 2, explicada pelos menores volumes de tráfego e emissões nestas vias. Contudo, a rota sugerida mostra aumentos de emissões consideráveis em cada análise, o que a remete para a última escolha na sugestão seguinte. Além disso, verifica-se que algumas rotas alternativas (3 e 4) devido ao tráfego já existente nessas vias de tráfego, nunca chegam a ser consideradas como vias alternativas menos poluentes pois há sempre uma rota alternativa melhor em termos ambientais. Os valores percentuais expõem o aumento em relação à situação de referência, neste caso, a rota alternativa menos poluente.

Quadro 12 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x, HC, CO e CO₂), para as diferentes rotas alternativas do cenário 1, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.

Critério de escolha de rota	Momento da análise	Escolha *	Emissão (%)			
			NO _x	HC	CO	CO ₂
CO ₂	5 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	62,8%	114,2%	90,1%	84,2%
		Alternativa 3	15,2%	13,4%	16,4%	18,7%
		Alternativa 4	20,9%	10,3%	20,2%	24,1%
	10 min	Alternativa 1	60,1%	100,6%	84,2%	80,8%
		Alternativa 2	-	-	-	-
		Alternativa 3	12,4%	10,1%	13,2%	15,6%
	15 min	Alternativa 4	16,6%	6,3%	16,4%	20,2%
		Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	64,4%	115,9%	91,8%	85,8%
	20 min	Alternativa 3	14,4%	12,0%	15,5%	17,9%
		Alternativa 4	19,5%	9,3%	18,9%	22,7%
		Alternativa 1	61,0%	101,9%	85,6%	82,0%
	25 min	Alternativa 2	-	-	-	-
		Alternativa 2	66,0%	117,1%	93,1%	87,2%
		Alternativa 3	13,2%	11,0%	14,1%	16,3%
	30 min	Alternativa 4	18,1%	7,6%	17,4%	21,1%
		Alternativa 1	62,1%	102,9%	87,0%	83,4%
Alternativa 2		-	-	-	-	
NO _x	5 min	Alternativa 3	10,6%	8,5%	11,5%	12,9%
		Alternativa 4	15,5%	5,9%	15,4%	19,0%
		Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	62,8%	114,2%	90,1%	84,2%
	10 min	Alternativa 3	15,2%	13,4%	16,4%	18,7%
		Alternativa 4	20,9%	10,3%	20,2%	24,1%
		Alternativa 1	60,1%	100,6%	84,2%	80,8%
	15 min	Alternativa 2	-	-	-	-
		Alternativa 2	64,4%	115,9%	91,8%	85,8%
		Alternativa 3	14,4%	12,0%	15,5%	17,9%
	20 min	Alternativa 4	19,5%	9,3%	18,9%	22,7%
		Alternativa 1	61,0%	101,9%	85,6%	82,0%
		Alternativa 2	-	-	-	-
	25 min	Alternativa 2	66,0%	117,1%	93,1%	87,2%
		Alternativa 3	13,2%	11,0%	14,1%	16,3%
		Alternativa 4	18,1%	7,6%	17,4%	21,1%
	30 min	Alternativa 1	62,1%	102,9%	87,0%	83,4%
		Alternativa 2	-	-	-	-
Alternativa 3		10,6%	8,5%	11,5%	12,9%	
		Alternativa 4	15,5%	5,9%	15,4%	19,0%

* A negrito encontra-se assinalada a melhor rota alternativa por período em análise.

Cenário 2

No cenário 2 verificou-se que os ITS permitiram, nos 450 segundos em que a via esteve intransitável, uma redução do comprimento das filas de 87,2% (Figura 23). As emissões na via onde ocorre o incidente diminuem com a adoção de ITS, com uma diminuição de 91,2% de o NO_x , 87,9% de HC, 94,4% de CO e 90,9% de CO_2 . Esta redução de valores foi a mais acentuada de todos os cenários. Esta situação deve-se à via onde se dá o incidente ser a mais congestionada de todas as vias analisadas. Com a adoção de ITS, o número de veículos em circulação na via foi reduzido em aproximadamente 70 vezes (de aproximadamente 1540 veículos para 22 veículos).

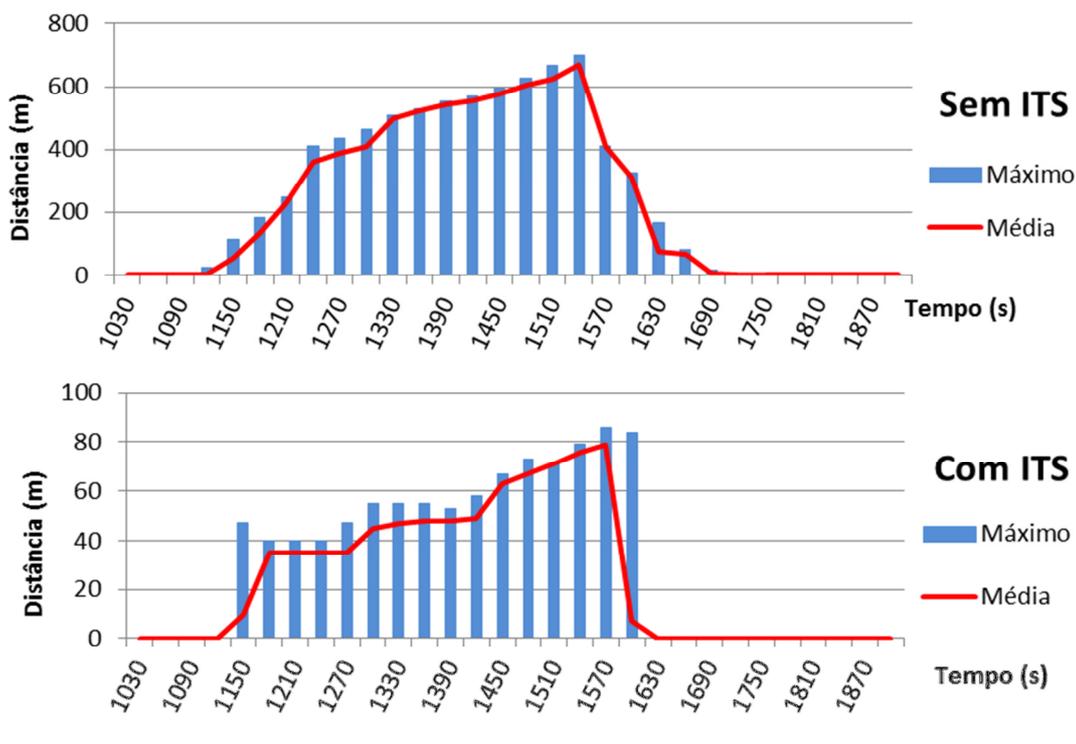


Figura 23 - Comprimento e duração de filas no cenário 2: a) sem ITS e; b) com ITS.

O Quadro 13 apresenta os tempos de viagem e os valores percentuais de emissões ao fim de 30 minutos de simulação para o cenário 2. Os valores absolutos são apresentados na Figura V.2 do Anexo V.

A análise global da rede de tráfego após os 30 minutos de simulação indica que sem ITS o tempo de viagem (que obriga a esperar pela desobstrução da via) seria aproximadamente 1321,7 s, valor muito superior a qualquer alternativa apresentada pelos ITS (Quadro 13).

Com ITS sem sugestão de rota, a alternativa 1 apresenta um valor mais reduzido do tempo de viagem do que quando é apresentada uma sugestão de rota. Na rota alternativa 2 verifica-se o inverso.

Ao nível dos volumes de tráfego, a adoção de ITS sem sugestão de rota indica o registo de um natural aumento desses volumes nas rotas alternativas após desvio da via onde se dá o incidente. A consequência é um aumento de emissões de poluentes locais (NO_x, HC e CO) e globais (CO₂). As rotas alternativas 1 e 2 registam um aumento de CO₂ em 81,0% e 138,6% respetivamente. Ao nível dos poluentes locais a alternativa 2 é a mais poluente das duas devido ao registo de velocidades mais baixas que se praticam nas vias que a compõem onde se inclui a avenida principal da cidade de Aveiro. Também por essa razão aliada a vias mais urbanas, a alternativa 2 é a mais lenta das consideradas (Quadro 13).

Uma avaliação global de todo o domínio indica que a utilização de ITS com sugestão de rota permite que os aumentos de emissão comparando com a situação de referência (sem incidente) sejam menores que os verificados nas outras situações analisadas (Sem ITS e com ITS sem sugestão de rota).

Sem ITS obtêm-se aumentos de 141,1%, 70,2%, 210,7% para NO_x, HC, CO e redução de 8,7% de CO₂. Com ITS sem sugestão de rota 64,4%, 63,7%, 57,2%, 60,7% e com ITS com sugestão de rota 50,8%, 49,3%, 42,9% e 45,9% para NO_x, HC, CO e CO₂ respetivamente.

A análise para todo o domínio indica também que, com ITS mas sem identificação da melhor rota alternativa, o CO é o poluente local que menos aumenta (cerca de 57,2%) sendo o NO_x o poluente que mais aumenta (64,4%), seguido de perto pelo HC (63,7%). Com a utilização do sistema ITS com sugestão de rota, o aumento das emissões é menor cerca de 14% em relação à situação anterior (Quadro 13).

Quadro 13 - Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x, HC, CO e CO₂), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 2.

Período	Situação	Local	Tempo de viagem (s)	Emissão (%)			
				NO _x	HC	CO	CO ₂
Análise ao fim de 30 minutos	Sem ITS	RB (via do incidente)	1321,7	360,4%	201,3%	472,2%	98,9%
		RB: Alternativa 1	559,7	0%	0%	0%	0%
		RB: Alternativa 2	600,1	0%	0%	0%	0%
		Todo o domínio	-	141,1%	70,2%	210,7%	-8,7%
	Com ITS sem sugestão de rota	RB (via do incidente)	-	-91,2%	-87,9%	-94,4%	-90,9%
		RB: Alternativa 1	685,1	80,8%	81,6%	79,1%	81,0%
		RB: Alternativa 2	739,9	138,0%	140,7%	127,9%	138,6%
		Todo o domínio	-	64,4%	63,7%	57,2%	60,7%
	Com ITS com sugestão de rota	RB (via do incidente)	-	-91,2%	-87,9%	-94,4%	-90,9%
		RB: Alternativa 1	700,2	140,8%	141,6%	149,1%	111,0%
		RB: Alternativa 2	709,4	118,1%	120,5%	117,7%	108,4%
		Todo o domínio	-	50,8%	49,3%	42,4%	45,9%

O Quadro 14 apresenta os valores percentuais de emissão registados a cada 5 minutos na situação de ITS com sugestão de rota. Na Figura V.8 do Anexo V, apresentam-se os valores absolutos registados a cada 5 minutos de avaliação do cenário 2. A análise destes resultados indica similaridade dos valores de emissão obtidos entre as diferentes rotas alternativas, obtida pela alternância dos percursos sugeridos. Em condições normais de utilização as emissões registadas nas rotas alternativas são muito similares, tal como as características das próprias rotas. Esta situação implica que o critério de escolha não traz qualquer alteração na escolha de rotas.

No final dos primeiros 5 minutos de análise, a alternativa 1 é a mais atrativa do ponto de vista ambiental, quer considerando o critério CO₂, quer considerando o critério NO_x. Os períodos subsequentes mostram que, devido ao aumento substancial de veículos, a alternativa 1 ultrapassa a alternativa 2 em termos ambientais tornando-se a menos vantajosa, o que dá origem a que se adote uma nova alternativa por parte dos condutores (alternativa 2). Esta alternância entre as melhores vias alternativas em termos ambientais verifica-se sempre que é efetuada uma análise (a cada cinco minutos) durante os 30 minutos de duração da simulação.

