

# Influência do tempo de viagem nos custos ambientais

<sup>1</sup>Carlos Sampaio, <sup>1</sup>Jorge M. Bandeira, <sup>1</sup>Margarida C. Coelho

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica  
Centro de Tecnologia Mecânica e Automação  
Universidade de Aveiro, Portugal

**Resumo** — Em cidades de média dimensão com baixa densidade populacional, o sistema de transporte públicos tende a ser deficitário, sendo, portanto, a utilização do veículo rodoviário individual o modo de transporte predominante. A utilização deste meio de transporte pode levar a congestionamento a certas horas do dia, implicando um aumento das emissões.

Neste trabalho propôs-se estudar a influência que o congestionamento tem nas emissões e nos custos ambientais. Com este objetivo, num caso de estudo, foi estimado o aumento de emissões/custos que um cenário com congestionamento tem em relação a um cenário sem congestionamento. Foi verificada a emissão de poluentes para um veículo típico a *diesel* e um a gasolina, e para um cenário de congestionamento as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram 32% e 46%, e os custos ambientais 33% e 46%, respetivamente para cada tipo de veículo. Neste estudo foi também possível desenvolver modelos que descrevem os custos ambientais em função do tempo de viagem e da distância percorrida. Foi estimado o custo para as 3 rotas sugeridas para realizar uma certa viagem; conclui-se que uma das rotas implica menores custos ambientais, cerca de 20% menos do que a rota que implica maiores custos ambientais.

**Palavras-chave:** Tempo de viagem; emissões; custos ambientais.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de transportes, principalmente o transporte rodoviário individual no qual a mobilidade se encontra assente nos centros urbanos de baixa densidade populacional, acarreta vários impactes do foro ambiental, como por exemplo as emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Óxidos de Azoto (NO<sub>x</sub>) e Compostos Orgânicos Voláteis não-metânicos (NMVOC), sendo que o setor dos transportes contribui com cerca de 28% das emissões totais de CO<sub>2</sub> na União Europeia [1].

O congestionamento de tráfego rodoviário deteriora a qualidade do ar e faz com as emissões de CO<sub>2</sub> aumentem. De forma a diminuir o congestionamento, alguns mecanismos têm sido implementados e estudados como por exemplo a utilização de vias semaforizadas, no entanto, estes, por norma não têm em conta as emissões provenientes dos veículos que se encontram em espera quando o sinal está vermelho, nem capacidade para reagirem em tempo real a acontecimentos

inesperados como acidentes e obras na via [2]. Chrpa et al., (2015) sugere que é possível diminuir as emissões de poluentes (CO<sub>2</sub> e outros) assim como o tempo de viagem (diminuindo o congestionamento) através de uma escolha de rota com base em critérios ambientais [2]. A utilização de dados de navegação disponíveis em várias plataformas pode ser empregue para quantificar as emissões [3]. Kellner (2016) através de dados de navegação, constatou o impacte que o congestionamento regular (que ocorre a certos momentos do dia em alguns troços da via rodoviária) tem nas emissões de CO<sub>2</sub>, tendo concluído que o mesmo pode levar a um aumento das emissões em valores entre os 2,5% e os 50% [3].

Os impactes ambientais podem ser monetizados tendo como princípio que os mesmos causam danos p.e. na saúde humana, o que acarreta também custos hospitalares, podendo estes ser chamados de custos externos do sistema de transportes. Com base neste princípio é possível estimar um fator de custo associado à emissão de poluentes como por exemplo CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC entre outros para cada país tendo em conta as suas especificidades [4].

Este estudo tem como objetivo aferir a influência que o aumento do tempo de viagem para uma mesma via (aumento dos níveis de congestionamento) tem nas emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e NMVOC, nos seus custos associados, assim como aferir uma ferramenta simples para estimar os custos ambientais com base na distância e no tempo de viagem.

## 2. METODOLOGIA

Foi escolhida uma via da cidade de Aveiro onde costuma existir congestionamento regular, que ocorre normalmente no mesmo período (fig. 1) como caso de estudo. Esta via tem cerca de 700 m e foram equacionados dois cenários a serem equiparados (tabela 1), onde será calculada a diferença entre os dois cenários a nível de emissões e custos ambientais.



Figura 1 - Tráfego típico na Alameda Silva Rocha, Aveiro a uma segunda-feira às 17:50. Adaptado de [5].

Tabela 1 - Cenários equacionados, tempo de viagem e velocidade média respetivos.

