

**DESEMPENHO ENERGÉTICO, AMBIENTAL E
ECONÓMICO PARA DESLOCAÇÕES URBANAS
MULTIMODAIS EM DIFERENTES GAMAS DE DISTÂNCIA**

CAROLINA SOFIA CARVALHO RIBEIRO BELGA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM

ENGENHARIA E GESTÃO DA ENERGIA

ORIENTADORES: Prof. Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura

Dr. Patrícia de Carvalho Baptista

JÚRI

PRESIDENTE: Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

ORIENTADOR: Dr. Patrícia de Carvalho Baptista

VOGAL: Prof. Francisco Ferreira

OUTUBRO 2021

RESUMO

Num contexto de mudança associado à mobilidade urbana, como o surgimento de novos serviços e tecnologias, torna-se imperativo repensar os modos usados. O objetivo deste trabalho consistiu na obtenção de fatores de emissão e consumo de energia multimodais em função da distância de cada viagem, num contexto urbano. Além disso, foi efetuada uma análise ao custo total de diferentes modos para o utilizador, segundo a repartição modal, para diferentes gamas de distância, no cenário atual e considerando um cenário alternativo de promoção de soluções de micromobilidade.

A metodologia usada inclui a utilização do COPERT e o tratamento de dados do IMob para obtenção de funções de consumo de energia e emissão de poluentes para diferentes gamas de distância, para diferentes modos de transportes. A média do consumo energético e da emissão de CO₂ para a frota ao longo das gamas de distância foi 1.42 MJ/(pass.km) e 56 g/(pass.km), respetivamente. O estudo dos padrões de mobilidade na AML revela que as deslocações com origem e/ou destino em Lisboa são as mais eficientes, justificado pela repartição modal mais favorável por comparação com as viagens noutros municípios. É usado o método do TCO para estimar o custo total de posse de automóveis privados. Também foi estimado o custo total de utilização dos outros modos de transportes da AML. Revelando-se uma redução (€/km) relativamente ao veículo a gasolina de 28% (BEV) e -1% (PHEV). A promoção de micromobilidade na repartição modal, levou a poupanças de 85€/mês e 1365 tons CO₂/dia.

Palavras-chave: Eficiência energética; Descarbonização; Fatores de emissão multimodais; TCO; Mobilidade urbana; AML

ABSTRACT

In a context of change associated with urban mobility, such as the emergence of new services and technologies, it is imperative to rethink the modes used. The objective of this work was to obtain multimodal energy consumption and emission factors as a function of the distance of each trip, in an urban context. In addition, an analysis of the total cost of different modes for the user was carried out, according to the modal split, for different ranges of distance, in the current scenario and considering an alternative scenario promoting micromobility solutions.

The methodology used includes the use of COPERT and the processing of IMob data to obtain energy consumption and pollutant emission functions for different ranges of distance, for different modes of transport. The average energy consumption and CO₂ emission for the fleet over the distance ranges was 1.42 MJ/(pass.km) and 56 g/(pass.km), respectively. The study of mobility patterns in the AML reveals that, trips with origin and/or destination in Lisbon are the most efficient, justified by the favorable modal split compared to trips in other municipalities. The TCO method is used to estimate the total cost of owning private cars. The total cost of using other modes of transport was also estimated in the AML. Revealing a reduction (€/km) compared to gasoline vehicles of 28% (BEV) and -1% (PHEV). The promotion of micromobility in the modal split led to savings of 85€/month and 1365 tons of CO₂/day.

Keywords: Energy efficiency; Decarbonization; Multimodal emission factors; TCO; Urban mobility; AML

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial aos meus orientadores, doutora Patrícia De Carvalho Baptista e professor doutor Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura, por todo o acompanhamento ao longo deste período, todos os conhecimentos transmitidos e pela constante disponibilidade para me ajudar. A ajuda e apoio foi fundamental para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos e especialmente, às minhas amigas e colegas de faculdade, Patrícia Correia, Patrícia Abreu, Ana Lourenço e Rita Barbosa. Pelos conselhos, motivação, apoio e momentos de descompressão, que tornaram este processo e a minha experiência na faculdade muito especial.

Ao André por todo o amor, momentos felizes e por me ouvir e apoiar em momentos de stress e preocupação num trabalho tão extenso e exigente.

Finalmente, à minha família por serem sempre compreensivos, interessados e por fazerem sempre de tudo para que fosse possível ter uma boa educação académica.

ÍNDICE DE TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação	5
1.3	Objetivo	7
1.4	Estrutura da tese	7
2	ESTADO DA ARTE	9
2.1	Consumo de energia e emissão de poluentes	9
2.2	Custos Totais de Posse do Automóvel	13
3	METODOLOGIA	22
3.1	Considerações Gerais	22
3.2	Caracterização do consumo de energia e emissão de veículos	23
3.3	Caracterização de custos totais de transportes por gama de distância	28
3.3.1	Caracterização de custos associados à posse de um veículo ligeiro privado	28
3.3.2	Caracterização de custos associados a transportes alternativos	34
3.4	Caracterização de padrões de mobilidade	36
3.5	Avaliação de impactes associados aos padrões de mobilidade	37
4	RESULTADOS	41
4.1.	Consumo de Energia e Emissão de Veículos	41
4.2.	Padrões de Mobilidade	47
4.3.	Custos Totais por Gama de Distância	60
4.3.1	Custos totais associados à posse de veículos privados	60
4.3.2	Custos associados aos restantes modos de transporte	63
4.4.	Análise do impacto de dois cenários de política de mobilidade urbana sustentável	64
5.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	69
5.1.	Síntese, Contributos e Principais Conclusões	69

5.2.	Limitações.....	70
5.3.	Trabalho futuro.....	71
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
	ANEXOS.....	80
	ANEXO.1 Padrão Europeu de Emissões.....	1
	ANEXO.2 Informação retirada do NIR.....	1
	ANEXO.3 Dados sobre combustíveis.....	2
	ANEXO.4 Informação referente à utilização da base de dados confidencial.....	3
	ANEXO.5 Resultados das simulações para o ISV.....	4
	ANEXO.6 Resultados das simulações para o IUC.....	5
	ANEXO.7 Resultados das simulações para o seguro.....	6
	ANEXO.8 Custo de estacionamento e de portagem.....	7
	ANEXO.9 Custo médio ponderado do automóvel partilhado.....	8
	ANEXO.10 Pressupostos referentes ao IMob.....	9
	ANEXO.11 Gráficos obtidos para o consumo e a emissão em função da velocidade.....	10
	ANEXO.12 Gráficos de emissão em função da velocidade: literatura VS resultados.....	13
	ANEXO.13 Gráficos obtidos para velocidade em função da distância.....	14
	ANEXO.13 HISTOGRAMA PARA GAMAS DE DISTÂNCIA.....	15
	ANEXO.14 GRÁFICOS OBTIDOS PARA O CONSUMO E A EMISSÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA.....	16
	ANEXO.15 MATRIZ DE VIAGENS DE AUTOMÓVEL ENTRE MUNICÍPIOS.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos modos de transporte para deslocações na Área Metropolitana de Lisboa [16].	3
Figura 2 - Diferenças na consciência de problemas entre utilizadores [17].	4
Figura 3 –Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental - Maio 2021 [22].	5
Figura 4 - Reduções das emissões de poluentes (CO, NOx, NMHC, PM10, SO ₂ e CO ₂) por diferentes tipos de veículos [28].	10
Figura 5 - Emissões de CO ₂ (a), NO (b), NO ₂ (c), NOx (d) e PM (e), de acordo com as diferentes normas Euro, para carros a gasolina, a gasóleo, táxis, autocarros, veículos comerciais de mercadoria e pesados de mercadoria. Normas Euro “NA” corresponde a veículos cuja norma é desconhecida. Fonte: [29].....	11
Figura 6 - TCO (€ e €/km) para veículos de dimensão média (segmento C) de posse privada e TCO (€/km) para veículos comerciais (N1) em função da quilometragem anual, na Alemanha. Fonte: [38]	16
Figura 7 - TCO por tipo de frota para diferentes motorizações e dimensões em Espanha, para uma quilometragem anual de 15000 km; Motorização G referente a gasolina, D a gasóleo e E a elétrico; Segmento de A a N1 correspondentes à classificação EEC. Fonte: [38]	17
Figura 8 - Variação de TCO entre veículos elétricos e convencionais em função da quilometragem anual, por dimensão de veículo e para frotas comerciais na Holanda. Fonte: [38]	17
Figura 9 - Componentes do TCO para cada veículo em cada Região. Fonte: [39]	19
Figura 10 - Sequência de passos para a metodologia.	23
Figura 11 - Gráficos obtidos para o consumo de energia (EC) e a emissão de NOx para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro. Modos de tráfego urbano: hora de ponta (P) e fora de ponta (FP).....	45
Figura 12 - Velocidade média por modo de transporte em função da distância.....	48
Figura 13 - Duração média de viagem por modo de transporte em função da distância.....	49
Figura 14 - Repartição modal das viagens em função da distância.	49
Figura 15 - Distribuição modal das deslocações em hora de ponta e fora da hora de ponta.....	51
Figura 16 - Distribuição modal do consumo de energia.	53
Figura 17 - Distribuição modal da emissão de CO ₂	53
Figura 18 - Repartição modal de deslocações intramunicipais.....	54

Figura 19 - Resultados obtidos para o TCO e custo mensal de veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos.....	61
Figura 20 - Resultados obtidos para o TCO/km para veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos.....	61
Figura 21 - Custo (€/km) para carros próprios elétricos (BEV), híbridos (HEV), a gasóleo (DV), a gasolina (GV), híbridos plug-in (PHEV) e para os restantes transportes: comboio, metro, autocarro, bicicleta convencional, bicicleta elétrica, trotinete elétrica, motociclo convencional, ciclomotor elétrico, TVDE e táxi. Custo (€/km) da frota média na AML.	63
Figura 22 - Custo médio (€/km) das deslocações na AML.	64
Figura 23 - Custo médio mensal (€/mês) das deslocações na AML.	64
Figura 24 - Repartição modal alternativa 1 das viagens em função da distância.	65
Figura 25 - Redução (%) das seguintes variáveis face ao original: fator emissão CO ₂ médio (g/km), consumo médio (MJ/km) e custo médio (€/km) em função da distância, baseado numa repartição modal alternativa 1.	65
Figura 26 - Redução (%) das seguintes variáveis face ao original: fator emissão CO ₂ médio (g/km), consumo médio (MJ/km) e custo médio (€/km) em função da distância, baseado no cenário alternativo 2.	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – TCO (€/km) para veículos de combustão interna (ICEV), híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e elétricos (BEV) para uma gama de distância intermédia; Classes A/B, C/D e J (2020) [36].	14
Tabela 2 - Resultados dos cálculos do custo total de posse de cada veículo (Volvo V40 D3, Volvo V40 T4, Toyota Prius e BMW i3). Fonte: [37].	15
Tabela 3 - TCO (€/km) para veículos a gasolina, gasóleo e elétricos (BEV); Classes A, B, C e D [38].	18
Tabela 4 - Custos incluídos nos resultados obtidos e na literatura.	20
Tabela 5 - TCO (€/km) para veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos: resultados experimentais e literatura.	20
Tabela 6- Percentagem de quilómetros conduzidos durante a semana em horário de ponta e fora de ponta. Fonte: [48].	27
Tabela 7 - Variáveis de Entrada do COPERT 5.	27
Tabela 8 - Consumo de combustível e Preço de aquisição de um carro padrão. Fonte: Obtido a partir de base de dados confidencial.	30
Tabela 9 – Pressupostos para cálculo de custos fixos e variáveis de automóveis: a gasolina, gasóleo, híbridos plug-in, híbridos e elétricos.	33
Tabela 10 - Tarifa média para mobilidade partilhada: Táxi, TVDE, e-trotinete, e-bicicleta e e-ciclomotor.	35
Tabela 11 – Cenário de substituição de viagens de automóvel por modos alternativos.	39
Tabela 12 - Resultados obtidos pelo COPERT para as emissões (g/km) de poluentes para a frota e para veículos ligeiros de passageiros.	41
Tabela 13 - Resultados obtidos pelo COPERT para as médias ponderadas das emissões (g/km) de poluentes para diferentes combustíveis.	42
Tabela 14 - Resultados obtidos pelo COPERT para o consumo energético (MJ/km) e (l/100km) da frota e de veículos ligeiros de passageiros.	42
Tabela 15 - Fatores de emissão de dióxido de carbono (g/km) obtidos pelo COPERT, para diferentes categorias de veículos.	43
Tabela 16 - Resultados obtidos pelo COPERT e valores de referência presentes no NIR de consumo de combustível para transporte rodoviário.	43
Tabela 17 - Consumo de combustível e lubrificante do setor de transporte (TJ). Fonte: (APA, 2018)	44

Tabela 18 - Comparação da média ponderada dos fatores de emissão (g/km) obtidos pelo COPERT com a norma Euro 6 [101] para diferentes poluentes, para veículos ligeiros de passageiros a gasolina e gasóleo.	44
Tabela 19 - Funções obtidas pelo COPERT para a emissão (g/km) de poluentes (CO, CO ₂ , NO _x , COV, COVNM e PM) em função da velocidade (km/h) para diferentes modos de transporte e modos de tráfego.	46
Tabela 20 - Velocidades obtidas para diferentes modos de transporte.	47
Tabela 21 - Influência do dia da semana e da área de deslocação na velocidade e no número de viagens.	50
Tabela 22 - Influência do motivo e da hora da deslocação na velocidade e no número de viagens - viagens rodoviárias dentro da AML, em dias úteis.	50
Tabela 23 - Funções obtidas pelo IMob para a velocidade (km/h) em função da distância (km) para diferentes modos de transporte e modos de tráfego. P – Ponta e FP – Fora de ponta.....	52
Tabela 24 - Matriz do número total de viagens entre municípios da AML. Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.	57
Tabela 25 - Matriz de intensidade carbónica em deslocações entre municípios da AML (gCO ₂ /(pass.km)). Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.	58
Tabela 26 - Matriz de intensidade do consumo energético em deslocações entre municípios da AML (MJ/(pass.km)). Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.	59
Tabela 27 - Equações obtidas para a depreciação (%D) em função do tempo (t) (anos). Fonte: Base de dados confidencial.....	60
Tabela 28 – Média ponderada para a repartição original e as alternativas para os resultados: custo, consumo energético e emissão CO ₂ . Alternativa 1: Substituição de 12% das viagens de carro por transportes públicos, modos ativos e mobilidade partilhada. Alternativa 2: Substituição de 30% das viagens de carros convencionais por carros elétricos (adicional ao cenário alternativo 1).	66

ABREVIACOES E SIGLAS

€ – Euro

AML – rea Metropolitana de Lisboa

BEV – Battery electric vehicle (Veículo elétrico)

CE – Consumo de energia

CH₄ – Metano

cm³ – Centímetros cúbicos

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

COV – Compostos orgânicos voláteis

COVNM – Compostos orgânicos voláteis não-metnicos

EEA – *European Environment Agency* (Agência Europeia do Ambiente)

EEC – *European classification for vehicle* (Classificação europeia de veículos)

EPA - *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)

ETBE – ter etil-terc-butílico

EUA – Estados Unidos da América

FE – Fatores de emissão

g – Grama

GEE – Gases de efeito de estufa

GPL – Gás de petróleo liquefeito

GNC – Gás natural comprimido

h – Hora

HC – Hidrocarbonetos

HEV – *Hybrid electric vehicle* (Veículo híbrido)

ICEV – *Internal combustion engine vehicle* (Veículo de motor de combustão interna)

IMob – Inquérito à mobilidade

ISV – Imposto sob veículos

IUC – Imposto único de circulação

km – Quilómetro

kWh – Quilowatt hora

l – Litro

m³ – Metro cúbico

min – Minuto

MJ – Megajoule

N₂O – Óxido nitroso

NEDC – *New European Driving Cycle* (Novo Ciclo de Condução Europeu)

NIR – *National inventory report* (Relatório do inventário nacional)

NO_x – Óxidos de azoto

Pass – Passageiro

Pb – Chumbo

PHEV – *Plug-in hybrid electric vehicle* (Veículo híbrido plug-in)

PM – *Particulate matter* (Partículas suspensas)

PM₁₀ – Partícula suspensas com diâmetro inferior a 10 micrómetros

PM_{2.5} – Partícula suspensas com diâmetro inferior a 2.5 micrómetros

PMTSP – Total de partícula suspensas

RDE – *Real Driving Emissions* (Teste de Emissões Reais De Condução)

REN – Redes Energéticas Nacionais

SO₂ – Dióxido de enxofre

SUV – *Sport utility vehicles* (Veículos utilitários desportivos)

t – Tempo

TCO – *Total cost of ownership* (Custo total de posse)

Tep – Tonelada equivalente de petróleo

TJ – Terajoule

Ton – Tonelada

TVDE – Transporte individual e remunerado de passageiros em veículos descaracterizados a partir de plataforma eletrónica

UE – União Europeia

WLTP – *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure* (Procedimento Mundial Harmonizado de Teste de Veículos)

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O crescimento rápido da população mundial, esperado chegar a 9.7 milhares de milhões de pessoas em 2050 [1], tem sido acompanhado de uma rápida evolução tecnológica e industrial, também visível no crescimento no setor dos transportes, especificamente no que diz respeito à utilização de veículos privados. Em 2018, existiam em Portugal cerca de 514 veículos ligeiros de passageiros por mil habitantes, mais 23% do que dez anos antes [2]. Tal corresponde a cerca de 5.28 milhões de veículos ligeiros, sendo que aproximadamente 39% destes circulam nos municípios em Lisboa e no Porto [3].

Apenas em Portugal, os dados da Comissão Europeia indicam que 23.8 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) e 24.1 milhões de toneladas de CO₂ eq de gases de efeito de estufa (GEE) foram emitidas em 2018 pelos transportes [4]. Na União Europeia, 60.3% das emissões de GEE dos transportes foram responsabilidade de veículos ligeiros de passageiros [4].

O transporte rodoviário contribui igualmente para o total de emissões dos principais poluentes atmosféricos na União Europeia (2017) - partículas suspensas de diâmetro inferior a 2.5 µm (PM2.5) e 10 µm (PM10), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), monóxido de carbono (CO) e óxidos de azoto (NO_x). As emissões por exaustão dos transportes rodoviários representam 2.88%, 5.39%, 5.57%, 17.97% e 28.12% do total de emissões na UE de PM10, PM2.5, COVNM, CO e NO_x, respetivamente [5].

Na UE (2019), o setor dos transportes consome 16.67 milhares de milhões TJ provenientes de combustíveis derivados de petróleo [6], o que resulta em impactes muito elevados decorrentes da utilização de transportes a que acrescem os danos ambientais na indústria de fabrico e refinação de combustíveis, dos veículos e das infraestruturas, se considerarmos uma perspetiva de ciclo de vida.

Como resultado destas tendências crescentes de consumo e respetivas externalidades, o fenómeno das alterações climáticas tem sido uma preocupação mundial nos últimos anos. O acordo de Paris, a agenda de 2030 para o desenvolvimento sustentável pela UE [7], a meta de atingir uma economia climática neutra em 2050 pela Comissão Europeia [8], assim como outras políticas de desenvolvimento sustentável, revelam-se tentativas urgentes de mitigar os danos no ambiente para que as consequências das alterações climáticas possam ser minimizadas.