Quadro 14 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x, HC, CO e CO₂), para as diferentes rotas alternativas do cenário 2, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.

Critério de escolha de rota	Momento da análise	Escolha*	Emissão (%)			
			NO _x	HC	CO	CO ₂
CO ₂	5 min	Alternativa 1	186,1%	184,0%	186,7%	180,3%
		Alternativa 2	-	-	-	-
	10 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	157,9%	161,3%	160,9%	153,9%
	15 min	Alternativa 1	186,8%	184,9%	187,7%	181,3%
		Alternativa 2	-	-	-	-
20 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	155,9%	159,9%	159,1%	151,9%	
25 min	Alternativa 1	187,5%	185,7%	188,4%	182,0%	
	Alternativa 2	-	-	-	-	
30 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	156,5%	160,4%	160,8%	152,4%	
NO _x	5 min	Alternativa 1	186,1%	184,0%	186,7%	180,3%
		Alternativa 2	-	-	-	-
	10 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	157,9%	161,3%	160,9%	153,9%
	15 min	Alternativa 1	186,8%	184,9%	187,7%	181,3%
		Alternativa 2	-	-	-	-
20 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	155,9%	159,9%	159,1%	151,9%	
25 min	Alternativa 1	187,5%	185,7%	188,4%	182,0%	
	Alternativa 2	-	-	-	-	
30 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	156,5%	160,4%	160,8%	152,4%	

* A negrito encontra-se assinalada a melhor rota alternativa por períodos em análise.

Cenário 3

No cenário 3 verificou-se que a disponibilização da informação ao condutor através da utilização de ITS permitiu, nos 540 segundos em que a via esteve intransitável, uma redução do comprimento das filas de 81% (Figura 24).

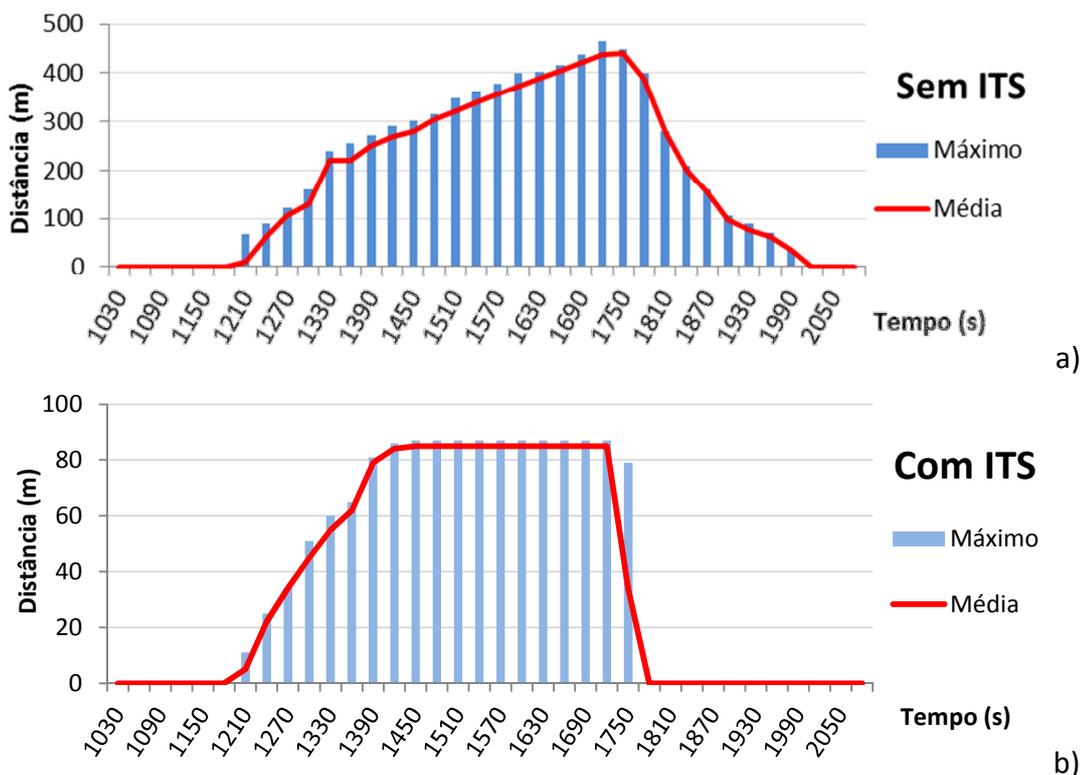


Figura 24 - Comprimento e duração de filas no cenário 3: a) sem ITS e; b) com ITS.

O Quadro 15 apresenta os tempos de viagem e os valores percentuais de emissões ao fim de 30 minutos de simulação para o cenário 3. Os valores absolutos são apresentados na Figura V.3 do Anexo V.

No que respeita às emissões registadas na via do incidente, sem ITS, houve aumentos de todos os poluentes. De NO_x 398,1%, de HC 234,8%, de CO 544,3% e de CO₂ 145,5%.

Com a adoção de ITS verifica-se que na via onde ocorreu o incidente houve uma redução das emissões de NO_x em 44,9%, de HC em 52,7%, de CO em 45,1% e de CO₂ em 45,7%. Os tempos de viagem são superiores relativamente à opção pelas rotas alternativas. O tempo de viagem da rota alternativa 1 é reduzido para menos de metade passando de cerca de 1394,1 s para 587,5 s.

No que respeita às rotas alternativas, verifica-se que a rota alternativa 1 regista um aumento geral das emissões, quase duplicando o valor de referência das emissões de NO_x (aumento de 89,3% sem sugestão de rota e 90,5% com sugestão de rota). O HC, o CO e o CO₂

registam aumentos de 40,1%, 68,2% e 64,6% respetivamente para a situação de ausência de sugestão de rota e valores ligeiramente superiores para a situação com sugestão de rota.

No caso da rota alternativa 2, sem sugestão de rota, os aumentos são pouco significativos (Quadro 15), uma vez que se trata de uma rota que implica efetuar mais quilómetros e andar por vias mais congestionadas.

Uma avaliação global de todo o domínio indica que a utilização de ITS com sugestão de rota permite que os aumentos de emissão comparando com a situação de referência (sem incidente) sejam menores que os verificados nas outras situações analisadas (sem ITS e com ITS sem sugestão de rota).

Assim, sem ITS obtêm-se aumentos de 174,7%, 42,1%, 203,8% e 19,2%, com ITS sem sugestão de rota 7,4%, 7,3%, 7,5%, 7,4% e com ITS com sugestão de rota 7,3%, 7,1%, 7,4% e 7,0% para NO_x, HC, CO e CO₂ respetivamente. Em todas as situações analisadas o CO foi o poluente que mais aumentou e o CO₂ o que menos aumentou.

Entre si (com e sem sugestão de rota) as diferenças são praticamente impercetíveis (~1%) em todos os poluentes.

Quadro 15 - Tempo de viagem e variação percentual do nível de emissões em relação à situação de referência sem incidente (NO_x, HC, CO e CO₂), por rota e para todo o domínio, para o incidente do cenário 3.

Período	Situação	Local	Tempo de viagem (s)	Emissão (%)			
				NO _x	HC	CO	CO ₂
Análise ao fim de 30 minutos	Sem ITS	RC (via do incidente)	1394,1	398,1%	234,8%	544,3%	145,5%
		RC: Alternativa 1	524,2	0%	0%	0%	0%
		RC: Alternativa 2	820,7	0%	0%	0%	0%
		Todo o domínio	-	174,7%	42,1%	203,8%	19,2%
	Com ITS sem sugestão de rota	RC (via do incidente)	-	-44,9%	-52,7%	-45,1%	-45,7%
		RC: Alternativa 1	587,5	89,3%	40,1%	68,2%	64,6%
		RC: Alternativa 2	831,6	1,7%	5,2%	2,1%	1,5%
		Todo o domínio	-	7,4%	7,3%	7,5%	7,4%
	Com ITS com sugestão de rota	RC (via do incidente)	-	-44,9%	-52,7%	-45,1%	-45,7%
		RC: Alternativa 1	587,5	90,5%	43,0%	72,2%	64,9%
		RC: Alternativa 2	831,6	0%	0%	0%	0%
		Todo o domínio	-	7,3%	7,1%	7,4%	7,0%

O Quadro 16 apresenta os valores percentuais de emissão registados a cada 5 minutos na situação de ITS com sugestão de rota. Na Figura V.9 do Anexo V, apresentam-se os valores absolutos registados em intervalos de 5 minutos de avaliação no cenário 3.

A análise dos resultados indica que, independentemente do critério de escolha (CO₂ ou NO_x), a alternativa 1 é sempre opcional, pois a 2 é por si só uma via congestionada. Em condições normais de utilização as emissões verificadas nas rotas alternativas são muito diversas não só devido ao percurso em si (sendo a rota alternativa 1 maioritariamente urbana e a rota

alternativa 2 maioritariamente suburbana) como também ao número de veículos a circular em cada uma das rotas (muito superior na rota alternativa 2).

Em todas as análises efetuadas a rota alternativa 1 mostra-se sempre melhor quer pelo fator ambiental, como também na poupança de tempos de viagens dos condutores. A alternativa 2, neste caso, nunca é opção devido à elevada circulação de veículos e conseqüentemente alto índice de emissões.

Quadro 16 - Variação percentual do nível de emissões (NO_x, HC, CO e CO₂), para as diferentes rotas alternativas do cenário 3, considerando como referência a rota com menores emissões (a negrito), usando ITS com sugestão de rota.

Critério de escolha de rota	Momento da análise	Escolha*	Emissão (%)			
			NO _x	HC	CO	CO ₂
CO ₂	5 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	204,7%	237,1%	208,1%	226,1%
	10 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	203,1%	236,6%	207,1%	225,9%
	15 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	203,9%	235,4%	207,6%	225,7%
20 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	202,8%	234,2%	206,8%	224,9%	
25 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	202,1%	234,1%	206,1%	223,2%	
30 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	203,9%	236,0%	208,5%	225,8%	
NO _x	5 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	204,8%	237,1%	208,2%	226,4%
	10 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	203,2%	236,6%	207,1%	225,4%
	15 min	Alternativa 1	-	-	-	-
		Alternativa 2	203,9%	235,4%	207,6%	225,7%
20 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	202,9%	234,7%	206,9%	224,9%	
25 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	202,1%	234,1%	206,1%	223,2%	
30 min	Alternativa 1	-	-	-	-	
	Alternativa 2	204,0%	236,0%	208,5%	225,9%	

* A negrito encontra-se assinalada a melhor rota alternativa por períodos em análise.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

A avaliação dos resultados obtidos para a situação de referência através da plataforma de microsimulação de tráfego e emissões usando os modelos VISSIM e VSP indicam que a metodologia desenvolvida é válida para avaliação de cenários de incidentes de tráfego com a aplicação de ITS.