Cenário	Tempo de viagem	Velocidade média
Free-flow (C1)	~1 min	40 km/h
Com congestionamento (C2)	~2 min	20 km/h

### 2.1. Estimativa de emissões

As emissões foram estimadas recorrendo ao modelo COPERT4 [6]. Como input foram utilizados os dados da frota portuguesa [7], dados como população, quilómetros percorridos, entre outros, sendo obtido o valor das emissões dos poluentes considerados para diferentes velocidades, e posteriormente modelado um veículo típico *diesel* e gasolina, através da seguinte metodologia:

- Somatório do produto entre a população de cada veículo e a sua quilometragem anual para as velocidades consideradas;

$$vkmt = \sum n_i \times km_i \quad (1)$$

Onde: n = número de veículos, i = tipo de veículo e km = quilómetros percorridos/ano

- Divisão entre as emissões totais e o produto entre a população de cada veículo e a sua quilometragem anual;

$$fe = \frac{\sum \text{poluente}_e \times n_{total}}{vkmt} \quad (2)$$

Onde fe = fator de emissão (g/km); e = poluente.

- Obtenção dos gráficos *fator de emissão vs velocidade* de forma a retirar funções com base em regressão para um veículo típico a *diesel* e a gasolina.

As curvas obtidas para um veículo a *diesel* típico podem ser encontradas na fig. 2 sendo que as funções podem ser encontradas na tabela 2.

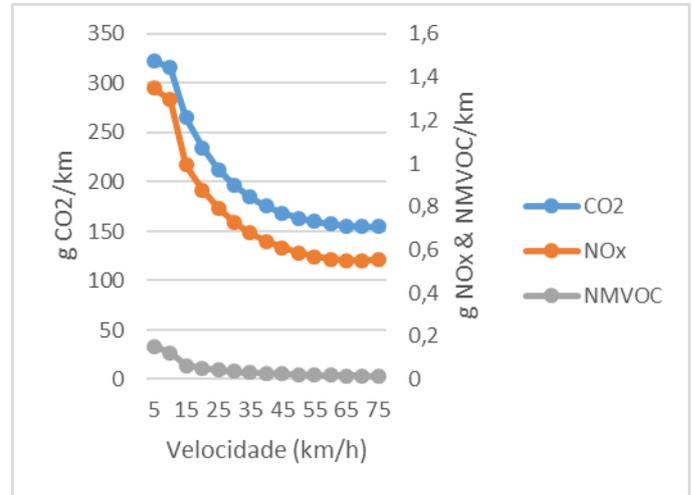


Figura 2 - Curvas obtidas para um veículo diesel típico.

Tabela 2 - Funções para estimar o fator de emissão para cada tipo de tecnologia.

Tecnologia	Fator de emissão (g/km)	Funções	R <sup>2</sup>
Diesel	CO <sub>2</sub>	-3,07016*v+312,86	0,87
Diesel	NO <sub>x</sub>	-0,01396*v+1,259	0,84
Diesel	NMVOC	-0,00201*v+0,1168	0,72
Gasolina	CO <sub>2</sub>	-4,45404*v+373,48	0,78
Gasolina	NO <sub>x</sub>	-0,00406*v+0,4168	0,56
Gasolina	NMVOC	-0,01924*v+1,2441	0,61

Onde v é a velocidade em km/h.

Sendo, portanto, o cálculo das emissões:

$$ET_e = fe \times d \quad (3)$$

Onde ET = emissões e d = distância (km).

### 2.2. Custos ambientais

Os fatores monetários associados aos poluentes encontrados podem ser encontrados na tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de custo ambientais para Portugal [4].

Poluente	€/ton
CO <sub>2</sub>	90
NO <sub>x</sub>	1957
NMVOC	1048

Sendo o cálculo do custo total associado à via:

$$CA = \sum fm_e \times ET_e \quad (4)$$

Onde CA = Custo ambiental; fm = fator monetário.

#### RESULTADOS

No que concerne as emissões, no caso de veículo a *diesel* (tabela 4), as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram 32%, as de NO<sub>x</sub> cerca de 40% e as de NMVOC cerca de 110%. Enquanto que no caso do veículo a gasolina (tabela 5), as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram 46%, as de NO<sub>x</sub> aumentaram 32% e as de NMVOC aumentaram 81%.

**Tabela 4 - Emissões obtidas para ambos os cenários para um veículo típico a *diesel*.**

Cenário	g CO <sub>2</sub>	g NO <sub>x</sub>	g NMVOC
C1	131,14	0,48	0,03
C2	173,51	0,68	0,05