Segundo a definição da EPA (*United States Environmental Protection Agency*), fatores de emissão (FE) são valores representativos que estimam a quantidade de um determinado poluente libertado em função de uma atividade [9]. Alguns parâmetros determinantes nos fatores de emissão de veículos são: a média de quilometragem, o tipo de motor e de combustível usado e a taxa de consumo.

A alta ou baixa emissão de poluentes pode ter um grande impacte ambiental e é necessário por isso serem analisadas e regulamentadas. Para tal foram impostas as normas EURO, responsáveis por limitar as emissões de gases de escape de veículos novos, que se encontram em anexo (ANEXO.1 Padrão Europeu de Emissões). Os

poluentes cujas emissões são regulamentadas (em g/km) por estas normas são: óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas finas (PM), hidrocarbonetos (HC) e a emissão combinada de HC+NO_x.

Apesar de as regulamentações de emissões datarem de 1970, a primeira norma na União Europeia foi estabelecida em 1988 - Euro 0. As normas Euro 0 a 4 não impunham limites de emissões em veículos a gasolina no que diz respeito a partículas, tal foi atualizado com a norma Euro 5. As normas têm vindo a tornar-se mais exigentes ao longo do tempo, vigorando atualmente a norma Euro 5 para veículos de duas ou três rodas e quadriciclos, Euro 6 para os veículos ligeiros e Euro VI para os veículos pesados, com motores de ignição por compressão (Diesel) e ignição positiva (e.g., gasolina, gás natural, etanol) [10].

As normas EURO não definem limites para as emissões de CO₂, existindo no entanto limites máximos de emissão obrigatórios para veículos novos. Tais metas são definidas como uma redução do ponto de vista de partida de 2021: redução de 15% a partir de 2025 para carros e 37.5% a partir de 2030; 15% de redução a partir de 2025 e 31% a partir de 2030 para veículos comerciais de mercadorias [11].

As emissões de poluentes locais são testadas em banco de rolos, aparelho mecânico usado para simular condições de condução num ambiente controlado, e são expressas em g/km. Automóveis novos vendidos até 2017 eram apenas homologados pelo Novo Ciclo de Condução Europeu (NEDC) (i.e. *New European Driving Cycle*). Ao longo do tempo, foram feitas várias críticas a este ciclo de certificação sendo acusado de se basear num perfil de condução teórico, pouco exigente que o tornou assim obsoleto. Posteriormente, entrou em vigor o Procedimento Mundial Harmonizado de Teste de Veículos (WLTP) (i.e. *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*), mais próximo de condições de condução reais. O WLTP foi usado para preencher a lacuna existente na quantificação dos níveis de poluentes, emissões de CO₂ e consumo de combustível não só de carros convencionais mas também de veículos híbridos e veículos elétricos. Comparativamente ao NEDC, o ciclo WLTP tem uma duração maior (30 min), envolve percorrer uma maior distância (23 km), e tem uma velocidade média (46,5 km/h) e máxima superiores [12].

Um estudo de Martin Weiss et al., em 2013, analisou o comportamento das emissões de NO_x e CO₂ em carros novos a gasóleo, de acordo com diferentes testes em laboratório (NEDC) e testes reais em estrada. Foram obtidas, para todos os veículos, emissões de NO_x bastante superiores em condições reais não controladas comparativamente aos resultados em laboratório. Concluindo, as emissões (especialmente de NO_x) não são representadas realisticamente em testes laboratoriais como o NEDC [13]. Assim, em 2016, a EU adotou o teste de emissões reais de condução (RDE) (i.e. *Real Driving Emissions*), o método de medição de emissões mais recente, criado de modo a obter os resultados mais realistas possíveis. Este teste tem uma duração entre 90 e 120 minutos e não substitui o WLTP mas funciona como um complemento. Enquanto que os dois métodos anteriores eram realizados em condições ambiente controladas num laboratório, as RDE são medidas num carro conduzido em estrada, em condições diversas. As condições fronteira definidas no teste são altitude e temperatura, carga suplementar, condução em subidas/descidas, estradas urbanas (velocidade baixa), estradas rurais (velocidade média) e autoestradas (velocidade alta). Os veículos são equipados com sistemas de medição

portáteis (PEMS) e as emissões têm de ser inferiores aos limites definidos pelo valor do WLTP multiplicado pelo fator de conformidade das RDE [14].

O surgimento destas novas formas de certificação levou a que a norma Euro 6 tenha sido atualizada ao longo dos anos (e.g., Euro 6c, 6d, 6d-TEMP), pois apesar de os limites não serem diferentes, os testes em que as emissões são medidas têm vindo a ser alterados. Com o aparecimento do teste WLTP, a UE alterou o nome da norma de Euro 6b para Euro 6c. Da mesma forma, posteriormente, surgiram as normas Euro 6d-TEMP e 6d, de acordo a adição dos testes RDE. A norma 6d-TEMP, uma medida temporária, permite um desvio de emissões (WLTP VS Teste RDE) de 110% (i.e. fator de conformidade de 2.1). Em 2020, ao entrar em vigor a norma Euro 6d, o desvio permitido é de 43% (i.e. fator de conformidade de 1.43) [15]. Toda a informação relativamente aos fatores de emissão das normas Euro encontra-se em anexo (ANEXO.1 Padrão Europeu de Emissões).

Estima-se que cerca de 1.5 em cada dez moradores (15.1%) da AML não usem transportes públicos. Os cidadãos dizem utilizar o carro maioritariamente pela sua rapidez e conforto e devido à ausência de uma rede de transportes públicos que supere as suas necessidades. Enquanto que os dois principais motivos pelos quais os inquiridos reportam utilizar transportes públicos são: ausência de alternativa e não possuírem carro e/ou carta de condução [16]. Proveniente do inquérito à mobilidade (IMob), a Figura 1 revela que 58.9% dos utentes se desloca por automóvel, enquanto que todos os outros transportes são representados por percentagens residuais [16].

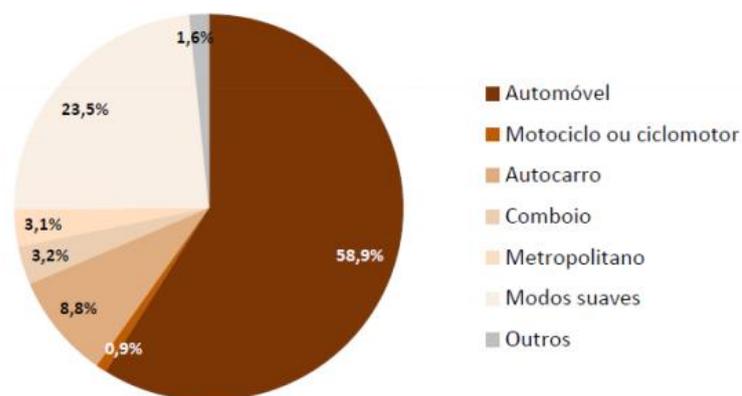


Figura 1 - Distribuição dos modos de transporte para deslocações na Área Metropolitana de Lisboa [16].

Quando comparado com a utilização de transportes públicos, um estudo de Linda Steg para Holanda, em 2003 [17], mostra que os carros são especialmente mais atrativos que os transportes públicos pela sua conveniência, independência, flexibilidade, conforto, velocidade e fiabilidade, o que poderá explicar a maior percentagem de utilização de automóveis. O mesmo estudo revela que 75% da amostra corresponde a quem se desloca “sempre ou frequentemente de carro” e de “carro e outros transportes”. Questionou-se a importância de problemas relacionados com a utilização de automóveis como poluição atmosférica, escassez de recursos, qualidade reduzida de vida nas cidades devido à sonoridade e odor do trânsito, entre outros. Numa escala de 1 (“sem preocupação”) a 5 (“muito preocupado”), a média dos resultados para a percentagem relativa a utilizadores de carros pode ser observada em “Consciência dos problemas” na Figura 2, como uma preocupação média [17].

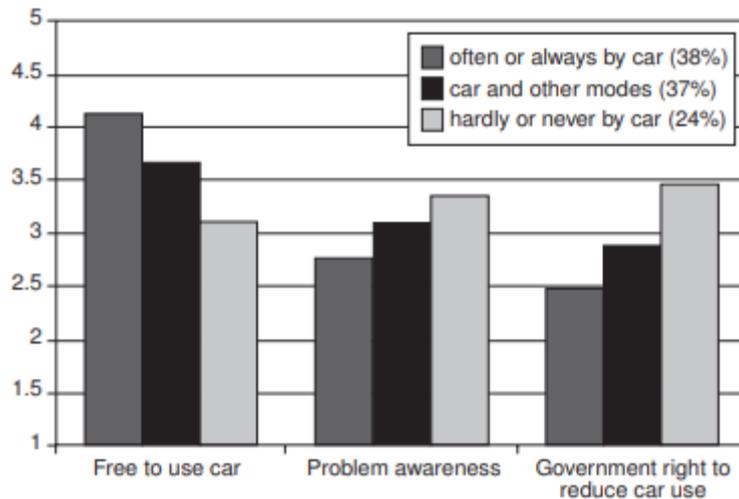


Figura 2 - Diferenças na consciência de problemas entre utilizadores [17].

Neste contexto, é cada vez mais importante avaliar soluções alternativas no setor dos transportes. Tendo em conta a diversidade de opções de veículos com diferentes tecnologias de propulsão, surgem diversas opções como veículos elétricos, híbridos, híbridos elétricos plug-in e os veículos a pilha de combustível [18]. Existem também fontes energéticas alternativas como eletricidade, hidrogénio, etanol, biodiesel, propano e gás natural [19].

É útil entender os fatores que mais influenciam a escolha dos consumidores relativamente ao tipo de veículo e ao combustível utilizado. Tais informações poderão ser usadas para entender ou até prever o comportamento dos consumidores face a decisões sobre que modo de transporte utilizar. Para tal, foi analisado um estudo de Peter Letmathe e Maria Soares, em 2020 [20], que pretendeu avaliar qualitativamente o peso de certos fatores, face à aquisição de um novo veículo no mercado alemão. A escolha dos inquiridos foi limitada apenas entre veículos elétricos e ICEVs (do inglês: *internal combustion engine vehicles*), pois o objetivo da análise era entender se certos fatores poderiam beneficiar a escolha de elétricos. Os fatores estudados são os riscos associados a medidas de diminuição do número de ICEVs, assim como uma maior transparência sobre os custos dos veículos. Após o teste de várias hipóteses, uma das conclusões relevantes a que os autores chegaram foi que somente a disponibilidade da informação acerca do TCO não teve nenhum efeito significativo na hipótese de comprar um BEV (do inglês: *battery electric vehicle*). No entanto, quando enfatizada a diferença dos TCOs entre os dois tipos de veículos, favorecendo o elétrico, foi demonstrado um impacto significativo na decisão de compra [20].

Existe um défice de informação acessível aos consumidores sobre o custo total de posse de veículos. É comum que grande parte da população apenas se baseie num número limitado de custos para tomar uma decisão de compra e/ou de utilização (p. ex., preço de aquisição e preço de combustível). Artigos como os de Letmathe e Soares, revelam que o custo pode ser um fator decisivo na escolha do veículo a adquirir e é por isso, importante a divulgação do TCO aos cidadãos para decisões informadas, ponderadas e responsáveis.

No que diz respeito à introdução de veículos elétricos, existe ainda alguma dificuldade na sua total integração no mercado. Apesar de uma das maiores limitações desta tecnologia ser o elevado preço de aquisição, existem

outras barreiras por parte dos consumidores, como as limitações de autonomia, o tempo de carregamento das baterias e a falta de infraestruturas de carregamento perto de casa, do trabalho e nas autoestradas [21].

No entanto, ao caminhar para a eletrificação da mobilidade é importante ter em consideração o *mix* de geração de eletricidade. Como é possível observar na *Figura 3* e de acordo com a REN, média para 2018, 2019 e 2020, em Portugal as fontes de energia renovável contribuíram com 57% do total da geração de eletricidade. A elevada incorporação de energias renováveis no *mix* elétrico português abrem as portas para a uma mobilidade elétrica com menores impactes associados à fase de produção da fonte energética.

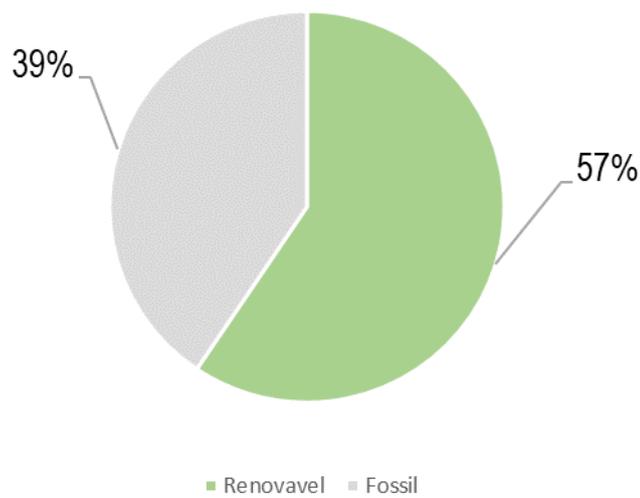


Figura 3 –Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental – Média 2018, 2019 e 2020 [22].

Relativamente aos custos, existe uma falta de consciência generalizada por parte dos utilizadores comuns sobre o custo total de cada quilómetro percorrido em cada modo de transportes, nomeadamente no que se refere ao automóvel. Tal traduz-se numa avaliação enviesada das alternativas existentes para cada tipo de deslocação, uma vez que o fator custo é incorporado de forma ineficiente. Tudo o que foi apresentado neste subcapítulo pode levantar questões sobre o impacte que teria nas escolhas dos consumidores, a disponibilização e divulgação de informação rigorosa e atualizada sobre os custos e impactes ambientais de cada opção de transporte.

1.2 MOTIVAÇÃO

Os transportes representam uma parte crucial do quotidiano e é necessário um funcionamento eficiente e acessível para uma boa qualidade de vida. Com a preocupação social crescente e de modo a atingir um futuro mais sustentável, é necessário uma gestão adequada dos transportes para a população.

No seguimento do contexto atual, torna-se clara a necessidade de quantificar os impactes económicos, energéticos e ambientais da utilização de modos de transporte, sendo que as soluções tecnológicas disponíveis

no mercado podem ter um papel importante nessa mitigação de efeitos. Além disso, essa informação deve chegar ao utilizador, preenchendo a lacuna de informação por parte dos consumidores no que diz respeito à utilização de transportes.

Existem algumas ferramentas no mercado nessa tentativa de calcular os custos do uso de transportes, incluindo as respetivas externalidades. Quanto a emissões de dióxido de carbono, foi lançada em 2019 a primeira plataforma de quantificação, valorização e transação de emissões evitadas de CO₂, denominada AYR. A aplicação foi desenvolvida pela CEIIA, centro de engenharia e desenvolvimento de produto na indústria de mobilidade, nomeadamente mobilidade automóvel e urbana, aeronáutica, oceano e espaço. Pretende-se que a plataforma seja um modo para acelerar o processo de descarbonização ao despertar uma nova atitude por parte dos utilizadores de transportes. Começou em Matosinhos e está agora a ser levada para outras cidades e outros países [23].

Segundo uma apresentação pública da plataforma por Pedro Gaspar na Mobi Summit, a aplicação funciona como uma carteira digital, que permite quantificar as emissões de CO₂ evitadas ao escolher modos de transporte *eco-friendly* em contraste com o uso de veículos tradicionais [24]. As emissões evitadas são posteriormente convertidas num *token* AYR. Os créditos são armazenados numa carteira digital, podendo depois ser trocados por bens e serviços. A quantificação e conversão das emissões poupadas para *tokens* baseia-se na tecnologia *blockchain*¹ [24]. O cálculo das emissões de CO₂ evitadas é feito com base apenas na distância do trajeto que um veículo “convencional” faria. No entanto, algo que não é considerado pela aplicação é o facto de a transferência advir de vários modos e, por isso, para calcular as emissões poupadas, é preciso considerar a respetiva ponderação com base nos quilómetros percorridos em cada modo, para cada gama de distância. Considerar as gamas de distância é relevante, uma vez que cada modo de transporte tem uma vocação na mobilidade urbana. Por exemplo, andar a pé é praticável regularmente até cerca de 2 km, andar de bicicleta até 5 km ou 15 km, se for eletricamente assistida. Acima destas distâncias, a motorização é essencial para manter o orçamento temporal das viagens abaixo dos 45-60 min/dia por viajante.

Outro exemplo é a calculadora online, AutoCustos.pt que permite aos utilizadores estimar o custo total de posse de um carro. Com base na ideia de que os consumidores em grande parte não têm uma noção realista dos encargos que acarreta ter um veículo próprio e esta ferramenta permite criar uma estimativa para o caso específico de cada um. É bastante rigorosa em termos das 12 parcelas que estão integradas no cálculo do custo total. A primeira parte são os custos fixos que incluem: desvalorização do veículo, seguro automóvel, crédito automóvel, inspeção periódica e imposto único de circulação. Em relação aos custos variáveis são considerados: combustíveis, revisões, reparações e melhoramentos, estacionamento, portagens, multas e ainda lavagens e limpezas. Para além desta completa análise, requer ainda vários dados acerca do utilizador, assim como do veículo para um resultado mais personalizado. Está disponível para vários países e disponibiliza ainda dados

¹ *Blockchain* – ferramenta que grava transações, baseia-se no princípio de que não pode ser alterada e que é acessível a todos, oferecendo portanto transparência e segurança [104].

estatísticos do custo médio discriminado nos diferentes custos específicos, assim como o custo médio total para cada país. Com base nos dados já preenchidos por utilizadores desta calculadora, o custo médio total em Portugal é de 4003€ por ano. Os custos fixos representam 52% e os custos variáveis 48% do custo total. A ferramenta é bastante detalhada em relação à diversidade de custos e veio preencher a falta de profundidade das ferramentas disponíveis em Portugal. Trata-se de uma ferramenta de utilização prática e acessível a qualquer cidadão. No entanto, requer ao utilizador informações muito detalhadas requerendo bastante tempo de modo a inserir todos os dados, assim como o conhecimento de diversas despesas mensais. Caso o utilizador não tenha conhecimento de uma informação necessária, tem disponível valores estatísticos de custos médios mensais por tipo por país. A precisão destes valores pode variar bastante consoante a região de residência do utilizador até dentro do mesmo país [25].