A validação estatística do cenário de referência (sem incidente) permitiu obter bons resultados da plataforma de simulação. A avaliação destes resultados indica que para os trajetos analisados:

- 1) a rota estudada por Carvalho (2011) que indicou menor índice de emissões (RC) foi confirmada no exercício da modelação;
- 2) as diferenças de tempos e velocidades estimadas entre as várias rotas mantêm-se dentro dos intervalos de confiança em praticamente todas as situações. Contudo, os valores absolutos das emissões obtidos através da plataforma de simulação são mais baixos que os observados. Isto deve-se aos parâmetros que podem passar pelo declive do terreno, características dos veículos ou condutores, tempos de paragem (passadeiras, sinalização luminosa, lombas, cedências de passagem, etc.), entre outras;
- 3) Há, em todas as rotas, diferenças superiores a 20% entre viaturas diesel e gasolina, sendo os últimos mais poluentes ao nível do CO₂. Contudo, as emissões podem ser reduzidas através da escolha de um percurso consideravelmente mais curto (RC), onde se comprovam as menores emissões;
- 4) Para os poluentes locais (NO_x, HC, CO), apenas a emissão de NO_x é inferior nos veículos com propulsão a gasolina, sendo mais poluente que o diesel em HC e CO;
- 5) A Rota C (RC) que é o percurso mais curto, quando sujeita a tráfego intenso, pode tornar-se mais morosa que a rota mais longa (RA) sentido Hospital→Taboeira. No entanto, em caso algum se aproxima do percurso mais longo relativamente às emissões.

O estudo desenvolvido confirma que os sistemas inteligentes de transportes são uma mais-valia na redução dos tempos de viagem dos condutores que circulam na via onde ocorre um incidente. Na ocorrência de um incidente numa das vias as emissões sobem consideravelmente em virtude da concentração de tráfego (formação de filas) e da redução de velocidade.

As rotas alternativas são importantes pois permitem reduzir o tempo de viagem que em alguns casos supera os 50%. A existência destas rotas pode ainda ser valorizada recorrendo

ao fornecimento de informação aos condutores através, por exemplo, de um placard informativo do sistema ITS sugerindo qual a melhor opção a seguir.

Fazendo uso do ITS, concluiu-se uma redução das emissões na via do incidente (em RA: -68,6%, -65,3%, -58,1%, -95,0%; em RB -91,2%, -87,9%, -94,4%, -90,9%; e em RC -44,9%, -52,7%, -45,1%, -45,7% para NO_x, HC, CO e CO₂ respetivamente).

No entanto, não deixa de ser uma realidade o aumento de emissões face ao cenário de referência (sem incidentes), sempre que acontece um incidente.

Em todos os cenários a melhor rota alternativa é a que compreende trajetos mistos (urbano e não urbano) mesmo quando se verifica um grande número de veículos em circulação.

Relativamente aos tempos de viagem nas rotas alternativas de circuito urbano, podem surgir erros de análise, pois com o aumento de tráfego, as incidências (estacionamentos, viragens, etc.) podem prolongar o tempo de viagem.

As diferenças entre os três cenários mostram que o número de veículos em circulação nas vias em análise tem grande influência nas emissões, nomeadamente:

- Cenário 1 – sem ajuda do ITS é o menos eficaz, em todo o domínio, no combate às emissões locais;
- Cenário 2 - apresenta o maior aumento de emissões para todo o domínio, sendo este o cenário onde circulam mais veículos, nomeadamente em hora de ponta na cidade de Aveiro. Além deste fato, as alternativas apresentadas são vias com grandes volumes de tráfego o que dificulta a redução de emissões. Em virtude das alternativas apresentarem uma certa similaridade de emissões, conclui-se que é possível ir equilibrando as mesmas nas duas vias;
- Cenário 3 - em todo o domínio, nas duas situações com ITS, foi onde se verificou um menor aumento de emissões (na ordem dos 7% em todos os poluentes) em comparação com o cenário de referência (sem incidente).

Em qualquer um dos cenários quando surge o incidente, sem utilização de ITS, verifica-se que o CO é o poluente que apresenta maiores aumentos em contra ponto com o CO₂.

Para todo o domínio a aplicação de ITS mostra-se benéfica em relação aos cenários sem ITS.

Futuramente, num cenário mais avançado de utilização alargada de ITS e no qual os veículos transmitem e recebem informação frequente, os volumes de tráfego nas várias rotas poderão ser “geridos” e redistribuídos de forma mais imediata. Neste cenário deverá ser constantemente avaliada a capacidade de cada segmento da rede para prevenir aumentos involuntários nas emissões e também para que se possa apresentar o melhor nível de compromisso entre tempos de viagem e emissões.

Como trabalho futuro sugere-se:

- Replicar o estudo desenvolvido para centros urbanos de maior dimensão;
- Avaliar o custo/benefício da utilização dos ITS;
- Avaliar o impacto dos ITS com veículos híbridos, elétricos, gás natural em contraponto com veículos convencionais (gasolina/gasóleo), analisando também por idades e categorias;
- Desenvolvimento de uma aplicação para um telefone móvel que permita disponibilizar ao condutor um conjunto de informações, em tempo real, sobre escolha de rota com base em critérios ambientais;
- Replicar o estudo usando matrizes de viragem dinâmicas com base no comprimento das filas, ou no comportamento do tráfego com auxílio de sistemas avançados de ITS;
- Avaliar periodicamente as consequências da informação que é disponibilizada aos condutores e seus comportamentos.

Referências Bibliográficas

- AASHTO, (1994). A Policy on Geometric Design of Highways e Streets. *American Association of State Highway e Transportation Officials Publications*. Washington, D.C.: Metria Edition.
- Abdel-Aty, M.A. e Abdalla, M. F., (2006). Examination of Multiple Mode/Route-Choice Paradigms Under ATIS. *Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, pp. 332-348.
- Ahn, K. e Rakha, H. (2008). The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption e emissions. *Transportation Research Part D: Transport e Environment*. vol.13, pp. 151-167.
- Akçelik, R. e Besley, M. (2001). Acceleration and deceleration models. *23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research*. Monash University, Melbourne, Australia, 10-12 Dezembro de 2001.
- Albert, G., Toledo, T. e Ben-Zion, U. (2011). The role of personality factors in repeated route choice behavior: behavioral economics perspective. *Northwestern University Transportation Library*, pp. 47-59.
- Almeida, T. (2010). *Monitorização Experimental de Rotas Alternativas para Veículos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro.
- Bandeira, J., Almeida, T.G., Khattak, A.J., Roupail, N.M. e Coelho, M.C. (2010). Generating Emission Information for Route Selection-Experimental Monitoring and Routes Characterization. *90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., 23-27 Janeiro de 2011.
- Bandeira, J., Carvalho, D., Roupail, N., Khattak, A. e Coelho, M. (2012). A Comparative Empirical Analysis of Eco-Friendly Routes During Peak and Off-Peak Hours, *91th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C.. 22-26 Janeiro de 2012.
- Barth, M. e Boriboonsomsin, K. (2008). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol 14(6), pp. 400-410.
- Barth, M. e Boriboonsomsin, K. (2008). Real-World CO₂ Impacts of Traffic Congestion. *College of Engineering – Center for Environmental Research and Technology*, Washington, D.C..

- Boriboonsomsin, K. e Barth, M. (2008). Impacts of freeway high-occupancy vehicle lane configuration on vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol.13, pp.112-125.
- Carvalho, D. (2011). *Escolha de Rotas - Influência da hora de ponta nos consumos e emissões*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro.
- CEE, (2011). Relatório: *Roteiro do espaço único europeu dos transportes - Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos*. Comissão Transportes e Turismo, Bruxelas, 29 Novembro de 2011.
- Chen, K. e Yu, L. (2007). Microscopic Traffic-Emission Simulation and Case Study for Evaluation os Traffic Control Strategies. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. vol.7, pp. 93-100.
- Coelho, M. (2011). Capítulo 4 - Quantificação do Impacte Energético-Ambiental dos Transportes. Elementos de estudo da Disciplina Energia, Mobilidade e Transportes. Universidade de Aveiro, Outubro de 2011.
- Coelho, M. (2011). Capítulo 1 - Impactes Ambientais da Energia. Elementos de estudo da Disciplina Energia, Mobilidade e Transportes. Universidade de Aveiro. Outubro de 2011.
- Coelho, M., Frey, H., Rouphail, N. e Zhai, H. (2009). Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements. *Transportation Research Part D: Transport end Environment*, vol. 14, pp. 91-99.
- Crossing, C.R. (2006). VISSIM Calibration and Validation - Technical Report, 28 Agosto de 2006.
- De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., De Vlieger, I. e Botteldooren, D., (2012). Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions. *Environmental Modelling & Software*. vol. 35, pp. 74-83.
- Doherty, S.T., Papinski, D. e Scott, D.M. (2009). Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 14, pp. 347-358.
- Dowling, R., Skabardonis, A., e Alexiadis, V. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*, Publication No. FHWA-HRT-04040, Federal Highway Administration.

- EEA, (2009). Greenhouse gas emissions in the EU-27 by gas and sector, 2007.
- Ericsson, E., Larsson, H. e Brundell-Freij, K. (2006). Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potencial effects of a new driver support tool. *Journal of Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 14, pp. 369-383.
- European Commission Mobility & Transport, 2011. White Paper. Disponível em: ec.europa.eu/transport/strategies/2011_white_paper_en.htm
- Frey, H., Zhang, K. e Roupail, M. (2008). Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-Use Measurements, *Journal of Environmental Science & Technology*, vol. 42, pp. 2483-2489.
- Hale, D. (1997). How many NETSIM Runs are Enough?. *McTrans Newsletter*. vol. 11, pp. 9.
<http://www.ptvag.com/> [Online], acedido em Dezembro de 2011.
<http://www.rohde-schwarz.com> [Online], acedido em Dezembro de 2011.
- Hu, H. (2009). Measuring the Effectiveness of Advanced Traveler Information Systems (ATIS). North Carolina State University. pp. 213.
- Huang, Y. e Bird, R. (2009). A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol.14, pp. 197-204.
- IMTT (2007). Livro Verde - Para uma nova cultura de Mobilidade Urbana, 25 Setembro de 2007, Bruxelas.
- Int Panis, L. e Broekx, S. (2006). Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science of The Total Environmental*, pp. 270-285, 1 Dezembro de 2006.
- Ishaque, M. e Noland, R.B. (2008). Simulated pedestrian travel and exposure to vehicle emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol.13, pp. 27-46, Janeiro de 2008.
- Jiménez-Palacios, J.L. (1999). Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, MIT.
- Koorey, G., McMillan, S. e Nicholson, A. (2008). The effectiveness of incident management on network reliability. Relatório publicado pela Universidade de Canterbury, New Zealand, 60pp.