**Tabela 5 - Emissões obtidas para ambos os cenários para um veículo típico a gasolina.**

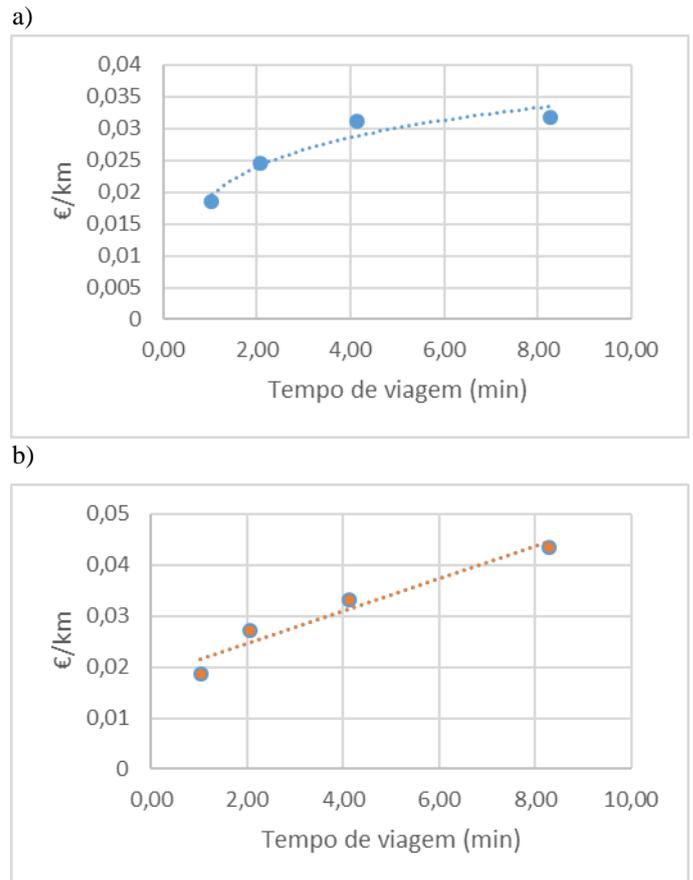
Cenário	g CO <sub>2</sub>	g NO <sub>x</sub>	g NMVOC
C1	134,77	0,18	0,33
C2	196,23	0,23	0,59

No caso dos custos ambientais, os mesmos aumentaram cerca de 33% nos veículos a *diesel* e 46% nos veículos a gasolina (tabela 6).

**Tabela 6 - Custos ambientais associados a um veículo típico a *diesel* e a gasolina para o caso de estudo considerado.**

Cenário	<i>Diesel</i> (€)	Gasolina (€)
C1	0,01278	0,01282
C2	0,01699	0,01874

Definiu-se o custo específico (CE) (€/km) como o custo ambiental dado em função do tempo de viagem. Para cálculo do CE recorre-se a curvas de regressão que relacionam o custo ambiental por quilómetro associado ao caso de estudo (Figura 1) para vários tempos de viagem da mesma. Esta informação é dada quando se planeia uma viagem p.e. no Google Maps, sendo que com estas curvas seria possível estimar o custo associado a cada viagem dentro do intervalo de tempo de viagem representativo. As curvas obtidas encontram-se na figura 3.



**Figura 3 - Curvas obtidas para a) veículo diesel b) veículo gasolina para o caso de estudo da Figura 1.**

As funções obtidas são as seguintes:

Diesel:

$$Se 1 < tv < 8, então CE = 0,0067 \ln(tv) + 0,0193 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,92$$

Gasolina:

$$Se 1 < tv < 8, então CE = 0,0032 \times tv + 0,0183 \quad (6)$$

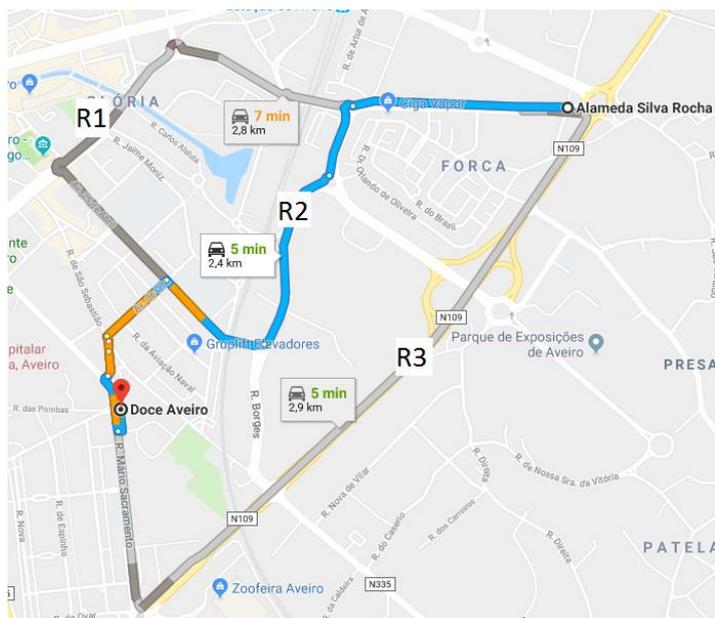
$$R^2 = 0,94$$

Onde tv = tempo de viagem (min) e CE = consumo específico (€/km).