1.3 OBJETIVO

Neste contexto em que existe a necessidade de calcular os impactes de viagens de forma mais rigorosa, este trabalho visa efetuar a quantificação de impactes energéticos, ambientais e económicos do sistema de transportes terrestres numa área metropolitana, através do desenvolvimento de fatores multimodais de consumo de energia, emissão de poluentes e custo de utilização para diferentes gamas de distância a percorrer, combinados com a caracterização de padrões de mobilidade. O trabalho desenvolvido focou as deslocações dentro da AML, identificando os principais fluxos entre municípios e avaliando os impactes de uma repartição modal alternativa que favoreça modos de transporte mais eficientes ao longo da gama de distâncias, em detrimento do automóvel próprio.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta dissertação divide-se em cinco capítulos: introdução, estado da arte, metodologia, resultados e conclusão. No primeiro capítulo, introduz-se o contexto atual que enquadra o tema da presente dissertação, a motivação que mostra a importância, as lacunas que existem para preencher e os objetivos que se pretendem alcançar na tese. No segundo capítulo, a estado da arte que descreve, num contexto científico, o que tem sido feito neste âmbito, em cada uma das áreas que vão ser trabalhadas. Sendo estas, as diferentes externalidades e impactes no setor de transporte, em termos de custos, consumo de energia, emissões de poluentes e ciclo de vida. No terceiro capítulo, é apresentada e explicada a metodologia do trabalho e toda a informação requerida para os três subcapítulos: análise do custo relacionado com a utilização ou posse de diferentes transportes, análise aos padrões de mobilidade na AML e, finalmente, análise das emissões de poluentes e consumo de energia de uma frota de veículos. No quarto capítulo, são apresentados e analisados os resultados de acordo com a metodologia e da forma como os subcapítulos se intersejam de modo a obter resultados finais. Por fim, no quinto capítulo, são retiradas conclusões de todo o trabalho, de forma sintética sobre cada subcapítulo da parte prática. O trabalho e as conclusões obtidas são relacionadas com os objetivos e a motivação e são discriminadas as projeções para o futuro, assim como os desafios encontrados ao longo do seu desenvolvimento.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, irão ser abordados três temas diferentes. Na primeira secção, são explorados trabalhos científicos realizados no contexto de cálculo e análise não só do consumo de energia como de emissões de diferentes poluentes por modos de transporte na sua fase de utilização. Estes trabalhos aplicam-se a veículos de diferentes gamas e tecnologias, analisando a influência de vários fatores nestes parâmetros. A última secção, apresenta os trabalhos realizados sobre a estimativa do custo total de posse de veículos, assim como a influência de outros fatores no custo.

2.1 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE POLUENTES

Entendendo o peso que o setor dos transportes tem na poluição mundial, é pertinente analisar e quantificar as emissões que ocorrem nas deslocações diárias. O estudo realizado na Coreia do Sul, em 2011, por Sungwoon Jung et al. [26] pretendeu analisar as emissões de CO, HC, NO_x e CO₂ em veículos de passageiros a gasolina equipados com catalisadores de três vias (converte CO, HC e NO_x em gases menos nocivos). Os 76 veículos testados foram divididos em dois grupos: quilometragem inferior e superior a 80000 km (valor de referência na Coreia do Sul, representativo da vida útil espectável das peças automóveis). As emissões foram obtidas para seis percursos diferentes com velocidades médias de 4.7, 10.8, 24.6, 34.1, 65.4 e 97.3 km/h [26]. As funções obtidas para as emissões (FE) (g/km) em função das velocidades médias (V) foram as seguintes, com correlações de r² superiores a 0.85:

$$FE(CO) = 29.453 * V^{-0.8711} \quad (1)$$

$$FE(HC) = 12.213 * V^{-1.3501} \quad (2)$$

$$FE(NO_x) = 3.604 * V^{-0.6228} \quad (3)$$

$$FE(CO_2) = 1113.8 * V^{-0.4928} \quad (4)$$

Os fatores de emissão são superiores para velocidades inferiores, para uma velocidade média de 4.7 km/h (velocidade mínima), as emissões são 8.49, 1.72, 1.44 e 602.9 g/km para CO, HC, NO_x e CO₂, respetivamente. Os resultados mostram também que para velocidades inferiores, as emissões diminuem rapidamente com o aumento da velocidade. Para velocidades mais elevadas, as emissões são mínimas e constantes (entre 65.4 e 97.3 km/h), com os valores seguintes: 0.76, 0.05, 0.24, 136.0 g/km para CO, HC, NO_x e CO₂, respetivamente. É mencionado também que a quilometragem total do tempo de vida de um veículo influencia a emissão de poluentes, com uma variação de 5-20%. Relativamente a CO, HC e NO_x, os carros com quilometragem superiores a 800000 km, emitem 44–78%, 53–86% e 72–81% mais, respetivamente. Em relação aos fatores de emissão de CO₂, não existem diferenças significativas entre os dois grupos e foi demonstrado que tais emissões não são sensíveis à quilometragem cumulativa, mas sim ao consumo de combustível. Relativamente ao consumo de combustível, observou-se um aumento linear na emissão de dióxido de carbono (g/km) com o consumo (FC) (l/100km), segundo a equação (5), com um r² de 0.962 [26].

$$FE(CO_2) = 22.866*FC+6.8689 \quad (5)$$

No artigo de 2020, Adila Alimujiang et al. [27] calcularam as emissões de CO₂ e outros poluentes para veículos ligeiros de passageiros, autocarros e táxis. Compararam estas emissões para combustíveis tradicionais (gasolina) e elétricos para determinar a redução entre eles. A quilometragem anual de cada veículo foi calculada pelos autores e os resultados são 18982, 150000 e 74000 km para carros, táxis e autocarros, respetivamente. Os consumos médios de energia retirados da literatura pelos autores são 15, 21.5 e 120 kWh/100km para carros elétricos, táxis elétricos e autocarros elétricos, respetivamente e de 8, 9 e 35 l/100km para veículos ligeiros de passageiros, táxis e autocarros a combustível, respetivamente. Os resultados obtidos para as reduções de emissões pela introdução dos veículos elétricos nas três categorias estão representados na **Figura 4**, considerando não só a fase de utilização dos veículos como os impactes associados à produção da fonte energética. As emissões dos poluentes para todos os veículos a combustível revelaram-se superiores quando comparadas às emissões para os veículos elétricos. Com a exceção das emissões de SO₂ (dióxido de enxofre), em que a eletrificação dos carros e dos táxis teve um impacto negativo nas emissões deste poluente. Os autores explicam que isto se deve ao facto de as emissões de SO₂ durante a geração de eletricidade nas centrais elétricas ser superior que nas emissões de veículos de menores dimensões [27].

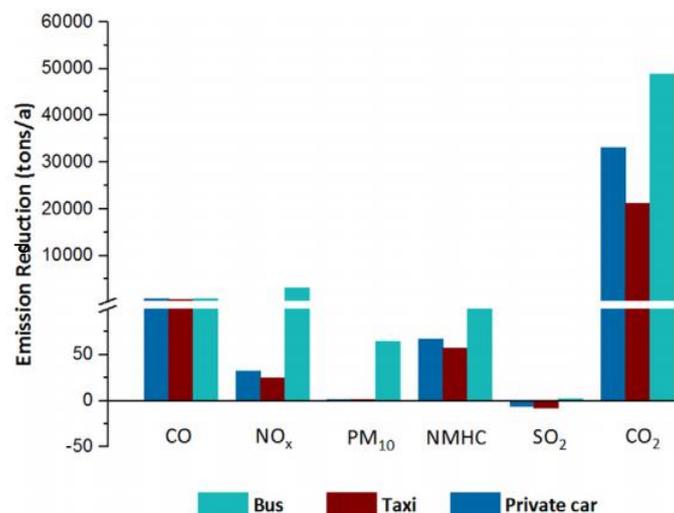


Figura 4 - Reduções das emissões de poluentes (CO, NO_x, NMHC, PM₁₀, SO₂ e CO₂) por diferentes tipos de veículos [27].

No estudo de 2020, escrito por Omid Ghaffarpasand [28], foi usado um sistema com sensor em cinco localizações diferentes, que devolvia informação acerca das emissões de poluentes, temperatura de exaustão, classe de veículo, classe EURO e combustível dos veículos que passavam por esses pontos. Os resultados são evidenciados nos gráficos das emissões (g/km) de cada poluente (CO₂, NO, NO₂, NO_x e PM) para cada categoria de veículo (carro a gasolina, carro a gasóleo, táxi, autocarro, veículos ligeiros de mercadorias e veículo pesados de mercadorias) mostrando as variações com as diferentes classes EURO. Os resultados mostram que, na maior parte dos casos, os veículos de classe EURO mais recente (dentro da mesma categoria de veículo), tendem a emitir menos poluentes comparativamente às classes EURO mais antigas, como seria expectável. No entanto, estas tendências não se verificaram sempre (Figura 5). De uma forma geral, as emissões são superiores para os

autocarros e de seguida para os veículos pesados de mercadorias. Os veículos de menores dimensões (gasolina, gasóleo e táxi) têm variações menos significativas. Com a exceção da emissão de partículas (Figura 5 - (e)), em que se pode observar que os veículos que mais emitem estes poluentes são os carros a gasolina, mais especificamente de classe EURO 1. Também os táxis mostram um aumento nas emissões de partículas comparativamente aos outros poluentes, embora não tão significativos quanto os carros a gasolina [28].

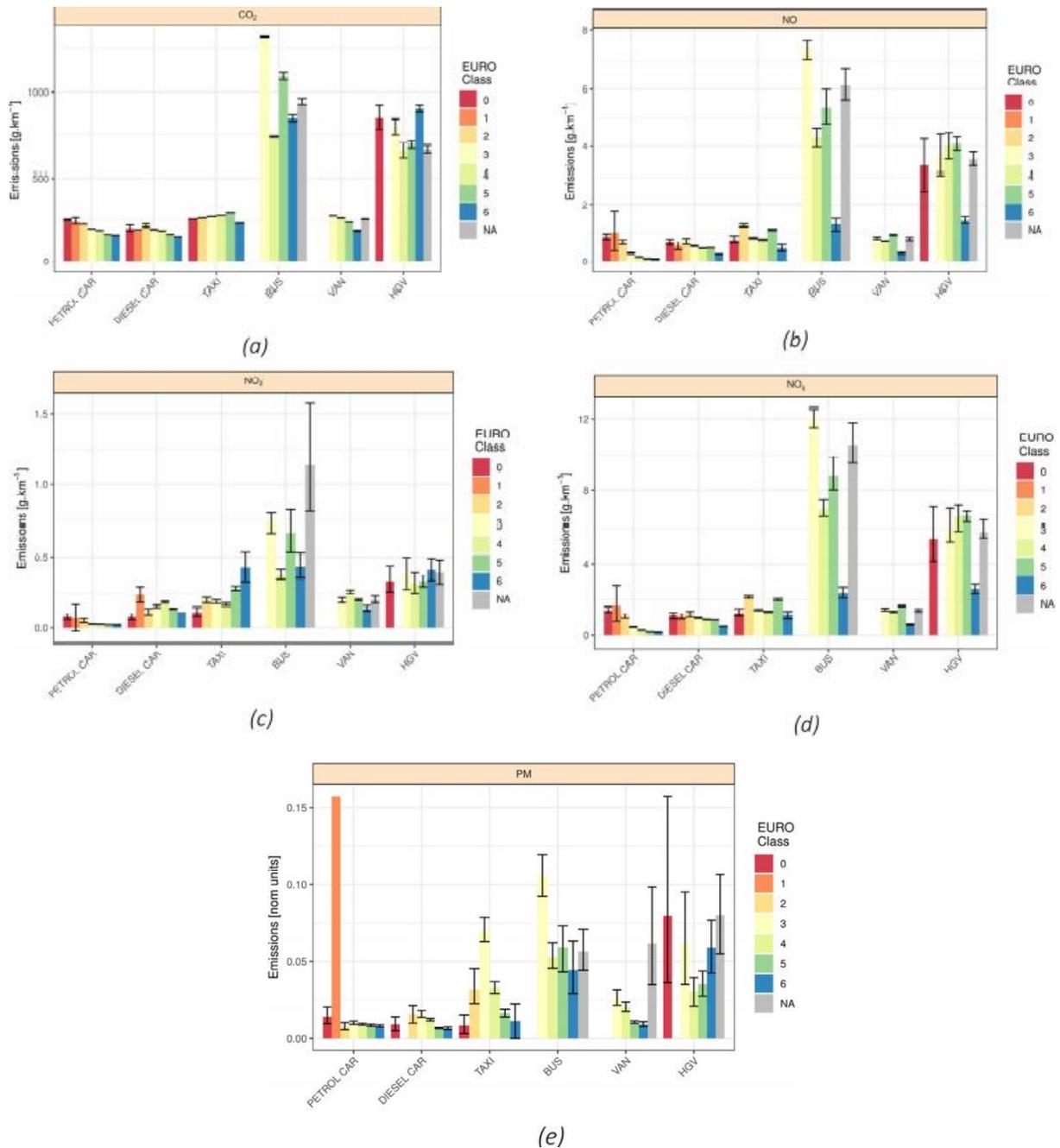


Figura 5 - Emissões de CO₂ (a), NO (b), NO₂ (c), NO_x (d) e PM (e), de acordo com as diferentes normas Euro, para carros a gasolina, a gasóleo, táxis, autocarros, veículos comerciais de mercadoria e pesados de mercadoria. Normas Euro “NA” corresponde a veículos cuja norma é desconhecida. Fonte: [28]

Com a rápida penetração de tecnologias de veículos alternativas, em especial veículos elétricos (que representam 42.9% das vendas de tecnologias alternativas na Europa em 2020), no mercado nacional e internacional, é pertinente avaliar a sua eficiência [29]. Uma das etapas para tal é a avaliação do consumo energético deste tipo de veículos, tal como foi feito em 2015 no artigo de Xinkai Wu et al. [30], em que o autor mede o consumo de energia de veículos elétricos. Os dados foram recolhidos através da medição de parâmetros de condução num carro elétrico convertido numa deslocação casa-trabalho e outra trabalho-casa através de quatro percursos diferentes. O percurso 1 e 2 são percursos feitos parcialmente em autoestrada e dentro da cidade, o percurso 3 foi conduzido dentro da cidade e o percurso 4 maioritariamente em autoestrada. Quando o condutor se deslocou de casa para o trabalho, o consumo energético foi bastante superior para o percurso 4 (19.1 kWh/100km), seguido do percurso 1 (11.9 kWh/100km), percurso 2 (11.9 kWh/100km) e, por fim, percurso 3 (11.4 kWh/100km). Na deslocação do trabalho para casa, o consumo de energia por ordem crescente para os percursos 2 (19.1 kWh/100km), 1 (22.0 kWh/100km) e 3 (22.2 kWh/100km), não tendo sido registado o consumo de energia para o percurso 4. A análise mostrou que o veículo elétrico é mais eficiente quando conduzido em modo urbano (devido à existência de mais eventos de travagem regenerativa), comparativamente em autoestrada [30].

Em 2017, Andreas Braun e Wolfgang Rid [31] retrataram a influência dos diferentes padrões de condução e a sua relação com o consumo de energia de veículos elétricos. Para esta análise, foram utilizados quatro veículos comercializados Mitsubishi i-MiEV, divididos em quatro perfis de condução, com base em altura do dia, altura do ano, efeito do condutor e características específicas do veículo (e.g., quilometragem). O veículo 1 e 2 tinham como principal área de operação um modo urbano, enquanto que o veículo 3 é conduzido maioritariamente em modo extra-urbano (cidades pequenas) e o veículo 4 em modo urbano. Foram registados dois consumos de energia (kWh/100km), um consumo real e um consumo teórico sem o efeito do sistema de travagem regenerativa. O consumo segundo o NEDC (*New European Driving Cycle*) é 13.5 kWh/100km. O consumo energético médio medido é entre 13.1 e 16.8 kWh/100km [31].

Outro artigo de Andreas Braun e Wolfgang Rid de 2017 [32], revela um estudo realizado na Alemanha com o objetivo de comparar o consumo (kWh/100km) de um veículo elétrico e de um veículo de combustão interna, sendo os veículos estudados o Renault Kangoo Z.E e dCi, elétrico e a gasóleo, respetivamente. A análise foi conduzida com base em diferentes velocidades (km/h) e cenários de condução para ambos os veículos. Para além das condições de condução em modo urbano, extra-urbano e em autoestrada, analisou-se também o comportamento em hora de ponta e num registo de condução mais agressivo ou mais calmo. Os resultados revelam que para velocidades semelhantes dentro da mesma gama, em modo urbano, o veículo de combustão interna consome aproximadamente 4.3 vezes mais que o elétrico. O veículo de combustão interna consome aproximadamente 2.6 vezes mais e 2.8 vezes mais em modo extra-urbano e em autoestrada, respetivamente. Em termos de consumo de energia, os veículos elétricos oferecem uma clara vantagem, sendo a maior em contexto urbano. Conclui-se também que os consumos no veículo de motor convencional são mais sensíveis à diferença de velocidade comparativamente ao elétrico [32].

2.2 CUSTOS TOTAIS DE POSSE DO AUTOMÓVEL

Apesar de já existir há algum tempo a referência na literatura ao custo total de posse do veículo (do inglês *Total Cost of Car Ownership*, com o acrónimo TCO), um parte substancial dos consumidores não o contabiliza nas suas opções de mobilidade nomeadamente na aquisição do veículo e, posteriormente, na escolha racional dos modos nas suas deslocações. Pelo contrário, os consumidores contabilizam os custos de utilização (no essencial, combustível, portagens) referidos na literatura como custos *out-of-pocket*. Os condutores não consideram todos os custos de posse quando utilizam o seu automóvel. O artigo de Teck Hua Ho et al. (2013) [33] explora o efeito dos custos afundados (*sunk costs*) para um condutor, ou seja, custos irrecuperáveis, investimentos, como o preço de aquisição do carro. O efeito dos custos afundados define-se como a tendência de um indivíduo continuar com um certo comportamento uma vez que fez um grande investimento monetário, de tempo ou esforço. De modo a analisarem este efeito no uso de um bem duradouro ao longo do tempo, os autores desenvolvem um modelo comportamental e fazem uma ligação com as medidas governamentais. O modelo deixa implícito que o uso do carro aumenta com o custo afundado nos primeiros anos, visto que se pode assumir que as pessoas que compram carros mais caros (por exemplo, se as medidas governamentais causarem um aumento no preço dos carros) são as que querem ou necessitam mais de conduzir. No entanto, ao longo do tempo, o uso do carro atenua e a taxa de atenuação aumenta quanto maior o custo afundado. Resumidamente, os custos afundados influenciam o comportamento do consumidor (uso do bem), no entanto este efeito diminui com o tempo e torna-se irrelevante [33]. Como referido anteriormente, no dia-a-dia são considerados os restantes custos, “*out-of-pocket*”, não relacionados com o investimento.

A investigação de Gomes et al. (2011) [34], estudou para Portugal os custos totais, internos e externos, associados a diferentes transportes: ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias, pesados de passageiros, pesados de mercadorias, motociclos, ciclomotores, bicicletas, peões e transporte ferroviário. Os custos são calculados para um período de 30 anos (horizonte temporal recomendado pela Comissão Europeia para investimentos públicos nos sectores da água e ambiente, energia, estradas, etc.) e uma quilometragem de 11111 km/ano. Os autores decidiram utilizar informações referentes ao parque automóvel, de 2007, com base na APA (Agência Portuguesa do Ambiente). Os custos externos calculados são, entre outros, acidentes, ruído, poluição atmosférica e efeitos urbanos. Apesar de este estudo ser feito em Portugal, não é específico para a AML e não distingue as diferentes categorias de ligeiros de passageiros. Entre outros transportes, foram obtidos custos totais internos de 0.117€/km, 0.1741€/km, 0.0561€/km, 0.0188€/km para veículos ligeiros de passageiros, motociclos, ciclomotores e bicicletas, respetivamente [34].