- Mattos, L.B.R. (2001). A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O caso do Município do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 179pp..
- Mensink, C. e Cosemans, G. (2008). From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards. *Environmental Modelling*, vol. 23, pp. 288-295.
- McMillan, S., Koorey, G. e Nicholson, A. (2009). Incident Management Modelling Using Microsimulation with Adaptive Signal Control. Bangkok, Thailand: 10th ITS Asia-Pacific Forum, pp. 4, 8-10 Julho de 2009.
- Mei, B., Hu, H., Roupail, N. e Lee, J. (2010). A Simulation Model for Studying the Impact of V2V Wireless Communications on Traffic Network Operations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, North Carolina, pp. 107-115.
- Nesamani, K.S., Chu, L., McNally, M. e Jayakrishnan, R. (2007). Estimation of vehicular emissions by capturing traffic variations. *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 2996-3008.
- Oh, C., Kim, T., Kim, W., Hong, S. e Park, J. (2011). Capability-Enhanced Probe Vehicle Surveillance System with Vehicle-to-Vehicle Communications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2189/2010, pp. 8-16.
- Papinski, D., Scott, D. e Doherty, S. (2009). Exploring the route choice decision-making process. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol.12, pp 347-358.
- PTV (2008). *VISSIM 5.10 – User Manual*, Planning Transport Verkehr, pp. 428.
- Recker, W., Jin, W., Yang, X. e Marca, J. (2008). Inter-Vehicle Communication and Network Vehicular Traffic. *The Open Transportation Journal*, vol.2, pp. 1-6.
- Rilett, L.R. e Benedek, C.M. (1998). Equitable traffic assignment with environmental cost functions. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 124, pp. 16-22.
- Santa, J., Gómez-Skarmeta, A.F. e Sánchez-Artigas, M. (2007). Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks. *Computer Communications*, vol.31, pp. 2850-2861.
- Soltráfego (2008). Contagens Classificadas de tráfego – Outubro/Novembro 2008, Soltráfego, pp. 28.
- Stevanovic, A., Stevanovic, J. e Kergaye, C. (2012). Environmental Benefits of Adaptive Traffic Control System: Assessment of Fuel Consumption and Vehicular Emissions, 91th

Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 22-26 Janeiro de 2012.

- Systematics, C. (2010). *Travel Model Validation and Reasonableness Checking Manual Second Edition*. Federal Highway Administration. Massachusetts.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. e Carvalho, M.G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. Departamento de Engenharia Mecânica. Instituto Superior Tecnico de Lisboa. pp. 1176-1185.
- Taylor, M.A.P. (2004). Intelligent transport systems: emerging technologies and methods in transportation and traffic. *Transportation Research Part C*. pp.167-169.
- Toledo, C.A.M. (2011). Congestion Indicators and Congestion Impacts: A Study on the Relevance of Area-wide Indicators, *Procedia-Social and Behavioral Sciences. 6th International Symposium on Highway Capacity e Quality of Service*, vol. 16, pp. 781-791.
- TRB, (2010). HCM 2010: Highway Capacity Manual (Volume 1: Concepts). *Transportation Research Board of the National Academy of Sciences*, 5th edition. Washington D.C..
- USEPA (2002). Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission System. North Carolina State University: Publication EPA 420-R-02-027. Raleigh, NC. Outubro de 2002.
- Watson, H., Milkins, E., Preston, M., Chittleborough, C. e Alimoradian, B. (1983). Predicting Fuel Consumption and Emissions-Transferring Chassis Dynamometer Results to Real Driving Conditions, SAE Paper 830435.
- Xie, Y., Chowdhury, M., Bhavsar, P. e Zhou, Y. (2012). An integrated modeling approach for facilitating emission estimations of alternative fueled vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 17, pp. 15-20.
- Zhang, K., Batterman, S. e Dion, F. (2011). Vehicle emissions in congestion: Comparison of work zone, rush hour and free-flow conditions. *Atmospheric Environment*. Vol.45, pp.1929-1939.
- Zhang, Y., Chen, X., Zhang, X., Song, G., Hao, Y. e Yu, L. (2009). Assessing Effect of Traffic Signal Control Strategies on Vehicle Emissions, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. vol. 9, pp. 150-155.
- Zhang, L. e Levinson, D. (2003). A model of the rise and fall of roads. 50th North American Regional Science Council Annual Meeting. Philadelphia. 20-22 Novembro de 2003

Zhang, L. e Levinson, D. (2006). Determinants of Route Choice and Value of Traveler Information. *Journal of the Transportation Research Board*. No. 2086, pp. 81-92.

Anexos

Anexo I - Matrizes de viragens usadas no domínio em estudo.

Anexo II - Temporização por semáforo observado no domínio em estudo durante a hora de ponta.

Anexo III - Exemplo de valores de redução de velocidade para algumas zonas do domínio de estudo.

Anexo IV - Emissões de poluentes, observadas e estimadas, em veículos a gasolina e a gasóleo.

Anexo V - Emissões de poluentes registadas nos cenários aplicando ITS.

Anexo I

Matrizes de viragens usadas no domínio em estudo

Ponto	Origem	Volume	Destino	Nº veículos	%
1	1c	672	1d	24	3,6
			1a	195	29,9
			1g	88	13,1
			1f	344	51,2
			1i	16	2,4
	1b	564	1d	88	15,6
			1a	4	0,7
			1g	132	23,4
			1f	316	56,0
			1i	24	4,3
	1h	124	1d	24	19,3
			1a	38	32,3
			1f	60	48,4
	1e	904	1d	296	32,7
			1a	373	41,6
			1g	92	10,2
			1f	128	14,2
			1i	12	1,3
1i	28	1d	12	42,8	
		1a	4	14,3	
		1f	12	42,8	
2	2a	615	2c	31	5,0
			2d	584	95,0
	2d	966	2a	570	59,1
			2b	396	40,9
3	3a	796	3b	96	12,1
			3d	420	52,8
			3f	280	35,2
	3c	792	3h	4	0,5
			3d	4	0,5
			3f	784	99
	3e	636	3h	268	42,1
			3b	284	44,7
			3f	84	13,2
	3g	656	3h	324	49,4
3b			284	43,3	
3d			48	7,32	
4	4a	450	4a	450	100,0
	4b	414	4b	414	100,0
5	5a	974	5b	925	95,0
			5c	49	5,0
	5b	811	5a	754	93,1
			5c	57	6,9
	5c	177	5b	85	48,0
			5a	92	52,0

Ponto	Origem	Volume	Destino	Nº veículos	%
6	6a	233	6a	233	100,0
	6c	180	6b	96	53,8
7	7a1	1808	7c1	289	16,1
			7d1	488	27,0
			7b1	976	53,9
			7e2	54	3,0
	7c2	432	7a2	164	38,0
			7d1	9	2,0
			7b1	250	58,0
			7e2	9	2,0
	7d2	580	7a2	174	30,2
			7c1	12	2,0
			7b1	365	62,8
			7e2	29	5,0
	7b2	1550	7a2	1286	83,0
			7c1	155	10,0
			7d1	46	3,0
			7e2	62	4,0
7e1	516	7a2	103	20,3	
		7c1	150	28,9	
		7d1	175	33,7	
		7b1	88	17,1	
8	8a	988	8a	988	100,0
	8b	792	8b	792	100,0
	8c	388	8c	388	100,0
9	9a	444	9b	364	82,0
			9c	80	18,0
	9b1	666	9a	666	100,0
	9b2	96	9c	96	100,0
	9c	92	9a	46	50,0
			9b	46	50,0
	9d	120	9a	33	27,5
			9b	52	43,3
9c			35	29,2	

Ponto	Origem	Volume	Destino	Nº veículos	%
10	10c2	572	10c1	4	0,7
			10d	20	3,5
			10e	8	1,4
			10a2	540	94,4
	10b	748	10c1	324	43,3
			10d	16	2,1
			10e	8	1,1
			10a2	400	53,5
	10a1	504	10c1	436	86,5
			10d	52	10,3
			10e	12	2,4
			10a2	4	0,8
11	11b1	808	11b1	808	100,0
	11b2	248	11b2	248	100,0
	11c	491	11c	491	100,0
12	12b2	520	12c	32	6,1
			12d	208	40,0
			12a1	280	53,9
	12c	304	12b1	16	5,3
			12d	52	17,1
			12a1	236	77,6
	12d	500	12b1	368	73,6
			12c	20	4,0
			12a1	112	22,4
	12a2	196	12b1	112	57,1
			12c	16	8,2
			12d	68	34,7
13	13a	499	13b	261	52,3
			13c	238	47,7
	13b	502	13a	460	91,6
	13c	120	13a	60	50,0
			13b	60	50,0
14	14c2	988	14c1	0	0,0
			14a2	217	21,8
			14b	770	78,2
	14d	280	14c1	100	36,0
			14a2	179	64,0
			14b	0	0,0
	14a1	360	14c1	280	78,6
			14b	77	21,4

Anexo II

Temporização por semáforo observado no domínio em estudo durante a hora de ponta

Pontos analisados	Semáforo	Tempo de semáforo (s) por ensaio:						Média (s)	Desvio Padrão (s)	
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6			
2	2d (A25 → Hospital (Pavilhão))	Vermelho	33	33	32	35	33	36	34	1,51
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	45	45	45	45	45	45	45	0,00
		Ciclo total	81	81	80	83	81	84	82	1,51
	2a (Hospital → A25)	Vermelho	33	33	34	37	33	34	34	1,55
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
Verde		45	45	45	45	45	45	45	0,00	
5	5b (Hospital → N235)	Vermelho	37	36	37	38	36	38	37	0,89
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	39	40	37	43	39	40	40	1,97
		Ciclo total	79	79	77	84	78	81	80	2,50
	5a (N235 → Hospital)	Vermelho	37	36	37	37	35	37	37	0,84
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	37	38	37	37	39	38	38	0,82
	5c (ISCA → Hospital /N235)	Vermelho	77	77	77	77	77	78	77	0,41
		Amarelo	45	46	43	45	45	46	45	1,10
		Verde	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Ciclo total	30	28	29	31	30	29	30	1,05
	9	9a (Hospital → Stª Joana (Tribunal))	Vermelho	78	77	75	79	78	78	78
Amarelo			3	3	3	3	3	3	3	0,00
Verde			45	46	43	45	45	46	45	1,10
Ciclo total			88	108	111	93	94	89	98	11,37
9b1 (Stª Joana → Hospital)		Vermelho	41	47	41	56	45	39	45	6,21
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	55	55	60	57	57	57	57	1,83
9b2 (Stª Joana → Glícinias)		Ciclo total	99	105	104	116	105	99	105	6,22
		Vermelho	84	85	81	99	91	84	87	6,59
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	12	17	20	14	11	12	14	3,50
11		11a (Av. LP → Estação)	Ciclo total	99	105	104	116	105	99	105
	Vermelho		74	69	70	74	90	71	75	7,79
	Amarelo		3	3	3	3	3	3	3	0,00
	Verde		29	29	29	29	29	29	29	0,00
	11b1 (Estação → Av. LP)	Ciclo total	106	101	102	106	122	103	107	7,79
		Vermelho	52	45	45	47	49	52	48	3,20
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	46	68	52	69	40	60	56	11,84
	11b2 (Estação → Av. LP p/ Rot. Oita)	Ciclo total	101	116	100	119	92	115	107	10,94
		Vermelho	65	74	69	74	69	74	71	3,76
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	5,24
		Verde	25	28	36	35	25	29	30	4,80
13	13a/b (Aveiro → Olho d'agua)	Ciclo total	93	105	97	112	97	106	104	7,12
		Vermelho	57	47	47	47	60	47	51	6,01
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	40	40	35	40	40	40	39	2,04
	13c (Esgueira → Aveiro/Olho d'agua)	Ciclo total	100	90	85	90	103	90	93	6,93
		Vermelho	78	72	77	75	75	75	75	2,07
		Amarelo	3	3	3	3	3	3	3	0,00
		Verde	14	15	15	12	14	15	14	1,17
			Ciclo total	95	90	95	90	92	93	2,26

Anexo III

Exemplo de valores de redução de velocidade para algumas zonas do domínio de estudo