Sendo, portanto, o Custo Ambiental (CA):

$$CA = CE \times d \quad (7)$$

A título de exemplo, no caso de um veículo a *diesel* aplicou-se a função (5) para estimar o custo (tabela 7) para a viagem exposta na figura 4.



**Figura 4 - Rotas sugeridas pelo Google Maps para uma viagem entre a Alameda Silva Rocha e a Doce Aveiro. Adaptado de [8].**

**Tabela 7 - Resultados obtidos para um veículo a Diesel para as rotas sugeridas na figura 4.**

	R1	R2	R3
<b>tv (min)</b>	7	5	5
<b>d (km)</b>	2,8	2,4	2,9
<b>CE (€/km)</b>	0,0323	0,0301	0,0301
<b>CA (€)</b>	0,0905	0,0722	0,0872

A R2 e a R3 apresentam o mesmo CE, sendo que a R1 apresenta o CE superior. Em termos de CA, a rota com melhor desempenho ambiental é a R2, com um custo ambiental 20% inferior em relação à R1 e 17% inferior em relação à R3.

#### CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é quantificar a influência que o aumento do tempo de viagem possui para uma viagem com a mesma distância, fenómeno conhecido como congestionamento, tem nas emissões e nos custos ambientais associados às mesmas.

No caso de estudo considerado (Alameda Silva Rocha – Fig. 1), no caso de um veículo *diesel*, as emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e NMVOC aumentam significativamente, 32%, 40% e 110% respetivamente, sendo que custo ambiental acresce 33%. Para um veículo a gasolina as emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e NMVOC aumentam cerca de 46%, 32% e 81% respetivamente. Os custos ambientais aumentam cerca de 46%. Os valores de aumento de CO<sub>2</sub> vão de encontro com a literatura, que diz que

as emissões de CO<sub>2</sub> podem aumentar entre 2,5% e 50%, devido ao congestionamento [3].

Neste estudo foi também possível desenvolver modelos que permitem descrever o CA para um determinado intervalo de tempo. O modelo para veículos a *diesel* foi aplicado numa viagem onde nos são fornecidas 3 rotas, com o objetivo de estimar qual das três implica menores custos ambientais. A rota com menor CA é a R2, com um custo cerca de 20% inferior em relação à R1 e 17% inferior em relação à R3.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Inclusão das emissões de PM<sub>2,5</sub> no cálculo dos custos ambientais e nos modelos obtidos.
- Validação e expansão dos modelos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos projetos estratégicos UID-EMS-00481-2013-FCT; CENTRO-01-0145-FEDER-022083; CISMOB (PGI01611, financiado pelo Interreg Europe Programme); MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-031923); @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014) cofinanciado pelo COMPETE2020, Portugal2020 – Programa Operacional para a Competividade e Internacionalização, União Europeia FEDER e FCT. J. Bandeira o apoio da FCT para a bolsa SFRH/BPD/100703/2014.

#### REFERÊNCIAS

- [1] European Environment Agency (EEA). (2017). Statistical pocketbook 2017 - Mobility and Transport - European Commission. Obtido de [https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2017\\_en](https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2017_en)
- [2] Chrapa, L., Magazzeni, D., McCabe, K., McCluskey, T. L., & Vallati, M. (2015). Automated planning for urban traffic control: Strategic vehicle routing to respect air quality limitations. Em *CEUR Workshop Proceedings*. CEUR-WS. Obtido de [https://kclpure.kcl.ac.uk/portal/en/publications/automated-planning-for-urban-traffic-control\(cc05a23c-1545-4ecd-80a6-f82722fc296d\).html](https://kclpure.kcl.ac.uk/portal/en/publications/automated-planning-for-urban-traffic-control(cc05a23c-1545-4ecd-80a6-f82722fc296d).html)
- [3] Kellner, F. (2016). Exploring the impact of traffic congestion on CO2 emissions in freight distribution networks. *Logistics Research*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.1007/s12159-016-0148-5>
- [4] Korzhenevych, A., Dehnen, N., Brocker, J., Holtkamp, M., Meier, H., Gibson, G., & Cox, V. (2014). Update of the Handbook on External Costs of Transport. Obtido de [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook\\_on\\_external\\_costs\\_of\\_transport\\_2014\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf)
- [5] Google Maps. (2018). <https://www.google.pt/maps/@40.6388555,-8.6350021,16.25z/data=!5m1!1e1>
- [6] Emisia. (2016). V4.11.4. <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>
- [7] Emisia (2015). COPERT countries data. <http://www.emisia.com/utilities/copert-data/>
- [8] Google Maps. (2018). <https://www.google.com/maps/dir/40.6406894,-8.632657/Doce+Aveiro/@40.6374733,-8.6435865,15.25z/data=!4m9!4m8!1m0!1m5!1m1!1s0x0:0x136ce747a3b86a62!2m2!1d-8.6483136!2d40.6326092!3e0>