No artigo de Geng Wu et al., em 2015 [35], os autores utilizaram a abordagem do TCO para analisar e comparar os custos totais de veículos híbridos, híbridos *plug-in*, elétricos e de combustão interna em função da gama de distância conduzida, tendo sido feitas projeções desde 2015 até 2025. Esta distinção com base no tipo de veículo é adicional à divisão feita em relação à classe: A/B (mini e pequeno), C/D (médio pequeno e médio) e J (desportivos), sendo que esta última representa no total apenas 15% dos veículos novos vendidos. O caso de estudo presume três gamas de distância sendo que distância curta corresponde a uma quilometragem diária de

21 km, distância média corresponde a 42 km e distância longa 78 km. O autor reconhece, no entanto, a falta de consideração de casos (e.g., viagens) cuja distância excede 78 km diários.

Para gamas de distância curtas e médias, as projeções de 2020 são as mesmas para as classes de veículos A/B e C/D. O estudo indica que, no ano de 2020, os custos totais por quilómetro para gamas de distância curta no tempo total de vida do veículo crescem pela seguinte ordem: veículos de combustão interna, híbridos, híbridos plug-in e elétricos.

Para distâncias intermédias, os custos correspondem (por ordem crescente) a veículos de combustão interna, híbridos, híbridos plug-in e elétricos. A Tabela 1 apresenta uma média do custo por quilómetro calculada para cada categoria de veículos (ICEV, HEV, PHEV e BEV) a partir dos dados (€/km) do artigo: projeções de 2020, para uma gama de distância intermédia e com as percentagens de carros novos vendidos de cada classe. Note-se que os valores utilizados são leituras aproximadas a partir de gráficos presentes no artigo em questão [35].

Tabela 1 – TCO (€/km) para veículos de combustão interna (ICEV), híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e elétricos (BEV) para uma gama de distância intermédia; Classes A/B, C/D e J (2020) [35].

Classe/Categoria	ICEV	HEV	PHEV	BEV
A/B (31%)	0.340	0.340	0.355	0.375
C/D (50%)	0.460	0.460	0.500	0.520
J (19%)	0.530	0.540	0.613	0.613
Média literatura	0.436	0.438	0.477	0.493

Finalmente, para distâncias longas, por ordem crescente: elétricos/híbridos, híbridos plug-in/combustão interna (A/B); Híbridos, combustão interna, híbridos plug-in/elétricos (C/D). Os custos por quilómetro diminuem com o aumento da gama de distância, assim conclui-se que a escala de quilometragem pode determinar que veículo é mais caro. Quanto maior a gama de distância, também as diferenças entre as classes de veículos aumentam [35]. Conclui-se que existe um impacto significativo no custo total do veículo com base na gama de distancia conduzida para as diferentes categorias num ambiente urbano que pode chegar até 61%, comparando a gama mais alta com a mais baixa, para a categoria J, por exemplo. De modo a comparar os TCO de vários modos de transporte, é necessário ter em consideração as distâncias de deslocamentos em causa. Por este motivo, é essencial obter um custo por quilómetro, assim como fatores de emissão e consumos energéticos por quilómetro para diversos modos de transporte para várias gamas de distância.

O artigo de Jens Hagman et al. (2016) [36] menciona a dificuldade da difusão dos veículos elétricos no mercado internacional. É explorado o TCO do ponto de vista do consumidor para diferentes gamas de carros: combustão interna, híbridos e elétricos. Mais especificamente, os carros usados neste estudo são: Volvo V40 D3 (gasóleo), Volvo V40 T4 (gasolina), Toyota Prius (híbrido) e BMW i3 (elétrico). Foi assumido um tempo de vida dos veículos de 3 anos e foram incluídos os seguintes parâmetros no cálculo do custo total: depreciação, combustível, taxa de juro, seguro, manutenção e reparação e imposto. Os autores revelam uma dificuldade em estimar um perfil

genérico de um condutor, algo necessário para estimar certos custos (e.g., seguro). Assim, foi usada a informação pessoal de um dos autores para os cálculos neste estudo. O âmbito do mesmo é calcular o TCO para o primeiro condutor do veículo e por isso é assumido um período de posse mais curto que noutros estudos (três anos).

Foi concluído que os veículos com menores custos totais por quilómetro são os elétricos, com um custo de 0.420 €/km para uma quilometragem total de 45052 km, seguido do veículo a gasóleo (0.443 €/km), depois veículo híbrido (0.468 €/km) e por fim, com o custo por distância mais elevado, o veículo a gasolina (0.470 €/km). Segundo os autores, um dos desafios do TCO passa pelo fato de que um custo total a longo prazo mais baixo (e.g., veículos elétricos) não significa necessariamente uma maior adesão, existindo a possibilidade de não ser possível para vários consumidores pagar o preço de compra inicial mais elevado. A componente do preço de aquisição de um veículo elétrico mais elevada é o custo das baterias. É esperado que tais reduzam com o tempo, tornando o custo do BEV mais apelativo e competitivo, tanto em termos de preço de compra como TCO. Estes fatores podem ter efeitos na depreciação do veículos não elétricos, enquanto que o tempo de vida limitado das baterias e o custo associado à sua troca poderá também ter um efeito negativo no preço de revenda de veículos elétricos [36]. Os resultados dos cálculos do custo total de posse de cada veículo estão apresentados na seguinte Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos cálculos do custo total de posse de cada veículo (Volvo V40 D3, Volvo V40 T4, Toyota Prius e BMW i3). Fonte: [36]

	Volvo V40 D3	Volvo V40 T4	Toyota Prius	BMW i3
Depreciation	€12 815 (64%)	€12 605 (60%)	€14 412 (68.5%)	€19 905 ^a (105%)
Fuel	€4132 (20.5%)	€5814 (27%)	€3391 (16%)	€633 (3%)
Interest	€1355 (7%)	€1332 (6%)	€1524 (7%)	€1660 (9%)
Insurance	€908 (5%)	€844 (4%)	€714 (3.5%)	€926 (5%)
Maintenance and Repair	€374 (2%)	€374 (2%)	€1029 (5%)	€0 ^b (0%)
Taxes and Subsidies	€343 (1.5%)	€189 (1%)	€0 (0%)	-€4202 (-22%)
TCO	€19 927	€21 158	€21 070	€18 922
TCO per month	€554	€588	€585	€526
TCO per kilometres	€0.443	€0.470	€0.468	€0.420

() Rounded percentage of the particular TCO factor in relation to the TCO of that vehicle.

^a Depreciation rate without the government subsidy. Percentage over 100% of the total reflect the large effect of the government subsidy.

^b BMW includes free service for the first 3 years of ownership for all their new cars, BMW only has a 2-year warranty but the BMW i3 will in this study be assumed to not suffer any technical malfunction during the third year of ownership.

No artigo da conferência por Christoph Schimeczek et al., em 2016 [37], foi feita uma comparação aos custos de vários segmentos e tipos de veículos para cinco países: Espanha, Holanda, Alemanha, Áustria e Reino Unido. Para um período de posse de cinco anos, os veículos foram divididos nas seguintes categorias: veículos de posse privada, veículos comerciais (e.g., táxi, veículos de transportação de passageiros), carros de empresa (i.e. carros com uso adicional privado para os trabalhadores) e carros de aluguer. Para além desta distinção, a frota é também segmentada segundo a classificação EEC (dimensão do veículo): segmento A (carros mini), B (carros

pequenos), C (carros médios), D (carros grandes), E (carros executivos) e adicionalmente segmento N1 (veículo ligeiros comerciais). Por fim, são distinguidos os diferentes tipo de combustível/motorização: gasolina, gasóleo e elétrico. Este estudo tem no entanto um enfâse no TCO de veículos elétricos e na comparação de TCO apenas é aprofundado o caso de Espanha, Holanda e Alemanha.

Os resultados obtidos para a Alemanha, representados na Figura 6, mostram que devido a um custo de aquisição de carros mais baixo, preço de combustível moderados e de eletricidade elevado, o TCO para carros convencionais privados de dimensão média e carros comerciais convencionais é inferior ao TCO de veículos elétricos (para todas as gamas de quilometragem anual). Para Espanha, o TCO de carros privados e de empresas com uma quilometragem anual de 15000 km, excede o TCO dos outros tipos de frota, visto que existem taxas adicionais aplicadas a carros privados. Como pode ser visto na Figura 7, com a exceção dos veículos comerciais (N1), o TCO de carros elétricos excede sempre o de carros a gasóleo e gasolina. Relativamente à Holanda, a poupança resultante de escolher um veículo elétrico aumenta mais com o aumento da quilometragem anual, devido aos preços elevados do combustível e preços baixos da eletricidade. A diferença de TCO para carros mini e do segmento B (carros pequenos) é positiva (TCO de BEVs é superior ao TCO de convencionais) para quilometragens anuais inferiores e torna-se negativa a partir de 22500 km/ano (segmento A) e 7500 km/ano (segmento B). Para os restantes segmentos, de forma geral, esta diferença é sempre negativa (TCO de BEVs é inferior a TCO de convencionais), tal como pode ser observado na Figura 8. Por fim, os autores concluem que, especialmente para o TCO de veículos de posse privada, os veículos elétricos não são ainda suficientemente competitivos com veículos convencionais [37].

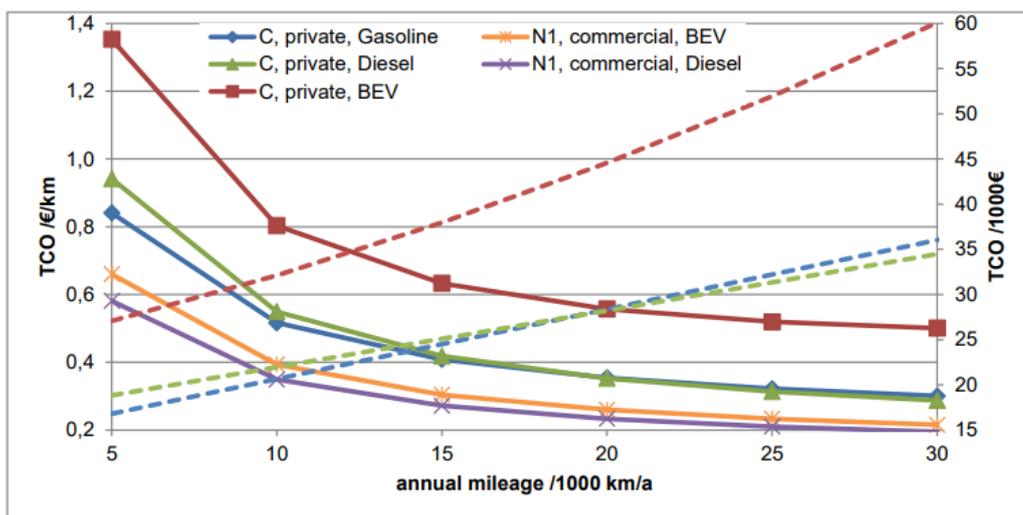


Figura 6 - TCO (€ e €/km) para veículos de dimensão média (segmento C) de posse privada e TCO (€/km) para veículos comerciais (N1) em função da quilometragem anual, na Alemanha. Fonte: [38]

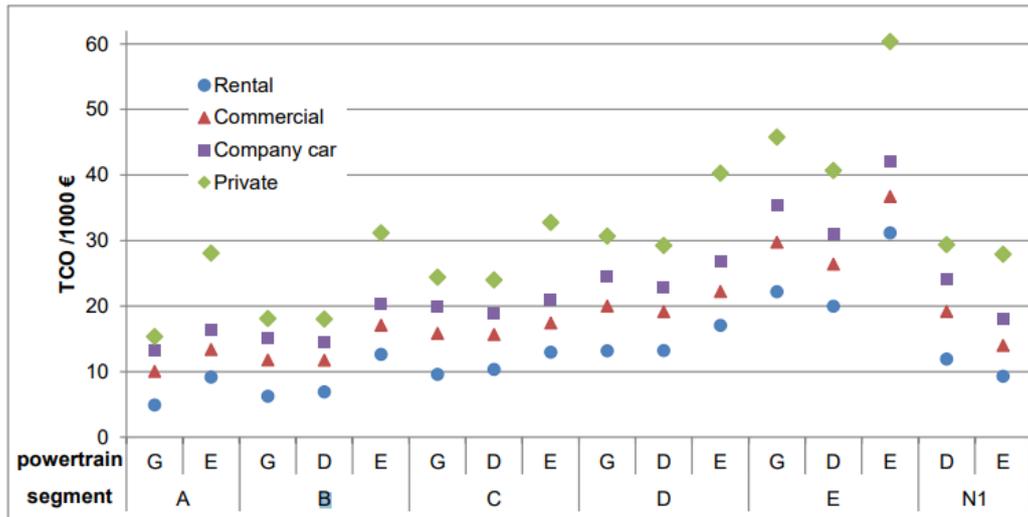


Figura 7 - TCO por tipo de frota para diferentes motorizações e dimensões em Espanha, para uma quilometragem anual de 15000 km; Motorização G referente a gasolina, D a gasóleo e E a elétrico; Segmento de A a N1 correspondentes à classificação EEC. Fonte: [37]

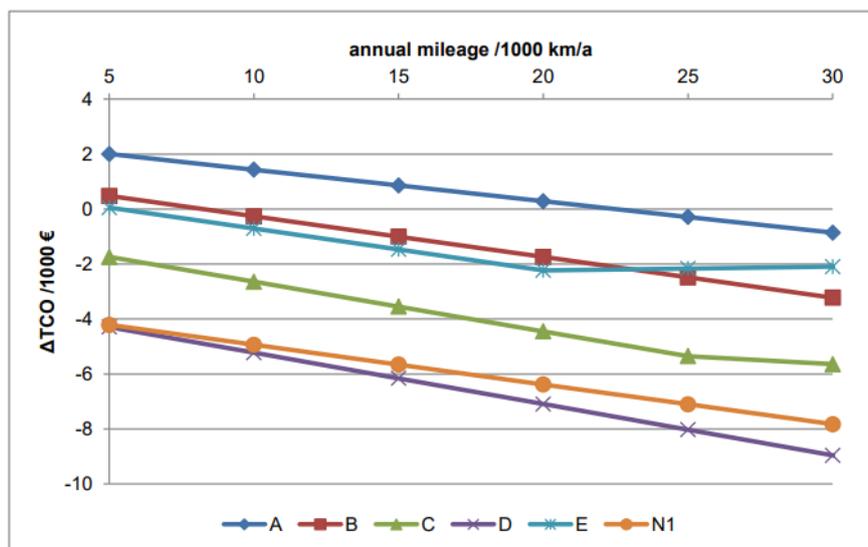


Figura 8 - Variação de TCO entre veículos elétricos e convencionais em função da quilometragem anual, por dimensão de veículo e para frotas comerciais na Holanda. Fonte: [37]

São retirados de gráficos (Figura 6 e Figura 7) os valores para TCO/km, de acordo com os seguintes segmentos: A (carros mini), B (carros pequenos), C (carros médios) e D (carros grandes) [37]. Visto que não são disponibilizadas percentagens para a representatividade de cada segmento, para termos de comparação, são usadas para Espanha as percentagens da representação da média da frota portuguesa. No caso da Alemanha, os resultados para o TCO são apenas disponibilizados para carros privados do segmento C. Para além disto, a Tabela

3 apresenta o custo por quilómetro em função da quilometragem anual e por este motivo é possível obter o valor para 16667 km/ano².

Tabela 3 - TCO (€/km) para veículos a gasolina, gasóleo e elétricos (BEV); Classes A, B, C e D [37].

País	Classe/Categoria	Gasolina	Gasóleo	BEV
Alemanha	C	0.400 €/km	0.400 €/km	0.600 €/km
	Média literatura	0.400 €/km	0.400 €/km	0.600 €/km
Espanha	A (2.2%)	0.267 €/km	n.a.	0.467 €/km
	B (38.7%)	0.300 €/km	0.300 €/km	0.517€/km
	C (36.0%)	0.400 €/km	0.383 €/km	0.550 €/km
	D (23.1%)	0.517 €/km	0.483 €/km	0.667 €/km
	Média literatura	0.385 €/km	0.374 €/km	0.562 €/km

Kate Palmer et al. (2018) [38] realizaram uma análise do TCO para veículos híbridos, híbridos plug-in, gasolina, gasóleo e elétricos. Estudando também a integração destes veículos no mercado dos EUA, Japão e Reino Unido. Os custos incluídos nos cálculos são a depreciação, o imposto, a manutenção, o seguro e o combustível para um período de 3 anos (período médio de posse de um veículo novo no Reino Unido). A fórmula usada para calcular o TCO foi a equação (6) seguinte:

$$TCO_c = \sum_{n=1}^3 \frac{(I_c - S_c) - (I_c - S_c) * d_c^t + f_{ct} * m_c * e + a_{ct} + n_{ct} + x_{ct}}{(1 + r_c)^t} \quad (6)$$

Em que I = preço inicial, d = taxa de depreciação, t = tempo (de posse) (anos), f = preço anual de combustível, m = distância anual percorrida (milhas), e = eficiência do combustível do veículo (litro/milha), a = manutenção anual, n = seguro anual, x = imposto anual, s = incentivo anual, r = taxa de desconto para região geográfica c. De acordo com o país em que foi aplicado o estudo, a unidade monetária usada variou. A quilometragem considerada para cada região geográfica foi 29997 km para o Japão, 50212 km para o Reino Unido, 53451 km para a Califórnia e 75515 km para o Texas.

Concluiu-se que para o Japão, o TCO foi superior para os veículos híbridos, seguido (ordem decrescente) dos veículos a gasolina, híbridos elétricos plug-in e elétricos. Para os Estados Unidos da América, a ordem decrescente de custos foi a seguinte: híbridos plug-in, híbridos, gasolina e elétricos. Por fim, para o Reino Unido o TCO foi

² Valor da quilometragem anual assumido para os cálculos experimentais posteriores (capítulo 3.3).

superior para os veículos híbridos plug-in, seguidos dos veículos híbridos, gasolina, gasóleo e, por fim, os veículos com um custo mais baixo por quilómetro são os elétricos. Estes resultados podem ser observados na Figura 9 [38].