Pontos analisados		R [m]	V_C [km.h ⁻¹]	a_M [m.s ⁻²]	Intervalo de velocidades aplicado [km.h ⁻¹]
Ponto 1	Rotunda	13,3	16,1	-1,45	[15-20]
	1b	15,5	19,9	-1,35	[20-35]
	1f	13,6	18,6	-1,41	[16-30]
	1e	111	56,9	-0,96	[40-55]
	1c	12,6	18,1	-1,44	[16-30]
Curva Pavilhão Beira-Mar		22,8	23,5	-1,35	[20-35]
Ponto 3	Rotunda	40,1	31,2	-1,25	[30-40]
	3e	44,0	32,6	-1,23	[30-40]
	3a	40,0	31,1	-1,25	[30-40]
	3c	26,0	25,1	-1,33	[20-30]
	3d	32,0	27,8	-1,29	[25-35]
Entrada A25 (pirâmides)		118,0	57,3	-0,9	[30-50]
Saída A25 (pirâmides)		114,0	59,2	-1,25	[58-68]
Ponto 4	Acesso A25	81,1	37,9	-1,13	[45-55]
	Saída A25	130,3	65,0	-0,84	[68-78]
Ponto 6	6a	66,1	32,9	-1,26	[29-40]
	6c	30,7	26,9	-1,28	[20-30]
Ponto 7	Rotunda	60,0	36,0	-1,19	[35-45]
	7 a1	85,5	49,9	-0,90	[37-50]
	7 c2	68,0	32,3	-1,28	[30-35]
	7 d2	62,5	36,3	-1,19	[40-45]
	7 b2	90,0	40,4	-1,16	[37-50]
	7 e1	59,0	36,0	-1,19	[40-45]
Ponto 10	Rotunda	19,1	18,5	-1,41	[15-25]
	10 a1	74,6	36,4	-1,14	[25-30]
	10 c2	66,6	31,3	-1,14	[23-27]
	10 b	30,3	27,0	-1,17	[15-25]
Ponto 11	11 b2	17,0	28,1	-1,30	[25-30]
Ponto 12	Rotunda	14,0	18,8	-1,41	[15-20]
	12 a2	82,3	41,5	-1,08	[20-40]
	12 b2	122,0	49,8	-0,90	[30-50]
Lombas de Esgueira		170,0	56,9	-0,96	[15-20]
Ponto 14	Rotunda	21,7	21,1	-1,38	[15-25]
	14 a1	60,5	33,8	-1,21	[29-40]
	14 c2	52,3	31,5	-1,24	[29-40]
	14 c3	62,0	34,3	-1,20	[29-40]

Anexo IV

Emissões de poluentes, observadas e estimadas, em veículos a gasolina e a gasóleo

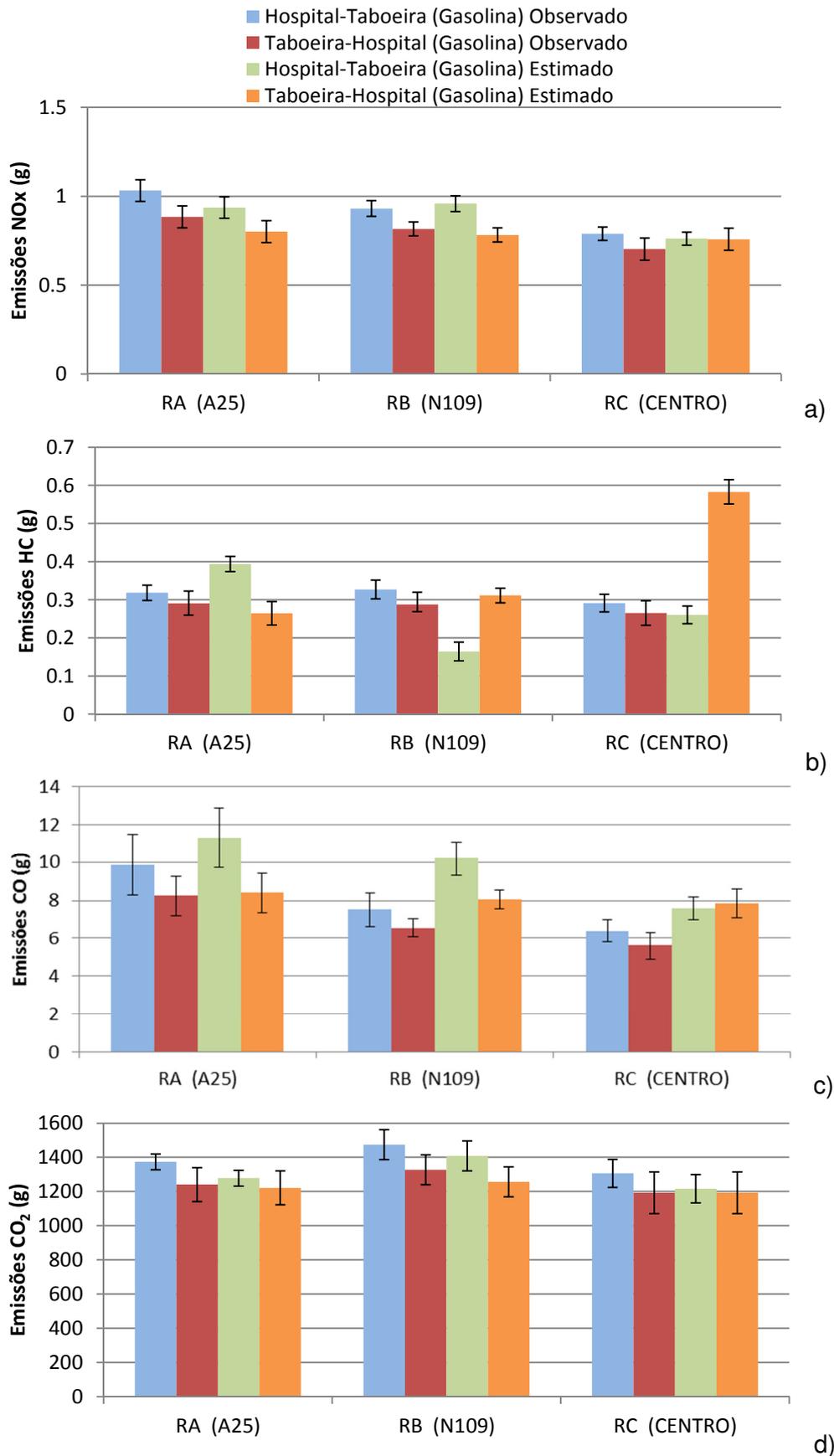


Figura IV.1 - Emissões médias totais (g) para um veículo ligeiro de passageiros a gasolina em hora de ponta para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂.

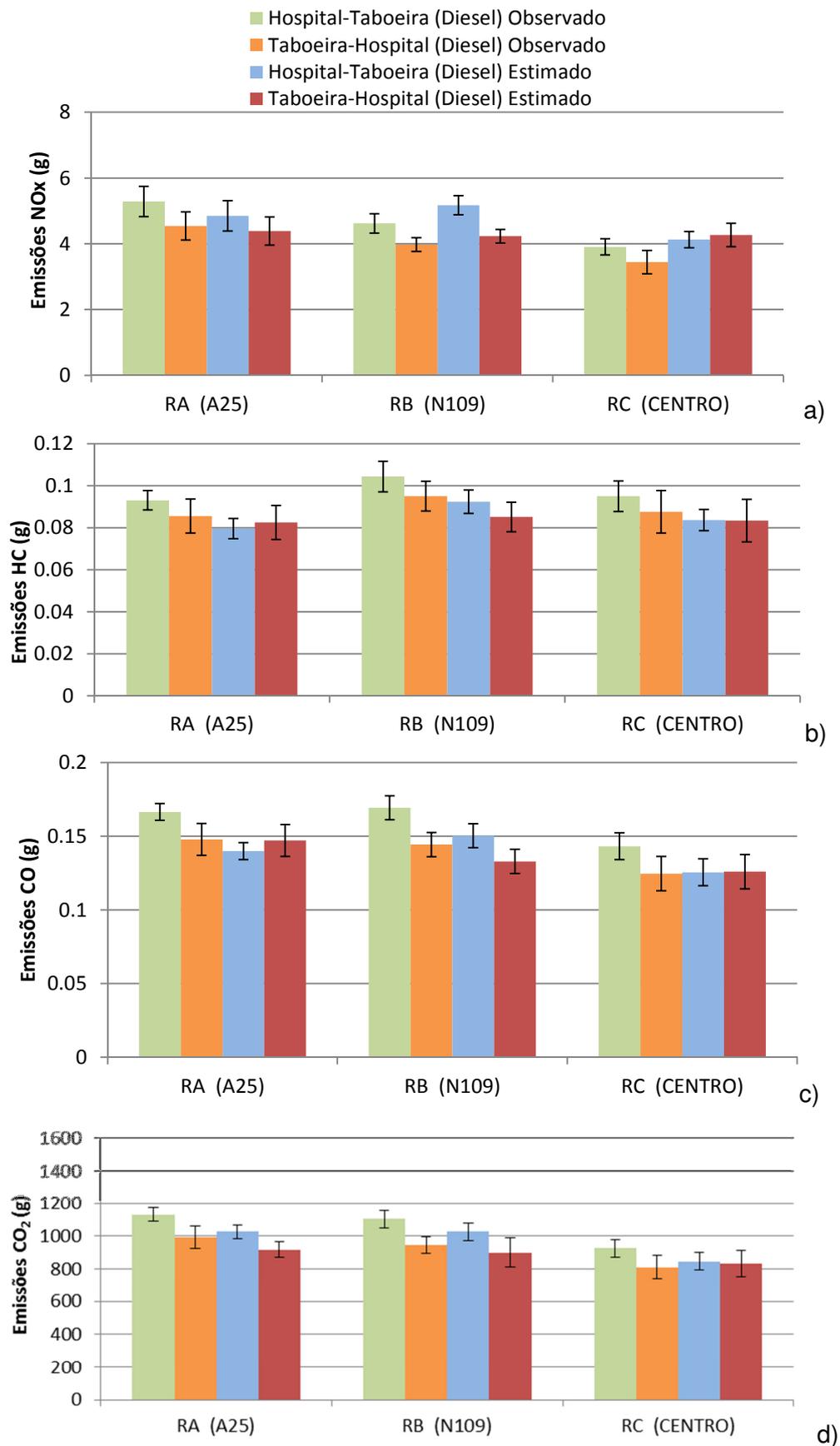


Figura IV.2 - Emissões médias totais (g) para um veículo ligeiro de passageiros gasóleo em hora de ponta para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂.

Anexo V

Emissões de poluentes registadas nos cenários aplicando ITS

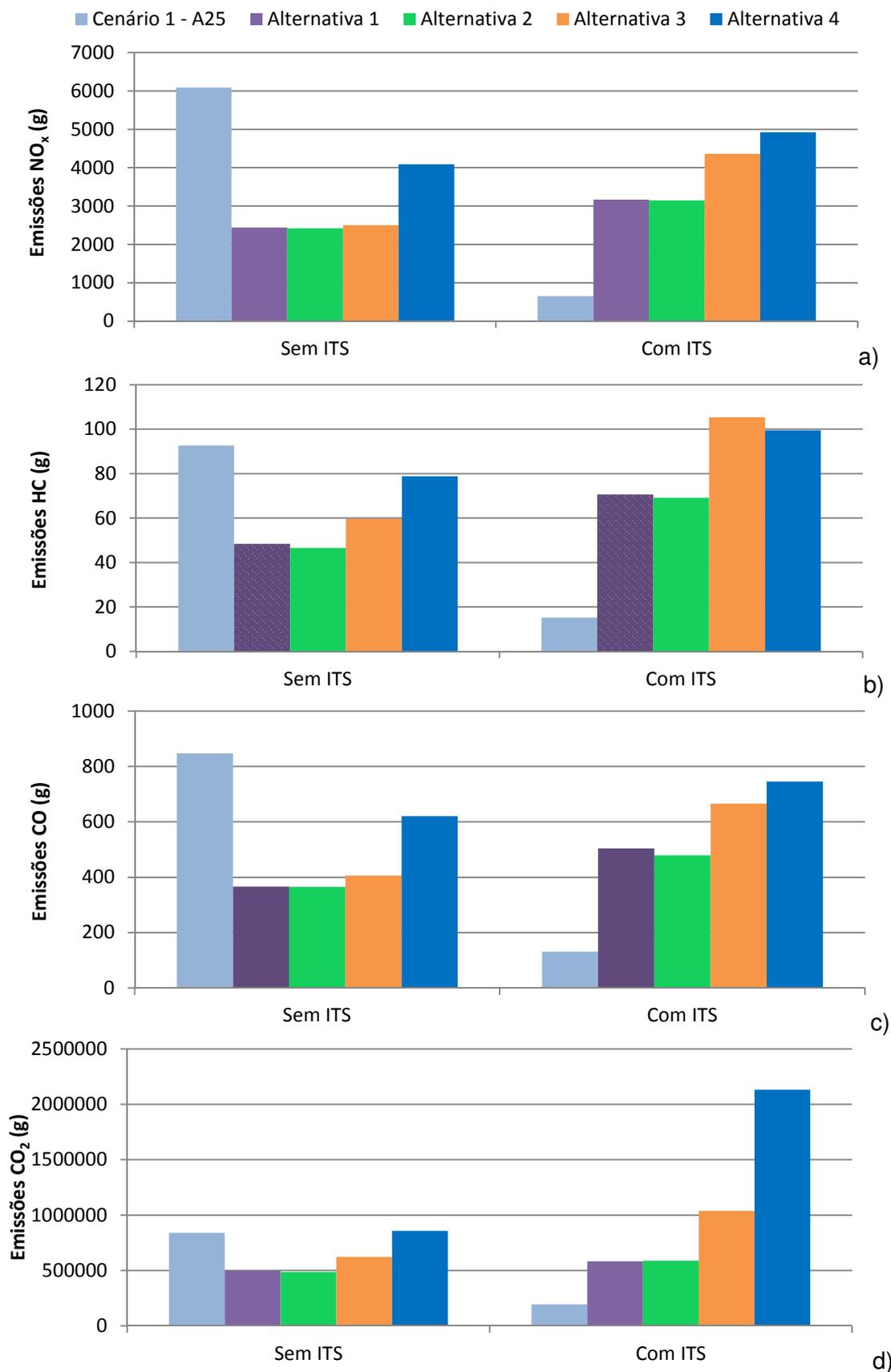


Figura V.1 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 1 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ sem ITS e Com ITS sem sugestão de rota com a situação sem incidente como referência.

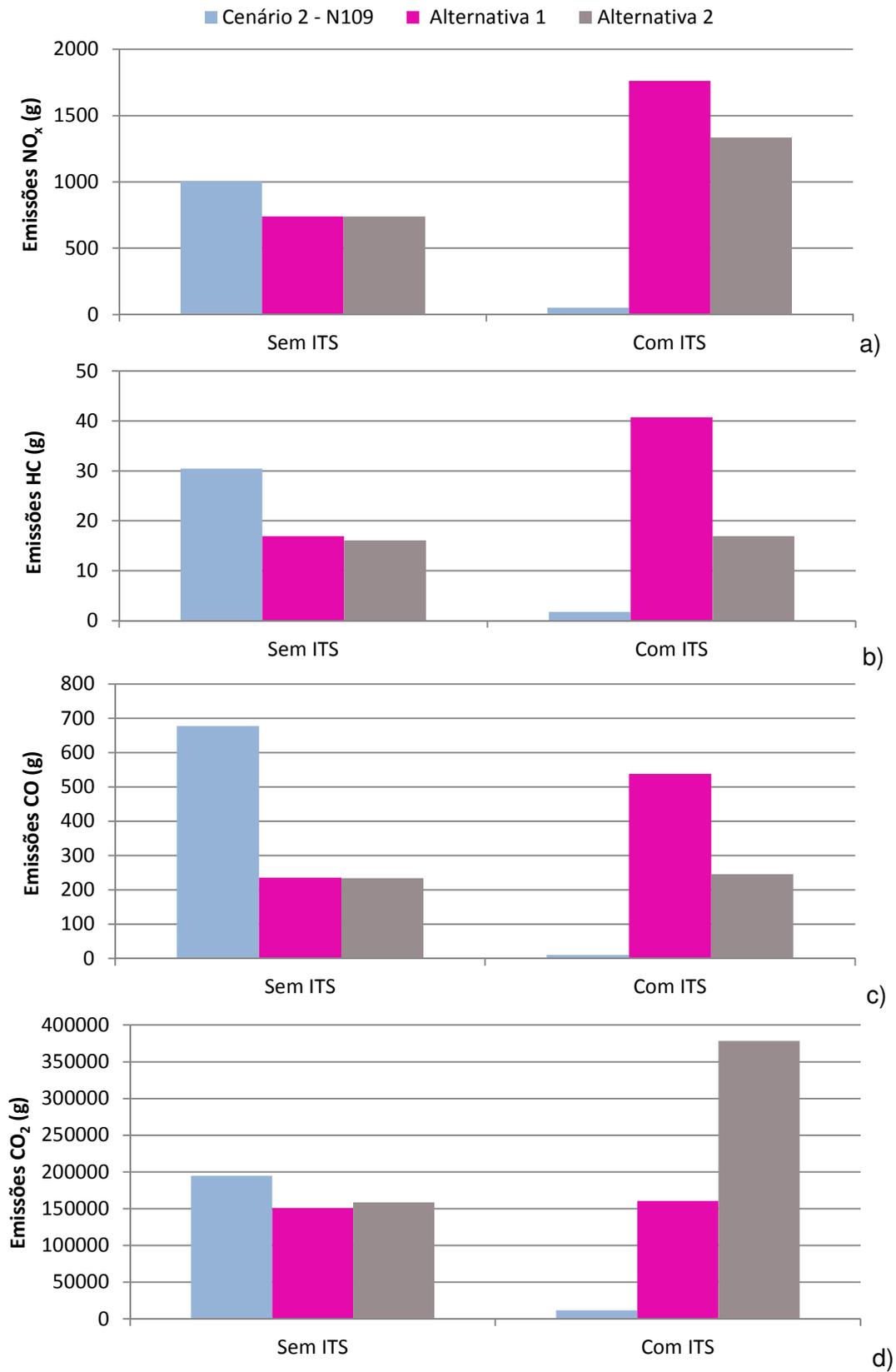


Figura V.2 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 2 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ sem ITS e Com ITS sem sugestão de rota com a situação sem incidente como referência.

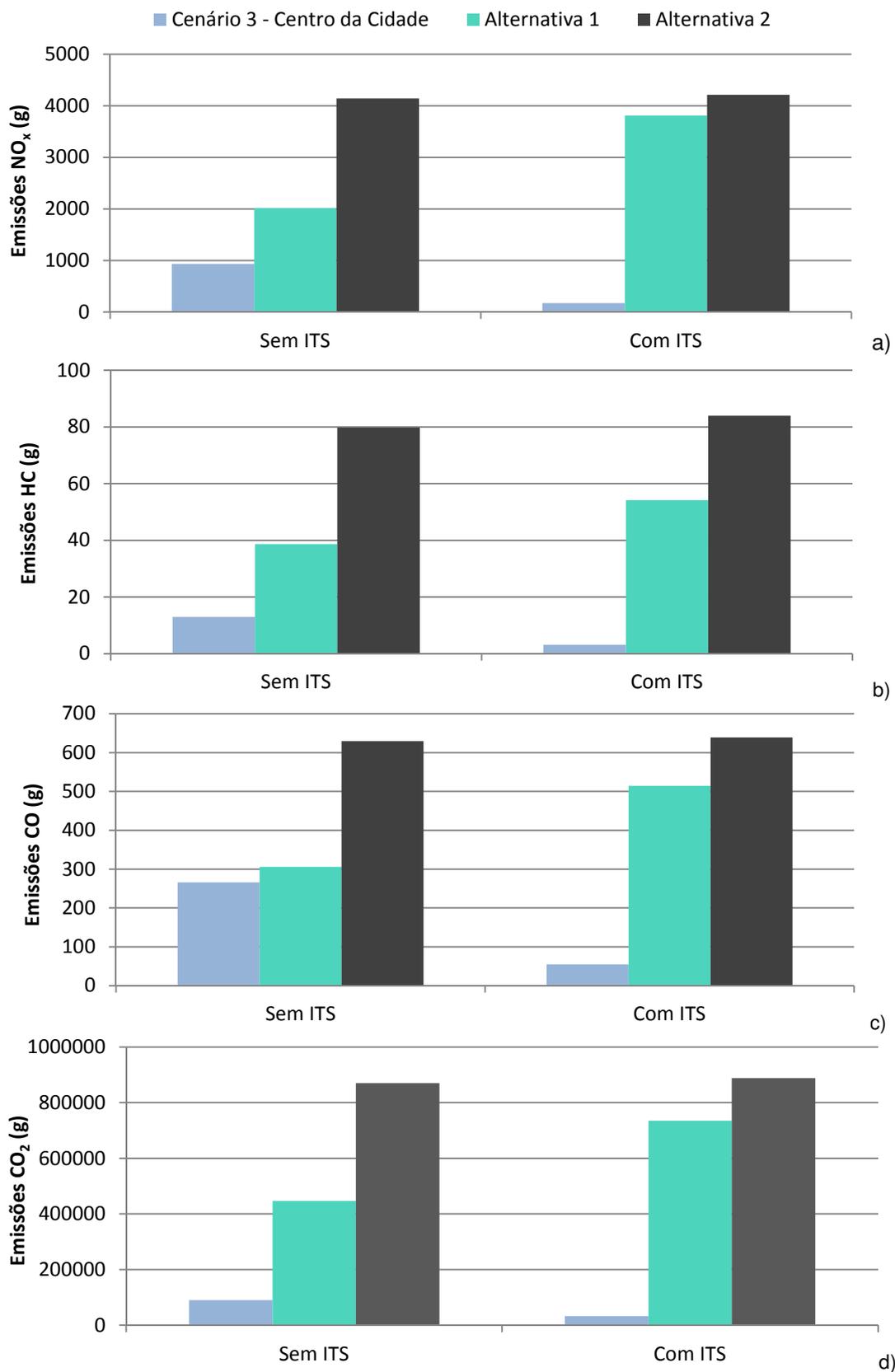


Figura V.3 - Emissões totais (g), em hora de ponta, nas alternativas do cenário 3 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ sem ITS e Com ITS sem sugestão de rota com a situação sem incidente como referência.