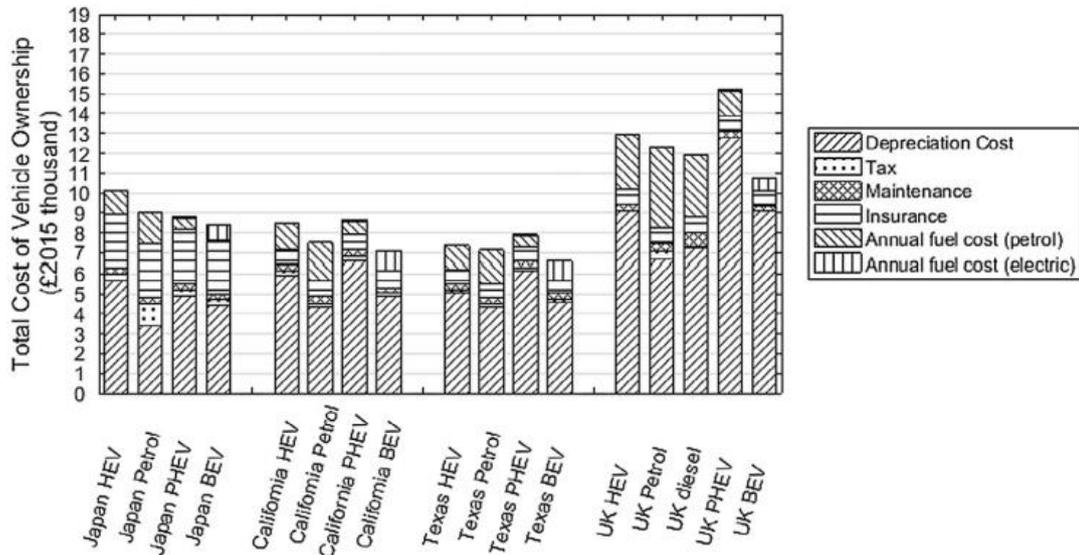


Figura 9 - Componentes do TCO para cada veículo em cada Região. Fonte: [38]

Na Tabela 5s, são sintetizados os TCO (€/km) de veículos ligeiros descritos na literatura mencionada. São apresentados também os dados assumidos e custos incluídos nos cálculos (Tabela 4). Os autores assumem uma depreciação do BEV igual à das outras categorias, devido à incerteza do mercado. O artigo de Geng Wu et al. [35] não especifica esta informação e o artigo de Schimeczek et al. [38], apenas revela que, no caso da Holanda, o BEV deprecia mais que o normal. Com a exceção de Geng Wu, os custos associados ao carregamento dos veículos elétricos não são incluídos, apenas o preço da eletricidade [35].

Tabela 4 - Custos incluídos nos resultados obtidos e na literatura.

Fonte	Aquisição	Depreciação	Combustível	Manutenção		Seguro	Impostos	Incentivo	Estacionamento	Portagem
				/Reparação/ Inspeção						
(Gomes et al., 2011)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
(G. Wu et al., 2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
(Hagman et al., 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
(Palmer et al., 2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
(Schimeczek et al., 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X

Tabela 5 - TCO (€/km) para veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos: resultados experimentais e literatura.

	Categorias					Fonte	Período de tempo	Quilometragem anual	Região
	Gasolina	Gasóleo	Híbrido	Híbrido plug-in	Elétrico				
TCO (€/km)	0.117					(Gomes et al., 2011)	30	11111	Portugal
	0.436		0.438	0.477	0.493	(G. Wu et al., 2015)	6	15197	Alemanha
	0.470	0.443	0.468	n.a.	0.420	(Hagman et al., 2016)	3	15017	Suécia
	0.701	n.a.	0.787	0.694	0.662	(Palmer et al., 2018)	3	9999	Japão
	0.568	0.554	0.600	0.697	0.503			16737	Reino Unido
	0.325	n.a.	0.368	0.377	0.308			17817	Califórnia
	0.218	n.a.	0.230	0.245	0.206			25172	Texas
	0.400	0.400	n.a.	n.a.	0.600	(Schimeczek et al., 2016)	4	15000	Espanha
0.385	0.374	n.a.	n.a.	0.562	16667			Alemanha	

Existem vários estudos na literatura relacionados com os temas em questão, para diferentes localizações, pressupostos e diferentes metodologias. No entanto, nenhum dos referidos faz uma análise completa aos impactes totais (ambientais, energéticos e económicos) em território nacional.

Relativamente à análise do TCO de carros privados, apesar de a vasta maioria não ser em território nacional, existe bastante trabalho realizado de forma semelhante ao realizado na presente dissertação. Ou seja, diversos custos incluídos no cálculo de um custo total de posse por quilómetro para diferentes tecnologias de automóveis. O estudo de Gomes et al. [34], apesar de português, não distingue as diferentes categorias de veículos e apenas estima um custo médio por quilómetro para o veículo ligeiro de passageiros, com alguns custos incluídos e não se especifica no TCO de um carro para uma área urbana específica como a AML [34].

Quanto aos estudos realizados acerca do consumo energético e emissão de poluentes para os diferentes transportes, existem uma grande lacuna no que toca à obtenção uma função das emissões dos principais poluentes e do consumo de combustível para diferentes distâncias e não apenas valores médios para cada transporte.

No geral, a presente dissertação vem preencher várias lacunas ao disponibilizar uma análise completa a todos estes temas. A nível nacional, apresenta-se uma comparação do custo por quilómetro não só de carros próprios (TCO) como de outros transportes para a AML. De acordo com a repartição modal, para diversas gamas de distância, apresenta-se o custo médio (por quilómetro e mensal) das viagens realizadas pelo cidadão. Adicionalmente, são testados e quantificados os efeitos que mudanças na repartição modal podem provocar. Ou seja, os efeitos de um cenário modal mais eficiente e menos poluente nos parâmetros referidos: custo, consumo e emissão. Finalmente, algo não observado na literatura é também um estudo às deslocações intermunicipais e intramunicipais (neste caso de estudo, na AML), no que toca às emissões e consumos, resultante da repartição modal dos transportes utilizados entre cada, ou dentro do, município. Naturalmente, se as deslocações ente dois municípios privilegiarem (i.e., com uma quota modal mais elevada) modos elétricos, com maior capacidade e uma taxa de ocupação mais elevada (i.e., passageiros por veículo), a média do consumo de energia e das emissões por passageiro*quilómetro será inferior do que se for privilegiado o automóvel individual com uma fraca taxa de ocupação (por exemplo, 1 a 2 viajantes por carro).

3 METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A metodologia está dividida em quatro partes. Na primeira, é efetuada a caracterização do consumo de energia e emissão de poluentes de veículos, descreve-se a utilização do software de cálculo de emissões COPERT (explicado na secção seguinte) e de todos os dados necessários de forma a obter uma função de emissão e consumo de energia em função da velocidade, para cada modo de transporte. Os dados obtidos têm como base a informação presente no Inventário Nacional Português (National Inventory Report - NIR) [39].

Na seguinte, é apresentada a caracterização de custos totais de transportes por gama de distância: custos associados à posse de veículos privados e custos totais para o utilizador de transportes públicos e mobilidade partilhada. Os carros privados estão distinguidos nas seguintes categorias: elétricos, gasolina, gasóleo, híbridos plug-in e híbridos.

Na terceira parte, é desenvolvida a caracterização de padrões de mobilidade, é explicado a forma como se analisa e caracteriza o comportamento de deslocações na Área Metropolitana de Lisboa. De acordo com o Inquérito à Mobilidade (IMob), é possível obter funções da velocidade em função da distância para cada modo de transporte em cada modo de condução, assim como, estudar a influência de outras variáveis na velocidade (por exemplo, hora de ponta). Permite também relacionar estes resultados com os da primeira parte, de forma a obter funções de emissão e consumo para diferentes gamas de distância.

Por fim, é apresentada a metodologia da avaliação de impactes associados aos padrões de mobilidade na AML: matrizes entre municípios, impactes da repartição modal no custo médio, consumo de energia e emissão de CO₂. É importante reforçar que as emissões, consumos e custos, a abordagem efetuada só considera a fase de utilização dos modos de transporte, ou seja a fase depósito-à-roda. O esquema da Figura 10 representa esquematicamente a síntese da metodologia desenvolvida.

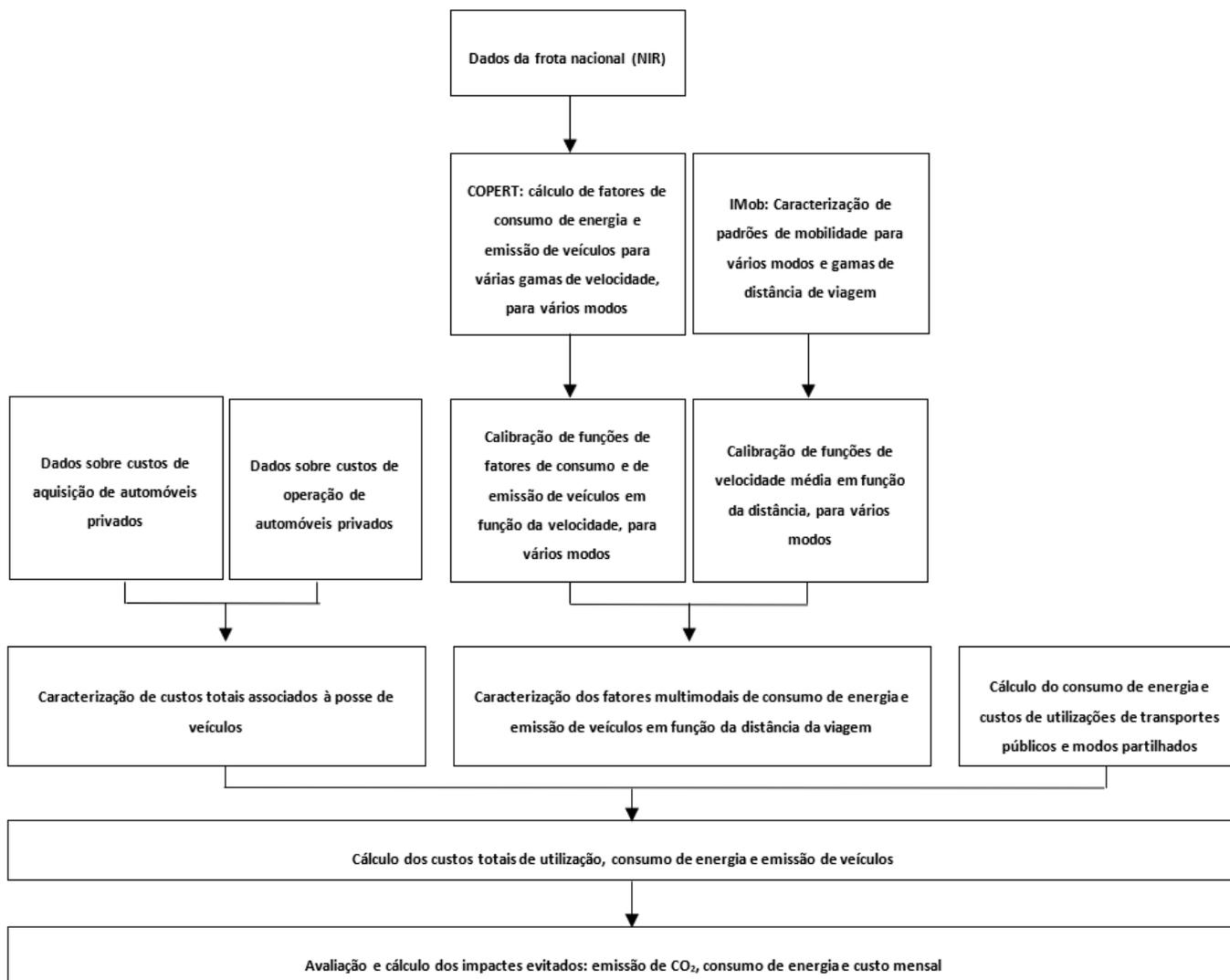


Figura 10 - Sequência de passos para a metodologia.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE VEÍCULOS

De forma a obter o consumo de energia e a emissão dos poluentes para a frota média nacional, foi utilizado o software COPERT 5, uma ferramenta de cálculo de emissões de veículos da União Europeia [40]. O desenvolvimento da metodologia foi coordenada com a European Environment Agency (EEA), com o objetivo de obter um inventário de emissões oficiais de transportes rodoviários em países membros da UE.

O COPERT utiliza informações acerca de uma frota (por exemplo, quilometragem, velocidade, temperaturas ambiente) para calcular emissões dos principais poluentes, metais pesados, partículas e gases de efeito de estufa, assim como consumos de energia para a frota de uma região ou país específico. As emissões são estimadas para os modos de operação dos veículos: emissões de não-exaustão (por evaporação de combustível, emissões de uso de pneus e travões), durante a fase de funcionamento a frio (emissões 'cold start') e as emissões a quente nas quais a operação do motor já está estabilizada termicamente (emissões 'hot'). As emissões totais são a soma de todas estas emissões [40]. As emissões de poluentes estão relacionadas com as condições de condução -

urbano, rural e autoestrada, tendo ainda em consideração no modo urbano as condições de hora de ponta (*peak*) e e fora da hora de ponta (*off-peak*).

As emissões por evaporação referem-se ao total de emissões de compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) provenientes do combustível (não por combustão), apenas para veículos a gasolina. Os COVNM são um grupo de compostos orgânicos que variam na sua composição mas que possuem um impacto semelhante na atmosfera. Nos veículos a gasóleo, as emissões destes poluentes por evaporação são desprezadas devido à presença de hidrocarbonetos mais pesados e à pressão de vapor relativamente baixa do gasóleo.

De acordo com o tipo de emissão estimada (*hot, cold and evaporative*) e consoante a informação disponível, o programa acede a um determinado patamar de desagregação dos cálculos ("*tier*") incorporando os dados e variáveis de acordo com a metodologia e equações de cada patamar, em função da informação estatística disponível sobre as frotas de cada modo em circulação na região assim como as respetivas estatísticas de operação. As equações usadas pelos métodos de cada patamar, de forma geral, requerem informação como os fatores de emissão para a categoria de veículo, condições climáticas, assim como outras características sobre o combustível e as situações de condução. Sendo que a equação geral (7) para as emissões evaporativas é a seguinte:

$$E_{COV} = \sum_j N_j * FE_{COV,j} * 365 \quad (7)$$

Em que, E_{COV} = emissões de COV (g/ano), N_j = número de veículos na categoria j , $FE_{COV,j}$ = fator de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) para a categoria de veículos j e j = categoria de veículo (veículos ligeiros e veículos motorizados a duas rodas). Os fatores de emissão, neste caso, são influenciados pelas temperaturas atmosféricas diárias [41].

Os outros patamares requerem informações mais complexas, como dimensões de componentes do veículo, fatores de emissões sazonais, peso do veículo, pressão de vapor do combustível, entre outras. As emissões por exaustão, referem-se às emissões de poluentes decorrentes da combustão nos veículos. Os poluentes mais relevantes emitidos por veículos rodoviários incluem: precursores de ozono (CO, NO_x, COVNM), gases de efeito de estufa (CO₂, CH₄, N₂O), substâncias acidificantes (NH₃, SO₂), partículas suspensas (PM) (do inglês, *Particulate Matter*), espécies carcinogénicas (PAHs, POPs), outras substâncias tóxicas e metais pesados. Os poluentes mencionados podem ser divididos em quatro grupos, de acordo com o detalhe de informação que existir e a metodologia adotada.

O grupo 1 consiste em poluentes para os quais existe uma metodologia detalhada, baseia-se em fatores de emissão, tem em consideração diferentes condições de condução (CO, NO_x, COV, CH₄, COVNM, N₂O, NH₃ e PM). O segundo grupo é constituído por poluentes cujas emissões são estimadas com base no consumo de combustível (CO₂, SO₂, Pb, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Se e Zn). No grupo 3 incluem-se poluentes para os quais se aplica uma metodologia simplificada (PAHs, POPs, PCDDs, PCDFs, PCBs e HCB). Finalmente, o grupo 4 consiste de poluentes derivados das emissões de COVNM (alcanos, alcenos, alcinos, aldeídos, cetonas, ciclo alcanos e compostos aromáticos).

Como referido anteriormente, o cálculo das emissões por exaustão, dependendo dos dados disponíveis, pode ser realizado por diferentes patamares. A equação genérica para o cálculo das emissões depende apenas do consumo de combustível e do fator de emissão correspondente da categoria do veículo. Para o primeiro patamar, é necessária informação como fatores de emissão tabelados e valores típicos para o consumo de combustível por categoria. As metodologias para os restantes patamares necessitam de dados mais detalhados acerca das emissões *standard* de cada veículo, a quilometragem anual, assim como outros dados sobre atividade de condução e o veículo.

As denominadas emissões a quente (*hot exhaust emissions*) dependem de fatores como distância conduzida, velocidade, idade do veículo, entre outros. A fórmula geral para o cálculo deste tipo de emissões é a seguinte equação (6).

$$Eq (g) = \text{Fator de emissão} \left(\frac{g}{km} \right) * N^{\circ} \text{ de veículos} * \text{Quilometragem (km)} \quad (6)$$

As emissões a frio (*cold emissions*), ou seja, as emissões por exaustão de gases produzidos durante os primeiros minutos após a ignição, não são uma função da idade do veículo mas sim das condições de condução e de fatores climatéricos. Estes fatores afetam a duração da fase de aquecimento do motor e portanto a fração da deslocação conduzida com o motor frio do veículo de cada categoria [42].

Primeiramente utilizou-se o software para calcular os fatores de emissão associados à frota média portuguesa, tendo como base a frota presente no inventário nacional de emissões de poluentes atmosféricos de 2017 (NIR) [39]. O COPERT 5 requer alguns parâmetros de entrada nas seguintes categorias: informação ambiental, características da viagem, informações referentes aos combustíveis e aos veículos (e.g., características da frota, condições de condução). Sempre que estavam disponíveis valores para estas variáveis para a realidade Portuguesa, foram considerados esses valores específicos, caso contrários foram considerados os valores de referência do COPERT 5.

As informações ambientais necessárias são valores de temperatura mínima, temperatura máxima e humidade relativa para cada mês em Portugal. As características da viagem consistem num valor médio para Portugal para a distância e duração, 10 km e 0.2 h, respetivamente [39].

As especificações dos combustíveis já se encontravam no COPERT como valores *de* referência pois são regulados a nível Europeu. No entanto, a incorporação de biodiesel no gasóleo difere para cada país, no caso de Portugal, 5.12%. A pressão de vapor de Reid mensal considerada mantém-se inalteradas de 2000 a 2007, corresponde à pressão à qual um líquido de hidrocarboneto começará a transformar-se em vapor, a 37.8 °C [43]. Quanto ao consumo de energia, apesar de os valores estarem tabelados no NIR e serem incluídos no COPERT, não é efetuado o balanço de energia. Ao efetuar este balanço, o COPERT calcula as emissões dos poluentes de modo a que o consumo total de energia coincida com o valor inserido, o que resultaria em resultados incorretos visto que a frota incluída não é a frota total presente no inventário nacional e portanto a soma dos consumos não é o consumo total presente no inventário.