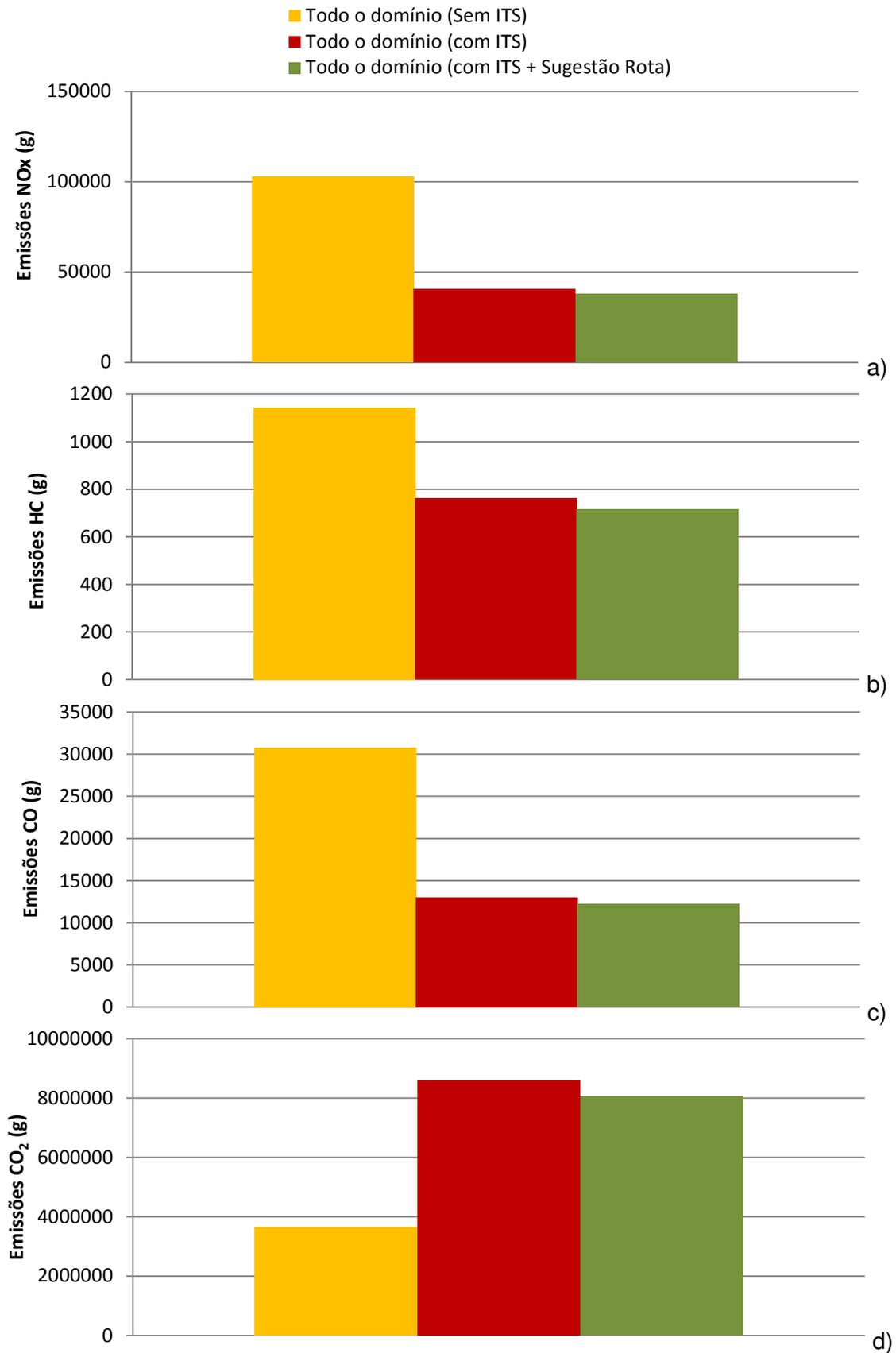


Figura V.4 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 1 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ tendo como referencia a situação sem incidente.

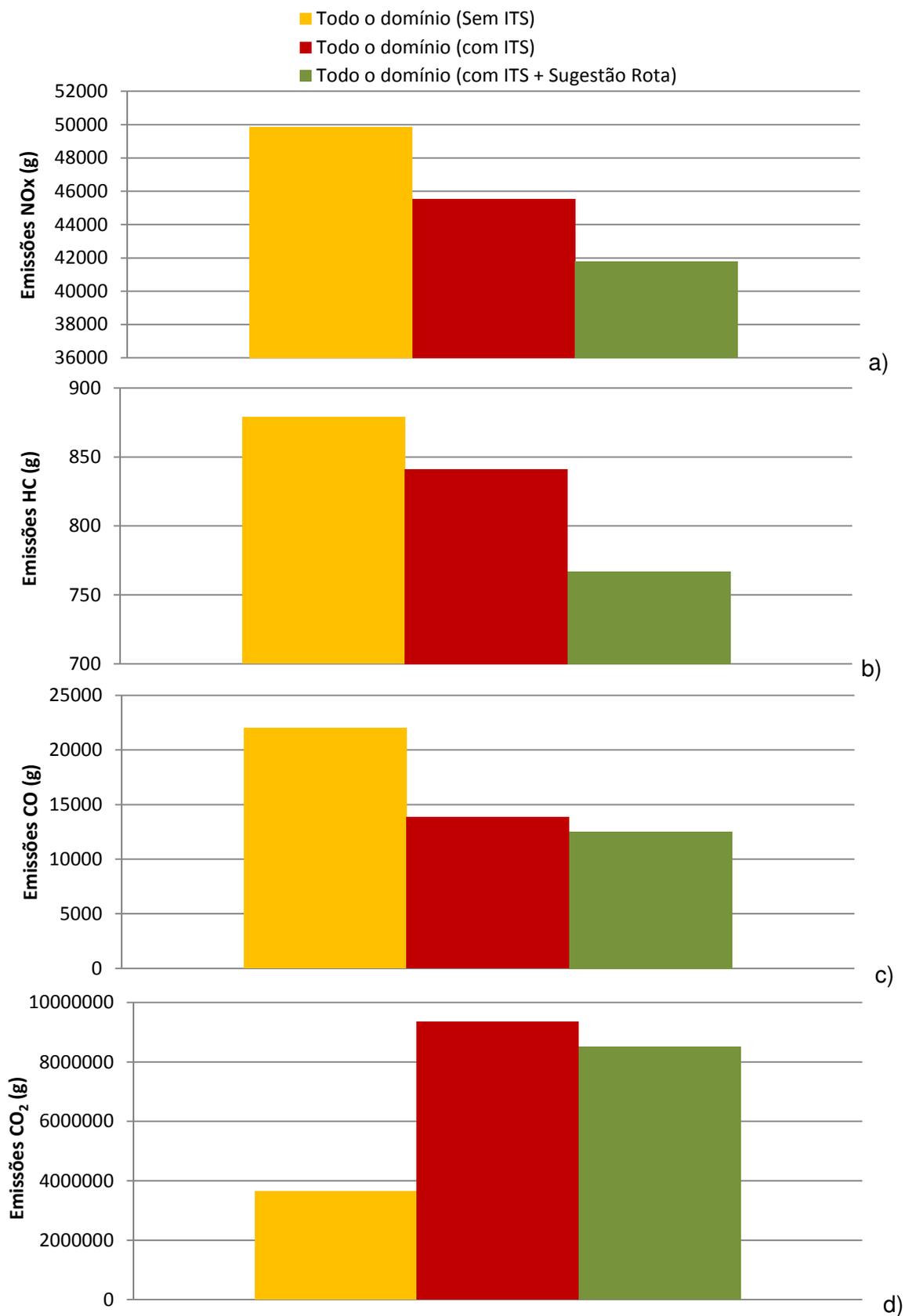


Figura V.5 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 2 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ tendo como referencia a situação sem incidente.

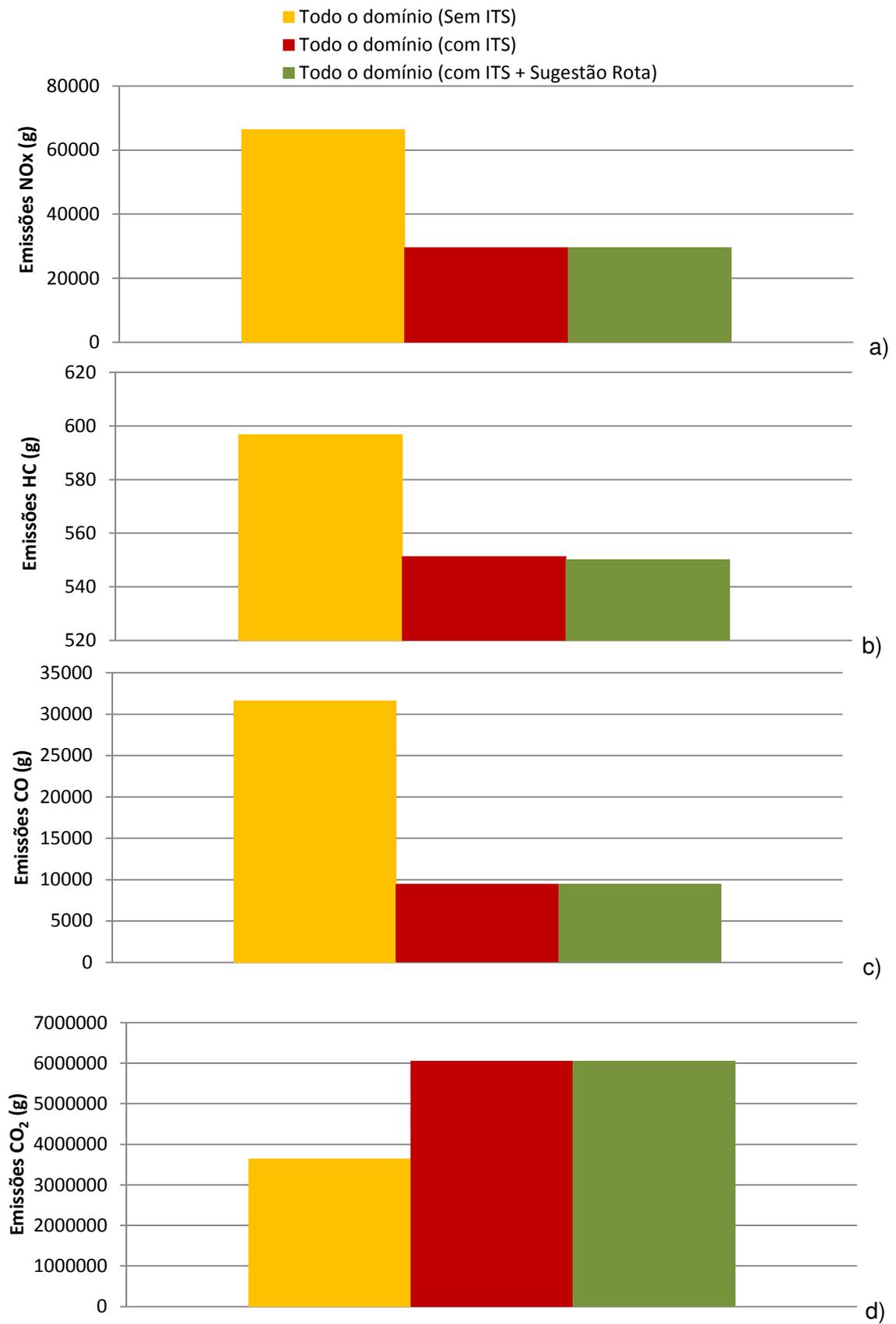


Figura V.6 - Emissões totais (g), em hora de ponta, para todo o domínio no cenário 3 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ tendo como referencia a situação sem incidente.