Para que seja possível ocorrer a combustão, a gasolina (isenta de oxigénio) deve ser aditivada com componentes como metanol, etanol ou derivados, sendo o éter etil-terc-butílico (ETBE) um dos mais comuns, produzido pela reação entre etanol e isobutileno [42]. De forma a calcular o conteúdo estatístico de ETBE na mistura com etanol, foram utilizadas as médias dos valores (tep, tonelada equivalente de petróleo) dos três primeiros meses de 2020, para o etanol e ETBE. Com estes valores médios de 76.3 tep e 248 tep para o ETBE e o etanol, respetivamente, e pela equação (7), obtém-se 23.5% para a incorporação de ETBE na mistura (em Portugal) [44].

$$ETBE (\%) = \frac{ETBE}{Etanol + ETBE} * 100 \quad (7)$$

A frota considerada no inventário nacional para o ano de 2017 (NIR) tem uma diversidade de 149 tipos de veículos com diferentes tecnologias – veículos a gasolina, gasóleo, híbrido a petróleo, bi-combustível, Gás de petróleo liquefeito (GPL) e veículos a gás natural comprimido. Certas categorias de veículos disponíveis no COPERT não estão presentes na base de dados de 2017 por representarem classes Euro mais recentes e tecnologias mais avançadas (e.g., *Euro 6 2020, Improved Conventional, Open Loop, Conventional*). A partir da tabela de síntese da frota, conclui-se que os veículos ligeiros de passageiros representam 71.4% da frota nacional para transporte de passageiros. Os veículos ligeiros comerciais apenas representam 18.3% e os restantes menos ainda. Assim, apenas se inclui na frota deste estudo, veículos ligeiros de passageiros, autocarros e motociclos. Os autocarros, apesar de serem uma minoria na frota portuguesa, são um dos modos de transportes alternativos ao veículo próprio que vão ser relevantes para comparações e análises posteriores, assim como para os motociclos. No contexto de Lisboa, a Carris tem cerca de 441 unidades ativas de autocarros *standart* e 90 unidades ativas de autocarros articulados, movidos a gasóleo e a gás natural [45]. Devido ao facto dos autocarros articulados terem uma baixa representatividade na frota da Carris, são apenas considerados autocarros urbanos *midi* (peso do veículo menor ou igual a 15 toneladas), *standard* (entre 15 a 18 toneladas) e autocarros urbanos movidos a gás natural comprimido. Sendo o ano de referência 2017, não são ainda considerados os autocarros elétricos que, em contexto urbano, se relevam uma tendência muito relevante. Em 2020, surgiu a primeira carreira da Carris de autocarros elétricos [46]. Mais recentemente, a Carris anuncia um investimento de 60 M€ para a aquisição de 15 elétricos articulados e 30 autocarros elétricos [47]. Pelo mesmo motivo (o NIR não considera), nenhum veículo elétrico é considerado, incluindo automóveis elétricos. Assim, na mesma categoria dos transportes públicos, não são considerados elétricos na frota, visto que têm pouco uso e se podem enquadrar no autocarro.

É ainda pertinente referir algumas diferenças na versão 5 do COPERT e no NIR. No NIR distinguem-se os seguintes modos de circulação: urbano, rural e autoestrada. Enquanto que no COPERT distingue-se também o *urban peak* (*urbano em hora de ponta*), *urban off-peak* (*urbano fora da hora de ponta*), rural e autoestrada. *Urban peak* corresponde ao modo urbano quando existe mais tráfego, maior congestionamento, ou seja, o período em que existem mais veículos a circular a velocidades médias mais baixas (acelerações e desacelerações mais frequentes) e *urban off-peak*, o modo urbano fora deste período. No artigo de 2019 por Marta Faria et al. [48], foram consideradas como “hora de ponta” os períodos de tempo das 8h às 10h e das 17h às 19h, tanto para dias de semana como para o fim de semana. Do artigo foi possível retirar informação sobre a fração de quilómetros em cada modo de condução, presentes na Tabela 6. Aplicando estes dados às percentagens de quilometragem

conduzida em cada modo e aos valores para as velocidades assumidas e presentes no NIR, é possível relacionar os modos de condução entre o COPERT e o NIR, para todas as categorias de veículos (Tabela A 1).

Tabela 6- Percentagem de quilómetros conduzidos durante a semana em horário de ponta e fora de ponta. Fonte: [48]

	Dia útil	Dia de fim de semana	Semana
Ponta	54.1%	35.5%	48.8%
Fora de Ponta	45.9%	64.5%	51.2%

Por fim, em relação aos veículos *bi-fuel*, que no caso da frota em causa apenas se aplica a GPL, o veículo utiliza 80% do combustível primário (GPL) e 20% do combustível secundário (gasolina). Todos os parâmetros de entrada mencionados estão presentes na Tabela 7. Parâmetros que não estejam presentes na mesma, são assumidos como os valores de referência do COPERT.

Tabela 7 - Variáveis de Entrada do COPERT 5.

Variáveis de Entrada	Fonte	Anexo:
Temperaturas máxima, mínima e humidade relativa mensal	[39]	-
Distância e duração da viagem	[39]	-
Fração de incorporação de biodiesel no gasóleo	[39]	-
Pressão de vapor de Reid	[39]	-
Consumo estatístico de combustível	[39]	-
Conteúdo de ETBE	[44]	-
Inventário da frota	[39]	-
Atividade média anual	[39]	-
Percentagem de quilometragem conduzida por modo de condução e tipo de veículo	[39], [48]	Tabela A 1
Velocidades dos veículos por modo de condução e tipo de veículo	[39], [48]	Tabela A 1
Fração de bi-combustível	[39]	-

Obtendo assim valores absolutos (TJ e Ton) para os consumos de energia e emissões dos seguintes poluentes: CO₂, PM, COVNM, COV, CO e NOx. Apesar de alguns destes valores obtidos poderem e serem comparados (em termos absolutos) com os valores de referência para efeitos de calibração, os resultados são convertidos para MJ/(veículo.km) (consumo) e para g/(veículo.km) (fatores de emissão). Para tal, é necessário ter em consideração o inventário e a quilometragem média da frota [39].

Relativamente ao consumo de combustível (no caso de veículos que funcionam com combustão interna), este indicador afere a quantidade de combustível consumida para percorrer uma distância fixa, geralmente l/100km. É necessário por isso converter o resultado obtido em MJ/km para esta unidade, visto que o primeiro é apenas usado como referência no caso dos veículos elétricos e híbridos. Para tal, considera-se a densidade energética

por volume (MJ/l) de cada combustível, obtida pelo produto entre a densidade (kg/m^3) e a densidade energética (MJ/kg), presentes no anexo (Tabela A 2).

De seguida, o processo é repetido mantendo os parâmetros de entrada, com exceção da percentagem de quilómetros conduzidos por modo e a velocidade. O objetivo será obter consumos energéticos e emissões de poluentes em função da velocidade para cada modo de transporte e tendo em conta os diferentes modos de tráfego. De modo a analisar o efeito da variável da velocidade, o procedimento será repetido 20 vezes para deslocações com velocidades a 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 km/h, para uma condução 100% em modo urbano *peak* e 100% modo urbano *off-peak* [49]. De acordo com os valores médios para cada transporte, para cada velocidade, obtêm-se fatores de emissão e consumos energéticos em função da velocidade. Posteriormente, com resultados do Inquérito à Mobilidade - IMob (capítulo 3.4), pretende-se aplicar os fatores e consumos de energia obtidos em função da gama de distâncias percorridas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DE CUSTOS TOTAIS DE TRANSPORTES POR GAMA DE DISTÂNCIA

Neste capítulo da dissertação, é definido o método de cálculo do custo total de posse de um automóvel privado (TCO) (i.e *Total Cost of Ownership*) de veículos ligeiros privados nas seguintes gamas: veículos a gasolina, gasóleo, híbridos plug-in, híbridos e elétricos. Adicionalmente, é apresentada a metodologia dos custos por quilómetro de transportes alternativos (públicos, partilhados, ativos), de modo a analisar e comparar todas as hipóteses para cada gama de distância.

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DE CUSTOS ASSOCIADOS À POSSE DE UM VEÍCULO LIGEIRO PRIVADO

O TCO é um método destinado a consumidores e gestores de frota de empresas que começou a ser mais usado no final dos anos 80. Inicialmente usado apenas para compras de *hardware* informático e *softwares*, posteriormente passou a ser um método muito usado em todo o tipo de compras. É um método de estimativa financeira que permite avaliar os custos da compra de um produto ou serviço da forma mais completa possível ao longo do ciclo de vida. Desta forma, é fornecida uma ferramenta consistente de avaliação de fornecedores, assim como uma forma de localizar as áreas que devem ter mais foco e prioridade, com o objetivo final de melhorar o desempenho. Alguns dos benefícios deste método são o facto de que o consumidor fica mais informado acerca da estrutura do custo, são fornecidos dados para negociação e permite justificar preços de compra mais elevados com custos totais mais baixos a longo prazo. Um dos fatores que dificulta a sua integração é frequentemente a falta de acesso a dados e custos. É necessária uma mudança de perspetiva, particularmente, da parte dos consumidores visto que na escolha de transporte para as suas deslocações diárias, frequentemente não é considerado o custo total por quilómetro (dependendo da gama de distância da deslocação), mas sim custos específicos “*out-of-pocket*”.

Os primeiros passos para esta análise incluem estimar o tempo de vida do veículo e a distância percorrida ao longo deste período de tempo. Foi assim assumido um tempo de vida de 12 anos e uma quilometragem de cerca de 200000 km, valor médio obtido de diversas referências [50][51][52].

Sendo o TCO, uma análise de custos diretos e indiretos, é necessário determinar a maior quantidade de custos incluídos no tempo de vida do veículo. Os custos definidos são divididos em custos fixos e variáveis, sendo os custos fixos incluídos os seguintes: preço de aquisição, inspeção periódica obrigatória, imposto único de circulação (IUC), imposto sobre veículos (ISV), depreciação do veículo, seguro automóvel e incentivos. Os custos variáveis tidos em conta são a manutenção, estacionamento, portagens e combustível.

Foi disponibilizada uma base de dados confidencial com informações entre as quais preço de aquisição, consumo de vários carros, assim como informação necessária para obter a depreciação, relativos a uma amostra de cerca de 140902 veículos em Portugal. Os carros foram categorizados em cabrio, carrinha, desportivo/coupé, monovolume, sedan, SUV/TT e utilitário e segundo os seguintes combustíveis/motorizações: gasolina, gasóleo, GPL, híbrido, híbrido plug-in e elétrico. Os valores de consumo dos automóveis estavam apenas disponíveis para veículos a gasolina, gasóleo e GPL. De modo a obter um valor padrão para estes dados, foi encontrado o perfil de um carro padrão. Foi feita uma correspondência entre as categorias da fonte confidencial e as categorias presentes no NIR: *mini*, *small*, *medium*, *large-suv-executive*, com as seguintes representatividades na frota portuguesa: 2.2%, 38.7%, 36.0% e 23.1%, respetivamente [39]. O segmento *mini*, por ser pouco representativo e por não ter uma correspondência direta com o sistema alternativo, não foi considerado e a percentagem correspondente foi diluída nas restantes categorias. A correspondência e categorização está apresentada no anexo (**Tabela A 3**). Assim foi criado o perfil de um automóvel padrão composto por 39% utilitário, 37% monovolume e 24% de uma média dos segmentos restantes.

No caso dos veículos híbridos e elétricos, não existe amostragem suficiente para a depreciação (não existem valores para $t=12$ anos). A evolução do número de marcas e modelos disponíveis em Portugal nos últimos anos tem vindo a crescer exponencialmente (anexo: **Tabela A 4** e **Tabela A 5**). Para além disto, olhando para 10 anos atrás, não havia quase amostra de veículos alternativos no país [50]. Quanto maior a diversificação de uma tecnologia, mais confiança tem o mercado. Tendo em conta que a penetração destas tecnologias alternativas em Portugal não tem muito tempo, é natural que o mercado não tenha tanta confiança no que diz respeito a dados que representem o comportamento do preço ao longo do tempo. De modo a distinguir na base de dados os veículos híbridos (HEV) e híbridos plug-in (PHEV), foi assumida uma relação, de acordo com a categoria, combustível e se tem valores para o consumo ou não (anexo: **Tabela A 6**). Visto que tipicamente os veículos elétricos são uma alternativa aos veículos a gasolina e que no futuro as duas tecnologias tenderão a convergir, assume-se que a depreciação para 12 anos dos dois tipos de veículos é igual, assim como para os veículos híbridos.

Relativamente ao consumo para os veículos híbridos, o valor médio foi retirado do COPERT. Na frota do NIR não estão incluídos híbridos plug-in nem carros 100% elétricos, assim o consumo destas classes correspondem aos valores médios dos consumos do PHEV e BEV mais vendido em Portugal em 2017: BMW 330e BERLINA e Renault Zoe, respetivamente [50], [53], [54].

Para efeitos de simplificação para os seguintes cálculos, seguiu-se o estudo de Patrick Plötz realizado em 2015 [55], que revela que cerca de 78% dos quilómetros conduzidos por veículos híbridos plug-in utilizam o motor elétrico. As estatísticas do setor automóvel revelam que os veículos híbridos gasolina/elétrico representam 67%

do total de veículos híbridos vendidos em Portugal e 92% do total de híbridos convencionais (gasolina/elétrico e gasóleo/elétrico) [50]. Assim, os veículos híbridos considerados nos cálculos são a gasolina.

Após aplicada a informação ao preço de base do veículo novo e ao consumo de combustível e com a informação obtida adicionalmente para veículos híbridos e elétricos, foram obtidos os seguintes resultados (**Tabela 8**).

Tabela 8 - Consumo de combustível e Preço de aquisição de um carro padrão. Fonte: Obtido a partir de base de dados confidencial.

	Combustível	Consumo	Preço aquisição (m€)	Depreciação (t=12 anos)
	Gasolina	8.72 l/100km	36.2	31%
	Gasóleo	5.99 l/100km	39.0	28%
Média	Elétrico (BEV)	15.50 kWh/100km	53.9	31%
Carro	Híbrido (HEV)	5.30 l/100km	47.2	31%
Padrão	Híbrido Plug-in (PHEV)	17.00 kWh/100km e 1.45 l/100km	73.1	31%

A inspeção periódica obrigatória é realizada para verificação das condições de segurança do veículo. Os automóveis ligeiros de passageiros devem realizar a inspeção quatro anos após a data da primeira matrícula e, em seguida, de dois em dois anos, até perfazerem oito anos, e, depois, anualmente [56]. Cada inspeção tem um custo de 25.61€, ou seja, um custo anual de 14.94€.

O Imposto Sobre Veículos (ISV) é um pagamento único efetuado no ano da matrícula que pretende cobrar os custos que os veículos provocam nos domínios do ambiente, infraestruturas viárias e sinistralidade rodoviária. Já o Imposto Único de Circulação (IUC) é um pagamento anual que depende das emissões de CO₂ do veículo, da antiguidade, do combustível usado e da cilindrada do seu motor. O IUC, assim como o ISV, podem ser simulados. No entanto, para realizar a referida simulação é necessário inserir dados sobre cada veículo específico. Assim, realizaram-se cinco categorias de simulação, de acordo com o tipo de combustível utilizado: gasolina, gasóleo, híbrido, híbrido elétrico plug-in e elétrico. Os veículos elétricos estão isentos dos custos associados ao IUC e ao ISV. O ISV de veículos híbridos tem uma redução no imposto de 40% e para os híbridos plug-in, uma redução de 75% [57] [58]. Para veículos a gasolina e a gasóleo, simularam-se 5 veículos de gasolina e 5 de gasóleo de acordo com a lista dos 50 carros mais vendidos em 2017 em Portugal [50]. Os resultados das simulações para o ISV de diferentes combustíveis e as respetivas características estão presentes em anexo (ANEXO.5 Resultados das simulações para o ISV).

Para o cálculo do IUC, as simulações de diferentes veículos requerem o ano de matrícula do veículo. Segundo a conferência de imprensa anual da ACAP realizada em 2020, cerca de 16% dos veículos da frota portuguesa têm mais de 20 anos [59]. Assume-se assim para esta estimativa que 16% da frota têm uma data de matrícula anterior a 2007 e 84% são posteriores a 2007. Para a simulação de veículos posteriores a 2007, consideraram-se 3 veículos a gasolina e 2 a gasóleo da lista de modelos mais vendidos de 2017, utilizada anteriormente [50]. Para a simulação de veículos anteriores a este ano, foram escolhidos três carros a gasolina e dois carros a gasóleo da lista de carros mais vendidos em 2007 [60]. Para os veículos híbridos e híbridos plug-in não existe redução de custo, assim serão tratados como veículos a gasolina. Os resultados das simulações para o IUC de diferentes combustíveis e as respetivas características estão presentes em anexo (ANEXO.6 Resultados das simulações para o IUC).

Tendo em conta a presente crise ambiental, o governo português tem tomado várias medidas de modo a incentivar o uso de tecnologias verdes e a reduzir os danos ambientais. Tais medidas incluem o incentivo monetário no valor de 3000 euros no caso de pessoas singulares, apenas no caso da introdução no consumo de um veículo 100% elétrico novo [61].

O seguro automóvel tem como propósito oferecer proteção financeira ao cliente no caso de danos materiais ou de corporais que resultem de um acidente de viação. Existem duas possibilidades de seguro, sendo a cobertura mais básica, o seguro de responsabilidade civil automóvel e este é obrigatório em Portugal por lei. Existe também o seguro de danos próprios que não é obrigatório e tem um custo mais elevado pois tem uma maior cobertura de possíveis danos. Foram estimados valores por defeito para o custo anual de ambas as opções, para cada gama de veículos, obtidos pela média ponderada dos dois tipos de seguros [62].

Para a realização das simulações, foi necessário adotar um perfil representativo dos condutores em Portugal. De acordo com a Circula Seguros, os condutores de sexo masculino representam 57% do total de condutores em Portugal e revelam ser uma maioria em todos os escalões etários, sendo o escalão etário com mais automobilistas dos 40 aos 49 anos [63]. Para efeitos de simplificação, o perfil usado nas simulações foi de um condutor do sexo masculino de 45 anos de idade. Assumiu-se que o automobilista tirou a carta aos 18 anos, sendo este o requisito de idade mínima, que possui seguro em nome próprio há mais de 18 anos e que teve um sinistro nos últimos 4 anos. O veículo considerado tem a idade média da frota portuguesa (12.4 anos) e portanto uma matrícula com data de 2009 [64]. As simulações são realizadas através de uma das grandes seguradoras automóvel em Portugal, OK! Telesseguros, marca do grupo segurador Fidelidade [62], [65]. Os veículos simulados foram os cinco modelos mais vendidos em 2009 [66]. Os resultados das simulações encontram-se em anexo (ANEXO.7 Resultados das simulações para o seguro). Tendo sido obtido um valor médio anual de referência para um seguro de responsabilidade civil e de danos próprios de 231.53€ e 317.89€, respetivamente, resultando num valor médio de referência de 266.94€ [67]

A manutenção automóvel periódica é um custo variável e essencial para cuidar e prolongar a vida útil do veículo assim como garantir a segurança do condutor. O relatório de consumidores realizado por Chris Harto em 2020 [68], revela os valores de manutenção para os veículos de combustão interna, elétricos e híbridos plug-in – 0.082,

0.042 e 0.041 €/km, respetivamente. Desprezando assim a diferença de custo por quilómetro entre um veículo a gasolina e a gasóleo, assim como entre um híbrido plug-in e um híbrido [68].

O custo de estacionamento e de portagens foi obtido com base nas respostas reveladas no IMob ponderado pelo número de respostas em cada gama de custos revelados [69]. Os valores e gráficos obtidos encontram-se em anexo (ANEXO.8 Custo de estacionamento e de portagem).

O preço do combustível tem claramente um grande impacte no custo total de posse de um automóvel. Para avaliar este impacte, foram obtidos os preços de cada combustível pertinente para a gama de veículos analisada. De acordo com o relatório de venda de combustíveis em 2017 para Lisboa, as gasolinas mais vendidas são a gasolina IO 95 e a gasolina IO 98 e no caso do gasóleo, o gasóleo rodoviário [70]. A partir dos preços dos combustíveis para o presente ano foi possível estimar um custo médio para veículos a gasolina e gasóleo, 1.466€/l e 1.328€/l, respetivamente [71]. Segundo o valor doméstico presente na Eurostat para 2019, o preço da eletricidade é 0.2154€/kWh. Assim, o custo de combustíveis foi calculado multiplicando o preço da eletricidade, gasolina ou gasóleo pelos consumos dos veículos. Tendo em consideração que no caso dos veículos híbridos plug-in 78% do consumo é elétrico, multiplicado pelo preço da eletricidade e os restantes 22% pelo consumo e preço da gasolina.

Os pressupostos para os custos estimados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Pressupostos para cálculo de custos fixos e variáveis de automóveis: a gasolina, gasóleo, híbridos plug-in, híbridos e elétricos.

	Gasolina	Gasóleo	Híbrido Plug-in	Híbrido	Elétrico	Fonte	Anexo
Pressupostos para os custos fixos							
Preço Compra (€)	36 190	38 970	73 090	47 170	53 860	Baseado em: dados confidenciais	-
Depreciação (%) (t=12 anos)	31	28	31	31	31	Baseado em: dados confidenciais	-
Incentivos (€)	0	0	0	0	-3 000	[72]	-
ISV (€)	1 423.00	4 054.00	355.75	853.80	0.00	Baseado em: [50], [57]	ANEXO.5 Resultados das simulações para o ISV
IUC (€/ano)	122.64	132.88	122.64	122.64	0.00	Baseado em: [50], [58], [60]	ANEXO.6 Resultados das simulações para o IUC.
Inspeção Periódica (€/inspeção)	25.61	25.61	25.61	25.61	25.61	[73]	-
Seguro (€/ano)	266.94	266.94	266.94	266.94	266.94	Baseado em: [50], [62], [63], [65], [67]	ANEXO.7 Resultados das simulações para o seguro
Pressupostos para os custos variáveis							
Estacionamento (€/ano)	125.40	125.40	125.40	125.40	125.40	[69]	Figura A 3
Portagem (€/ano)	184.50	184.50	184.50	184.50	184.50	[69]	Figura A 4
Combustível (€/km)	0.130	0.080	0.058	0.078	0.033	Baseado em: dados confidenciais e [70], [71], [74]	-
Manutenção (€/km)	0.082	0.082	0.041	0.041	0.042	[68]	-

3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DE CUSTOS ASSOCIADOS A TRANSPORTES ALTERNATIVOS

O custo em €/km obtido para as diferentes categorias de veículos será também comparado com os custos de transportes alternativos, tais como: transportes públicos (comboio, metropolitano e autocarro), carros partilhados (táxi e TVDE), bicicletas, scooters e trotinetes elétricas. Sendo TVDE, o identificador de automóveis ao serviço de Transporte individual e remunerado de passageiros em Veículos Descaracterizados a partir de plataforma Eletrónica [75]. Os preços dos transportes alternativos referidos são relativos à AML.

Quanto aos transportes públicos, o custo (€/km) foi obtido pela divisão das receitas anuais pelo número de passageiros*km. As receitas consideradas são apenas as relativas ao serviço público (venda de títulos ocasionais, passes e participações) e todos os dados necessários são retirados do relatório e contas da respetiva empresa para cada modo de transporte [76]–[78].

Os primeiros táxis automóveis surgiram em Lisboa em 1907 e os taxímetros começaram a ser utilizados por volta de 1910 [79]. Em 2017, a frota portuguesa contava com um total de 13729 táxis licenciados e 3497 veículos em Lisboa [80]. O sistema tarifário de um táxi, dentro da AML, é assumido para simplificação, como a tarifa 1 do serviço urbano. Tal divide-se em tarifa diurna (6h-21h) e tarifa noturna (21h-6h) [81]. De modo a calcular o preço por distância de um táxi, é necessário calcular uma média ponderada, tendo em conta a gama de distâncias que o veículo percorre, a distribuição de viagens percentual para cada distância e a distribuição percentual entre os dois horários (diurno e noturno). Estes dados são obtidos segundo a informação calculada no capítulo 4.2 sobre a análise ao inquérito da mobilidade, em deslocações dentro da AML feitas por um táxi [69]. Os resultados obtidos para o custo médio de um táxi encontram-se em anexo (Tabela A 12).

Em 2014, surgiu a primeira plataforma de carros partilhada em Portugal como alternativa aos táxis, a Uber. Uber Technologies Inc. é uma empresa de transporte privado urbano norte-americana que funciona através de uma plataforma online. A empresa planeia a nível internacional tomar uma direção totalmente elétrica e sem emissões até 2040, com 100% das viagens a serem efetuadas em veículos sem emissões, em transportes públicos ou com micromobilidade [82]. Outras empresas TVDE foram surgindo em Lisboa desde então e atualmente as plataformas que operam em Lisboa são a Free Now e Bolt. Assume-se que um veículo TVDE tem um comportamento semelhante a um táxi, em relação às deslocações que faz. De modo a calcular o preço por distância de um TVDE, é necessário calcular uma média ponderada, tendo em conta a gama de distâncias que o veículo percorre e a velocidade e distribuição de viagens percentual para cada distância. Estes dados são obtidos segundo a informação calculada no capítulo 4.2 sobre a análise ao inquérito da mobilidade, em deslocações dentro da AML feitas por um táxi. [69]. Os resultados obtidos para o custo médio de um TVDE encontram-se em anexo (Tabela A 13).

Os serviços de micromobilidade partilhada, tais como trotinetes e bicicletas, têm vindo a crescer bastante nos últimos anos. Segundo uma publicação do Jornal Económico, Miguel Gaspar, vereador da mobilidade em Lisboa, revela que o mercado da micromobilidade na capital vale mais de 50 milhões de euros [83]. Em 2018, a empresa norte-americana Lime, foi a primeira a oferecer o serviço de trotinetes elétricas partilhadas em território Português. Em entrevista ao Observador, Álvaro Salvat, diretor-geral da Lime para Portugal, faz um balanço da

operação e revela que um ano após o surgimento, a empresa contava com mais de mil trotinetes a circular em Lisboa e mais de 1.8 milhões de viagens em todo o país [84]. Várias empresas seguiram a Lime, a certo ponto existiam 9 empresas com trotinetes a circular em Portugal, no entanto e apesar de estar constantemente a mudar, as empresas a atuar em Lisboa, atualmente, são a Lime (associada à plataforma Uber), Bird, Bolt e Frog [85]. Ao assumir que uma trotinete tem um comportamento mais semelhante ao de uma bicicleta e serve para trajetos semelhantes, é assumido o tempo e distância média percorrido por uma bicicleta para calcular o custo (€/km) [69].

O seguinte serviço de micromobilidade partilhada, bicicletas elétricas, teve início com o lançamento do sistema Gira – Bicicletas de Lisboa [86]. Operado pela EMEL – Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa, surgiu em 2017, com o intuito de facilitar a mobilidade por Lisboa devido às diferentes elevações da cidade. A plataforma, ao contrário de outras, não tem uma tarifa por minuto ou por quilómetro, mas dispõe sim de passes anuais, mensais e diários e oferece para além de bicicletas elétricas, bicicletas clássicas [87]. Atualmente existe mais uma empresa que oferecem este serviço, a Bolt. Seguindo a metodologia para o cálculo do custo das trotinetes, é também usada a distância e tempo médio percorrido por uma bicicleta em deslocações com origem e destino no concelho de Lisboa [69].

Relativamente à partilha de ciclomotores elétricos, são geralmente motas com cilindrada de 50 cc. Atualmente, as empresas a fornecer este serviço em Lisboa são a eCooltra e a Wyze Moblitiy. Para o cálculo do custo dos ciclomotores elétricos partilhados, é usada a distância e tempo médio percorrido por uma mota em deslocações com origem e destino no concelho de Lisboa [69]. As operadoras operam apenas no concelho de Lisboa, assim os dados retirados do Inquérito à Mobilidade são apenas para o concelho de Lisboa.

As tarifas médias (entre as operadoras de cada transporte) necessárias para o cálculo do custo (€/km) da mobilidade partilhada encontram-se na seguinte Tabela 10. Um valor médio para o custo de todos os veículos pode ser encontrado através da multiplicação do €/km em função da distância com o histograma das gamas de distância.

Tabela 10 - Tarifa média para mobilidade partilhada: Táxi, TVDE, e-trotinete, e-bicicleta e e-ciclomotor.

Modo	Tarifa média	Fonte	Anexo
Táxi	3.25€+0.47€/km (tarifa diurna)	[81]	Tabela A 12
	3.90€+0.56€/km (tarifa noturna)		
TVDE	0.847€ + 0.083€/min + 0.553€/km	[82], [88], [89]	Tabela A 13
e-trotinete	0.5€ + 0.12€/min	[89]–[92]	-
e-bicicleta	0.00€ + 0.10€/min	[87], [89]	-
e-ciclomotor	0.50€ + 0.255€/min	[93], [94]	-

3.4 CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE MOBILIDADE

Face aos objetivos desta dissertação, é crítico entender o efeito que os padrões da mobilidade urbana possam ter nas emissões de poluentes e no consumo energético. De modo a caracterizar as deslocações diárias realizadas em zonas urbanas, foi analisado o Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa (IMob) realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), no 4º trimestre de 2017. Este inquérito abrangeu perto de 100 mil residentes nas duas áreas, com o objetivo de caracterizar as deslocações realizadas pela população residente em cada uma das regiões. Cada capítulo subdivide-se em 3 partes, sobre:

- Caracterização da população residente na perspetiva da mobilidade, incluindo informação socioeconómica e despesas com a mobilidade;
- Análise da mobilidade na área metropolitana de acordo com duas óticas: deslocações totais realizadas e deslocações intrametropolitanas; e
- Opiniões dos residentes: razões para utilização do transporte individual ou público e avaliação dos transportes públicos [95].

O capítulo a ser analisado para a caracterização de padrões de mobilidade foi o segundo para a Área Metropolitana de Lisboa. Os dados foram analisados e todas as respostas sem significado real foram desprezadas, i.e., questões respondidas com “Não Sei/Não Respondo” na questão do modo de transporte utilizado para realizar as deslocações, assim como respostas com valores de tempo e distância que são impossíveis em condições reais. Os modos de transporte não rodoviários, não são relevantes para o estudo das deslocações na Área Metropolitana. Os transportes rodoviários foram agrupados de forma a existirem apenas automóvel, motociclo, autocarro, bicicleta, táxi, metropolitano, comboio e andar a pé. De modo a especificar o metropolitano do comboio urbano são calculadas as velocidades médias intramunicipal e intermunicipal, assim como a repartição modal. Assume-se que o metropolitano (designado *urban rail* no IMob) tem uma velocidade média inferior dentro da AML comparativamente ao comboio (*regular train*) (Tabela A 14). Enquanto que o consumo dos veículos rodoviários é obtido a partir das equações do COPERT, no caso do metropolitano e do comboio, os consumos são constantes e as emissões nulas de poluentes na sua utilização., visto que são elétricos. Os consumos médios assumidos para o metropolitano e para o comboio urbano são 21.6 MJ/km e 36.0 MJ/km, respetivamente [96], [97].

É importante referir que as respostas do inquérito são dadas para um dia e que cada resposta tem um fator de extrapolação (pesofin), que representa quantas pessoas estão associadas a cada resposta. A amostragem total do inquérito para a AML corresponde a 120744 respostas, 5569731 viagens (não só terrestres). Os veículos das diferentes categorias têm diferentes ocupações, pelo que, para fazer uma análise comparativa, é necessário ter em consideração a taxa de ocupação (Tabela A 15) e o fator de extrapolação associado a cada indivíduo da amostra. Relativamente à taxa de ocupação do automóvel, é distinguido o horário das deslocações dentro da AML.

Nesta dissertação, foi distinguido inicialmente o motivo da viagem entre lazer, trabalho ou utilitário, de forma a entender se existe uma relação com a velocidade. Foi também criada uma variável acerca do período horário em

que se realiza a deslocação, em que viagens com hora de partida entre as 8h e 10h e entre as 17h e 19h são denominadas de “Ponta” e deslocações fora destes períodos “Fora de Ponta” [48]. Tal como referido, são apenas consideradas as deslocações dentro da Área Metropolitana de Lisboa, assim foi criado um filtro “Dentro AM” e “Fora AM”, caso as deslocações sejam dentro da AML ou não, respetivamente.

De seguida, foi feito o cálculo da velocidade média, tempo de viagem e repartição modal em função da distância. A partir dos dados do IMob, são obtidas equações das velocidades em função da distância para cada modo de transporte. São também excluídas respostas e mantido apenas o percentil 80% da distância de viagem e é avaliada a influência das variáveis mencionadas no comportamento da velocidade dos transportes.

3.5 AVALIAÇÃO DE IMPACTES ASSOCIADOS AOS PADRÕES DE MOBILIDADE

Os 18 municípios da AML são bastante diferentes em relação ao número de habitantes, número de viagens realizadas e rede de transportes. Por este motivo, também os impactes referidos das viagens variam com a origem e o destino dentro da área metropolitana, o que revela muito acerca dos fatores que determinam um impacte mais ecológico (menores emissões e consumo) e a repartição modal de cada município. Assim, através dos dados do IMob, é possível estimar matrizes de intensidade cabónica e do consumo energético dentro de e entre todos os municípios. De modo a não interpretar deslocações com pouca representatividade, são calculadas as percentagens cumulativas correspondentes ao número de deslocações entre cada município (intra e intermunicipais). Assim, são incluídas apenas as viagens intramunicipais e 80% das viagens intermunicipais, ou seja 95% das viagens totais, abrangendo 17% dos municípios.

Relativamente ao impacte económico, é possível obter um custo total médio para cada gama de distância, integrando a repartição modal (Figura 14) da AML com os custos (€/km e €/mês) de cada transporte. A repartição modal é multiplicada pelo custo total mensal de cada transporte. Para tal é necessário a quilometragem mensal, obtida a partir da distância média das deslocações diárias provenientes do IMob (exceto para o carro, que tem outro valor assumido), assumindo que a quilometragem mensal é 30 vezes a quilometragem diária [98]. A repartição modal não distingue as diferentes categorias de automóveis e por isso é usada uma média ponderada dos custos (de acordo com a representatividade de cada tecnologia) [50]. Visto que o custo de utilização do carro reflete o custo total de posse, também o custo dos restantes transportes deve refletir. No caso dos motociclos e ciclomotores, a investigação realizada por Gomes et al. em 2011 em Portugal, obteve custos (TCO) para estes veículos. Apesar de o trabalho ter 10 anos, assume-se que as tecnologias convencionais se têm mantido constantes nesta categoria. Considerando a representatividade dos ciclomotores e dos motociclos na frota média portuguesa (NIR), obtém-se um custo médio para esta categoria (motociclos e ciclomotores) de 0.122€/km [34]. Para a bicicleta, pela mesma investigação de Gomes et al., obtém-se um custo médio de 0.019€/km [34]. Obtém-se assim um gráfico para o custo médio das deslocações na AML para diferentes gamas de distância.

Finalmente, é possível testar cenário hipotético de políticas ambientais no setor dos transportes, variando a repartição modal dentro e entre os diversos municípios, de modo a estimar os respetivos impactes na eficiência do sistema. As variações modais são no sentido de testar uma maior utilização de transportes mais eficientes do

ponto de vista energético e ambiental. Os resultados são quantificados e apresentados em termos de custo (para o utilizador final), do consumo de energia e das emissões das deslocações.

A Câmara Municipal de Lisboa define uma visão estratégica para a mobilidade de 2030, propondo um sistema de transportes mais integrado, confiável, conectado, acessível e aberto a novas soluções, melhorando a experiência de quem utiliza e vive Lisboa [99]. As metas descritas no documento para 2030, incluem uma redução de 12 p.p. da utilização de automóvel próprio (relativamente a 2017) [99]. O novo cenário modal (hipotético) tem com base a mesma redução de 12 p.p. (no total das gamas de distância) na utilização do carro próprio e redistribuição desta percentagem pelos restantes transportes. Os transportes disponíveis para a redistribuição serão portanto: metropolitano, comboio, bicicleta, mobilidade partilhada elétrica (bicicleta e trotinete) e a pé. Está prevista uma expansão da rede de metropolitano e de autocarro com um conseqüente aumento da utilização [99].

Apesar de a repartição modal ser para gamas de distância até 43 km, as funções para a emissão e consumo são válidas apenas até 20 km e, portanto, a substituição das viagens de carro serão de 0 a 20 km. Com base na repartição modal (Figura 14) e fazendo algumas suposições é decidido entre que gamas de distância e quanto os transportes alternativos substituem as viagens de carro. Assume-se que o número de viagens de carro a serem substituídas vão de 30% (0 km) a 0% (20 km), de modo a que na repartição modal final para o total da distância, exista uma redução de 12 p.p.. Lembra-se que, segundo a Figura 17, é na gama de 0 a 5 km que a frota é mais ineficiente. De 0 a 5 km, as viagens de carro são substituídas por andar a pé, bicicleta convencional, e-trotinete e e-bicicleta. De 5 a 20 km, a substituição é feita por bicicletas elétricas e transportes públicos, visto que para gamas de distância mais elevadas as deslocações são realizadas maioritariamente por modos motorizados. A Tabela 11 resume de que forma as viagens de carro foram substituídas pelos modos alternativos.

Tabela 11 – Cenário de substituição de viagens de automóvel por modos alternativos.

Gama de distância (km)	Viagens de automóvel substituídas (%)	Repartição modal da substituição (%)					
		Metro	Autocarro	A pé	Bicicleta	e-Trotinete	e-Bicicleta
1	30%	0%	0%	80%	14%	4%	2%
2	28%	3%	12%	60%	11%	3%	12%
3	27%	5%	20%	40%	7%	2%	26%
4	25%	12%	38%	20%	4%	1%	26%
5	24%	23%	47%	0%	0%	0%	30%
6	22%	21%	49%	0%	0%	0%	30%
7	21%	33%	37%	0%	0%	0%	30%
8	19%	33%	37%	0%	0%	0%	30%
9	17%	37%	33%	0%	0%	0%	30%
10	16%	39%	31%	0%	0%	0%	30%
11	14%	35%	35%	0%	0%	0%	30%
12	13%	45%	25%	0%	0%	0%	30%
13	11%	41%	29%	0%	0%	0%	30%
14	9%	32%	38%	0%	0%	0%	30%
15	8%	47%	23%	0%	0%	0%	30%
16	6%	43%	27%	0%	0%	0%	30%
17	5%	35%	35%	0%	0%	0%	30%
18	3%	54%	16%	0%	0%	0%	30%
19	2%	64%	6%	0%	0%	0%	30%
20	0%	32%	38%	0%	0%	0%	30%

À parte das viagens de automóvel, seria interessante a possibilidade de substituir (parcialmente) a utilização do táxi por TVDE e do motociclo pelo ciclomotor elétrico (partilhado) (reduções não incluídas nos 12 p.p. da meta anterior). No entanto, visto que o número de viagens realizadas por táxi e pelo motociclo são muito baixas (0.5%), estas substituições (mesmo que totais) não terão efeito no custo, emissão ou consumo médio globais.