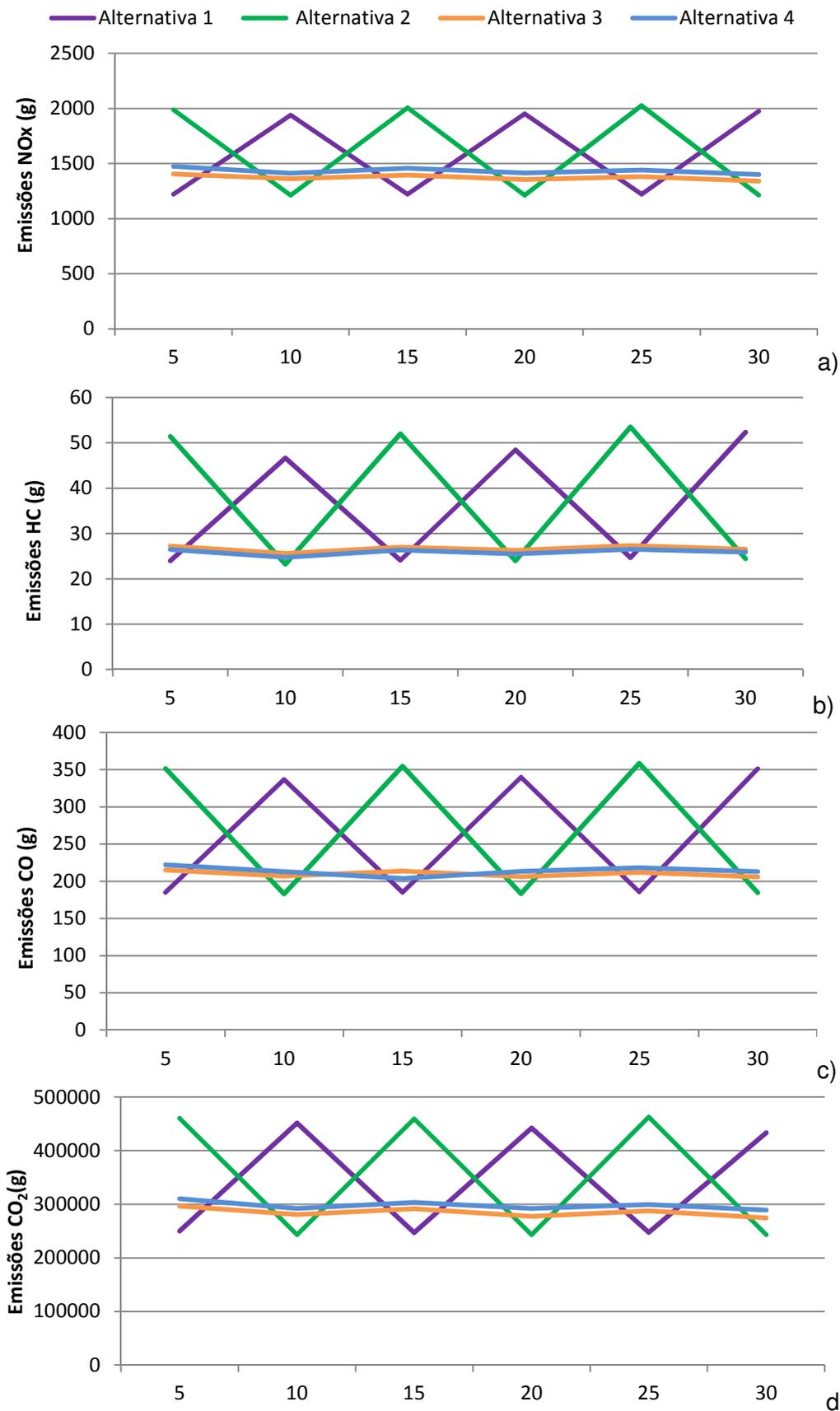


Figura V.7 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 1 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ com sugestão de rota.

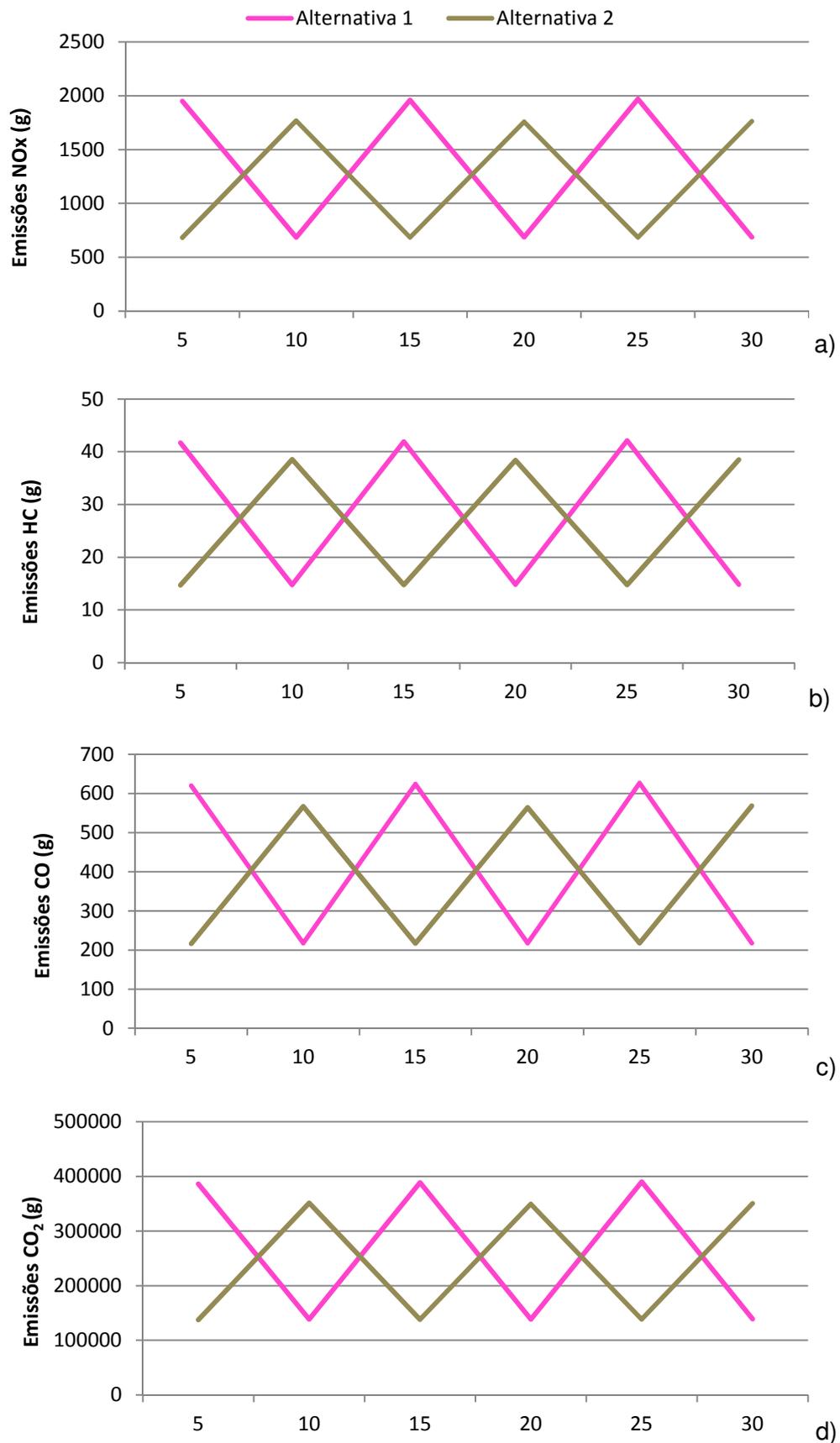


Figura V.8 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 2 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ com sugestão de rota.

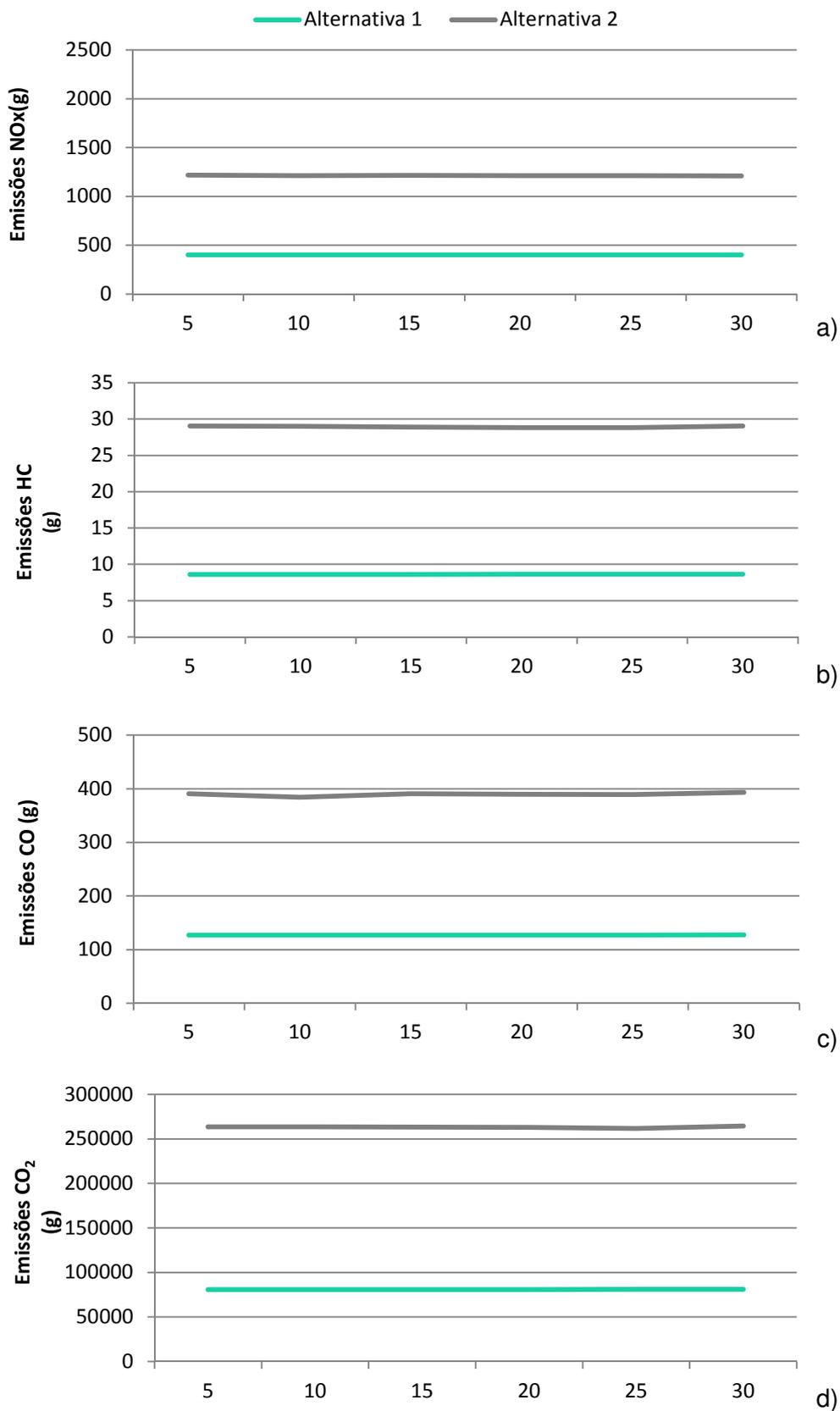


Figura V.9 - Emissões totais (g), em intervalos de 5 minutos, nas alternativas do cenário 3 para: a) NO_x; b) HC; c) CO e d) CO₂ com sugestão de rota.