É previsto que o BEV assegurará mais de 30% da procura de mobilidade em 2030 [100]. A substituição de viagens percorridas de carros convencionais (ICEV) por carros elétricos (BEV) não altera a repartição modal, no entanto tem consequências no consumo, custo e emissão de CO₂ médios. Apesar de o IMob não distinguir todas as categorias de automóveis de acordo com o combustível e tecnologia, permite-nos saber que o modo de transporte “automóvel” é constituído maioritariamente por carros com motor de combustão interna (99%). Assim, assume-se esta categoria e a respetiva representatividade nas deslocações ao longo da distância como sendo automóveis convencionais. Serão então substituídas viagens desta categoria (automóvel) por carros puramente elétricos, com emissão nula e consumo constante nas várias gamas de distância (0.558 MJ/km) (Tabela 8; Fonte: base de dados confidencial). O número de viagens de ICEVs a ser substituídas são constantes, 45% (0 a 20 km), de modo a que na repartição modal final para o total da distância, exista uma redução de 30 p.p. das viagens de carro convencional.

Resumidamente, a alternativa 1 consiste na redução de 12 p.p. das viagens de carro para transportes públicos, modos ativos e mobilidade partilhada. A alternativa 2, na redução de 30 p.p. das viagens de carros convencionais para elétricos (adicional ao cenário da alternativa 1).

4 RESULTADOS

4.1. CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE VEÍCULOS

Do software COPERT 5, para os parâmetros de calibração, obtêm-se valores para os consumos de energia (TJ) e emissões dos seguintes poluentes (Ton): partículas (PM), compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), compostos orgânicos voláteis (COV), monóxido de carbono (CO) e óxidos de azoto (NOx) e dióxido de carbono (CO₂).

Os resultados obtidos referem-se aos consumos e às emissões totais (soma das emissões a quente e emissões a frio) e estão apresentados na Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14. São apresentados valores médios para toda a frota incluída e valores médios considerando apenas os veículos ligeiros de passageiros.

Tabela 12 - Resultados obtidos pelo COPERT para as emissões (g/km) de poluentes para a frota e para veículos ligeiros de passageiros.

Poluente	Emissão (g/km) média da frota	Emissão (g/km) média de veículos ligeiros de passageiros
CO	1.34	1.17
CO₂	204	205
PM	0.0621	0.0622
COV	0.37	0.32
NOX	0.61	0.60
COVNM	0.35	0.31

De forma geral, ao comparar a gasolina e o gasóleo pelos resultados presentes na Tabela 13, conclui-se que a gasolina emite mais CO, COV, COVNM, enquanto o gasóleo emite mais CO₂, PM e NOx. Como se pode confirmar pelo artigo de Omid Ghaffarpasand et al. (2020) [28], quando é feita uma comparação entre carros a gasóleo e a gasolina, um dos fatores que faz com que as emissões variem bastante é a norma Euro que pode determinar qual dos veículos (gasóleo/gasolina) emite mais um determinado poluente [28]. Para além disto, nos resultados apresentados na Tabela 13, as emissões estão categorizadas por combustível e não por categoria de veículo. Assim, quando se observa que os veículos com maior emissão de CO₂ são a gasóleo, é importante lembrar que não estão incluídos apenas automóveis. As emissões de GNC de CO₂, são bastante mais elevadas comparativamente aos outros combustíveis, visto que os únicos veículos considerados com GNC são autocarros (que emitem mais que automóveis e motociclos). Enquanto para os outros combustíveis (e.g., gasolina e gasóleo) estão incluídos também motociclos e automóveis, o que causa um decréscimo na média do fator de emissão de CO₂.

Tabela 13 - Resultados obtidos pelo COPERT para as médias ponderadas das emissões (g/km) de poluentes para diferentes combustíveis.

Poluentes	Combustível	Fator de emissão (g/km)
CO₂	Gasolina	192
	Gasóleo	211
	GNC	1 316
	GPL	152
CO	Gasolina	3.69
	Gasóleo	0.15
	GNC	1.21
	GPL	2.92
PM	Gasolina	0.0379
	Gasóleo	0.0749
	GNC	0.1744
	GPL	0.0306
COV	Gasolina	1.04
	Gasóleo	0.03
	GNC	1.26
	GPL	0.43
COVNM	Gasolina	1.00
	Gasóleo	0.03
	GNC	0.19
	GPL	0.40
NO_x	Gasolina	0.31
	Gasóleo	0.76
	GNC	6.34
	GPL	0.30

Tabela 14 - Resultados obtidos pelo COPERT para o consumo energético (MJ/km) e (l/100km) da frota e de veículos ligeiros de passageiros.

Indicador	Consumo Médio da Frota	Consumo Médio de veículos ligeiros de passageiros
CE (MJ/km)	2.79	2.81
CE (l/100km)	11.90	8.34

Os resultados são comparados com valores de referência para efeitos de validação. As emissões obtidas de CO₂ são comparadas com os valores presentes no NIR (Tabela 15) [39]. Conclui-se que os fatores por categorias obtidos são inferiores aos valores presentes no NIR, exceto para os veículos ligeiros a gasóleo, no entanto são da mesma ordem de grandeza [39]. Esta diferença pode dever-se a diferenças na informação considerada no COPERT e no NIR, tais como: velocidade média, especificações do combustível (gasóleo neste caso) e outros pressupostos. Os resultados têm um erro médio total de 13%: 6.5% para automóveis, 8.4% para autocarros e

30.8% para motocicletas que têm menos significado em termos de percentagem da frota e dos quilómetros totais realizados.

No caso dos automóveis, o fator de emissão de CO₂ médio obtido pelo COPERT e o fator presente no NIR é 206 g/km e 192 g/km, respetivamente [39].

Tabela 15 - Fatores de emissão de dióxido de carbono (g/km) obtidos pelo COPERT, para diferentes categorias de veículos.

	Categoria	COPERT CO₂ (g/km)
Carros Passageiros	Gasolina	203
	Gasóleo	208
	Híbrido Gasolina	141
	Bi-fuel GPL	152
Autocarros	Gasóleo	1025
	CNG	1316
Categoria L	Ciclomotores	38
	Motociclos	109

O consumo de energia absoluto (TJ) obtido é inferior para quase todas as categorias de veículos aos valores de referência (Tabela 16), tal como esperado, pois a frota inserida no COPERT é mais pequena do que a frota total presente no NIR [39]. Os valores são concordantes com a referência, com erros de 48%, 1%, 20% e 0% para veículos a gasóleo, gasolina, GPL e GNC, respetivamente. O erro superior de 48% para veículos a gasóleo é maioritariamente devido ao facto de não estarem incluídos os veículos pesados de mercadoria. Esta categoria corresponde a maior parte do consumo de combustível da frota e todos os veículos da categoria são a gasóleo, o que resulta num consumo de energia inferior ao presente no NIR.

Tabela 16 - Resultados obtidos pelo COPERT e valores de referência presentes no NIR de consumo de combustível para transporte rodoviário.

Combustível	Consumo total obtido pelo COPERT (TJ)
Gasóleo	94888
Gasolina	44978
GNC	616
GPL	1360

Tabela 17 - Consumo de combustível e lubrificante do setor de transporte (TJ). Fonte: (APA, 2018)

Combustível	Consumo (TJ)
Gasóleo	181277
Gasolina	45418
GNC	617
GPL	1700

Em relação aos fatores de emissão dos restantes poluentes, os resultados são da mesma ordem de grandeza com os valores presentes nas normas Euro (Figura A 1 e Figura A 2). Tal como esperado os valores obtidos pelo COPERT são tipicamente superiores, visto que os testes para as normas euro são realizados em ambientes laboratoriais controlados, que não representam condições 100% reais de condução.

De seguida são apresentados os consumos energéticos e emissões de poluentes obtidas em função da velocidade para cada modo de transporte e tendo em conta os diferentes modos de tráfego. A condução realizada em hora de ponta será referida como “*Peak*” e fora da hora de ponta como “*Off-peak*”, para efeitos de simplificação. Os gráficos obtidos para o consumo energético e emissão de NOx estão apresentados na Figura 11 e os restantes resultados no anexo (ANEXO.11 Gráficos obtidos para o consumo e a emissão em função da velocidade).

Tabela 18 - Comparação da média ponderada dos fatores de emissão (g/km) obtidos pelo COPERT com a norma Euro 6 [101] para diferentes poluentes, para veículos ligeiros de passageiros a gasolina e gasóleo.

Poluente	Fator de emissão (g/km) COPERT:	Limite (g/km) Norma Euro 6:	Fator de emissão (g/km) COPERT:	Limite (g/km) Norma Euro 6:
	Gasolina	Gasolina	Gasóleo	Gasóleo
CO	0.91	1.00	0.07	0.50
PM	0.0382	0.0045	0.0383	0.0045
COV	1.1	0.1	0.0	-
NOX	0.05	0.06	0.54	0.08
COVNM	1.116	0.068	0.001	-
NOx+COV	1.18	-	0.54	0.17

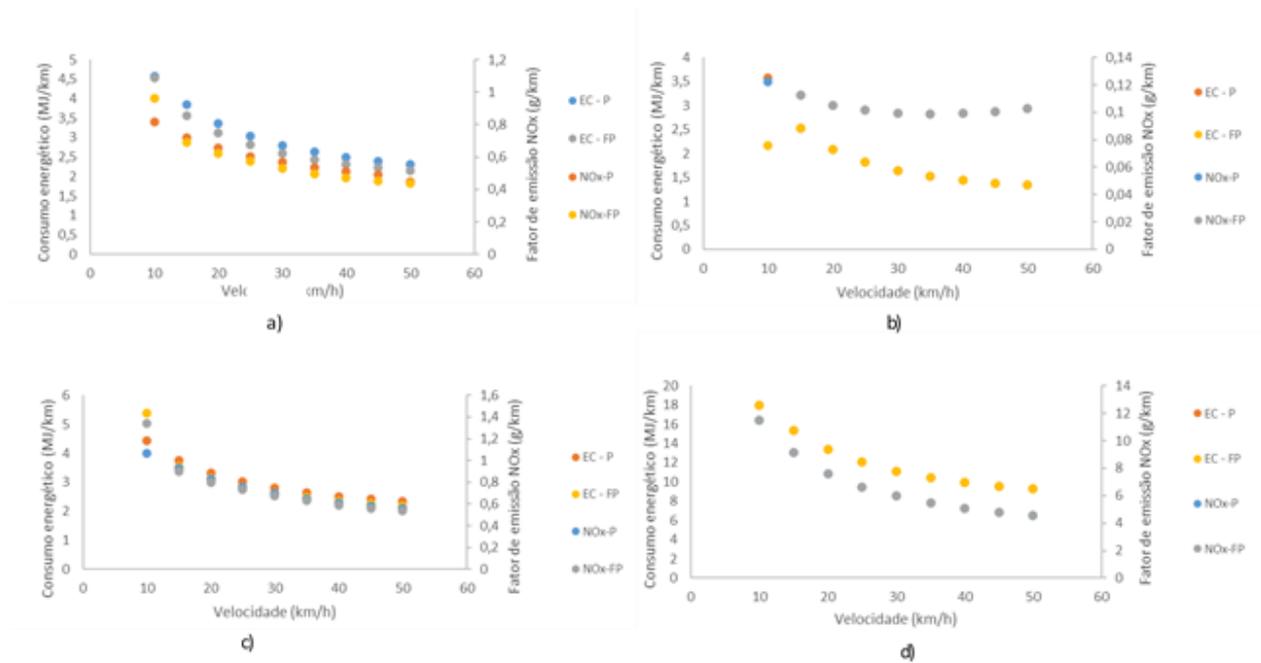


Figura 11 - Gráficos obtidos para o consumo de energia (EC) e a emissão de NOx para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro. Modos de tráfego urbano: hora de ponta (P) e fora de ponta (FP).

A gama típica de velocidade para o modo urbano é de 10 a 50 km/h, sendo estes os limites das equações [49]. As funções estimadas para os fatores de emissão (FE) (g/km) e consumo energético (CE) (MJ/km) em função das velocidades médias (V) (km/h) são apresentados na Tabela 19, com correlações de r^2 superiores a 0.76.

Tabela 19 - Funções obtidas pelo COPERT para a emissão (g/km) de poluentes (CO, CO₂, NO_x, COV, COVNM e PM) em função da velocidade (km/h) para diferentes modos de transporte e modos de tráfego.

Modo de Transporte	Modo de Tráfego	Variável	Gama de Velocidade (km/h)	Equação
Automóveis (PC)	Urbano – Ponta (P)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.12 * V^2 - 10.92 * V + 425.22$
		CE	10-50	$CE = 0.0016 * V^2 - 0.15 * V + 5.79$
		CO	10-50	$FE(CO) = 0.00010 * V^2 - 0.040 * V + 2.26$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = 0.00020 * V^2 - 0.019 * V + 0.97$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -0.10 \ln V + 0.56$
		COV	10-50	$FE(COV) = -0.0040 * V + 0.35$
		P	10-50	$FE(PM\ TSP) = 9.00 * 10^{-7} * V^2 - 0.00040 * V + 0.079$
	Urbano – Fora Ponta (FP)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.14 * V^2 - 12.09 * V + 426.41$
		CE	10-50	$CE = 0.0018 * V^2 - 0.16 * V + 5.77$
		CO	10-50	$FE(CO) = -0.015 * V + 1.08$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = 0.00040 * V^2 - 0.036 * V + 1.21$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -4.00 * 10^{-5} * V^2 + 0.0019 * V + 0.13$
		COV	10-50	$FE(COV) = -5.00 * 10^{-5} * V^2 + 0.0022 * V + 0.13$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = -5.00 * 10^{-5} * V^2 + 0.0032 * V + 0.012$
Motociclo (M)	Urbano – Ponta (P)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.15 * V^2 - 12.23 * V + 347.46$
		CE	10-50	$CE = 0.0021 * V^2 - 0.17 * V + 4.82$
		CO	10-50	$FE(CO) = 0.0020 * V^2 - 0.18 * V + 8.24$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = -0.013 \ln V + 0.77$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -0.52 \ln V + 3.66$
		COV	10-50	$FE(COV) = -0.52 \ln V + 3.75$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = -2.00 * 10^{-6} * V^2 + 9.00 * 10^{-5} * V + 0.048$
	Urbano - Fora Ponta (FP)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.026 * V^2 - 3.57 * V + 206.45$
		CE	10-50	$CE = 0.00030 * V^2 - 0.048 * V + 2.85$
		CO	10-50	$FE(CO) = 0.0017 * V^2 - 0.16 * V + 7.94$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = 3.00 * 10^{-5} * V^2 - 0.0021 * V + 0.14$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = 0.00050 * V^2 - 0.045 * V + 2.79$
		COV	10-50	$FE(COVNM) = 0.00050 * V^2 - 0.045 * V + 2.88$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = -3.00 * 10^{-6} * V^2 + 0.00010 * V + 0.048$
Táxi (T)	Urbano – Ponta (P)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.11 * V^2 - 10.16 * V + 412.54$
		CE	10-50	$CE = 0.0015 * V^2 - 0.14 * V + 5.56$
		CO	10-50	$FE(CO) = 8.00 * 10^{-5} * V^2 - 0.010 * V + 0.42$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = 0.00030 * V^2 - 0.030 * V + 1.32$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -0.0011 * V + 0.068$
		COV	10-50	$FE(COV) = -0.0011 * V + 0.071$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = -0.014 \ln V + 0.12$
	Urbano - Fora Ponta (FP)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.21 * V^2 - 17.35 * V + 514.00$
		CE	10-50	$CE = 0.0029 * V^2 - 0.23 * V + 6.92$
		CO	10-50	$FE(CO) = 0.00020 * V^2 - 0.016 * V + 0.49$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = 0.00070 * V^2 - 0.055 * V + 1.71$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -0.0011 * V + 0.064$
		COV	10-50	$FE(COV) = -0.0011 * V + 0.066$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = 6.00 * 10^{-7} * V^2 - 0.00050 * V + 0.085$
Autocarro (B)	Urbano – Ponta (P)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.45 * V^2 - 41.32 * V + 1601.40$
		CE	10-50	$CE = 0.0064 * V^2 - 0.59 * V + 22.88$
		CO	10-50	$FE(CO) = -1.30 \ln V + 5.90$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = -4.26 \ln V + 21.76$
		COVNM	10-50	$FE(COVNM) = -0.31 \ln V + 1.29$
		COV	10-50	$FE(COV) = -0.34 \ln V + 1.63$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = 1.00 * 10^{-4} * V^2 - 0.0095 * V + 0.47$
	Urbano - Fora Ponta (FP)	CO ₂	10-50	$FE(CO_2) = 0.45 * V^2 - 41.32 * V + 1601.40$
		CE	10-50	$CE = 0.0064 * V^2 - 0.59 * V + 22.88$
		CO	10-50	$FE(CO) = -1.30 \ln V + 5.90$
		NOx	10-50	$FE(NOx) = -4.26 \ln V + 20.76$
		COVNM	10-50	$EF(COVNM) = -0.31 \ln V + 1.28$
		COV	10-50	$FE(COV) = 0.00040 * V^2 - 0.038 * V + 1.19$
		PM	10-50	$FE(PM\ TSP) = 1.00 * 10^{-4} * V^2 - 0.0095 * V + 0.47$

De modo a comparar os resultados obtidos com a literatura, são analisadas as funções obtidas no artigo de Sungwoon Junge et al. (2011) [26], para os fatores de emissão de CO, CO₂, NO_x e COVNM (i.e. HC), numa gama de velocidades de 4.7 a 97.3 km/h [26]. A comparação foi feita graficamente para uma gama de velocidades de 10 a 50 km/h, visto que os resultados do COPERT são apenas para modos urbanos. Os gráficos referidos encontram-se em anexo (ANEXO.12 Gráficos de emissão em função da velocidade: literatura VS resultados).

Enquanto as emissões obtidas pelo COPERT são referentes a todos os veículos de passageiros, os valores da literatura referem-se apenas a veículos de passageiros a gasolina. Para além disto, os resultados práticos dividem-se em ponta e fora de ponta, distinção que não é feita na literatura, assim serão comparadas três funções para a emissão de cada poluente. Pela Figura A 10, é possível observar que os resultados obtidos são concordantes e que as emissões, segundo a literatura, são superiores às experimentais para CO e CO₂ e inferiores para NOx e COVNM. As diferenças nas funções devem-se, em grande parte, ao facto da literatura considerar apenas carros a gasolina.

4.2. PADRÕES DE MOBILIDADE

Em primeira análise, após terem sido filtrados apenas os resultados coerentes do inquérito, foi feito o cálculo da repartição modal, da velocidade média e do tempo de viagem ao longo da distância. É feito um histograma para cada modo de transporte para obter a velocidade máxima correspondente a 80% da amostra (com base na distância), de modo a eliminar resultados sem significado real. A exclusão de viagens não terrestres e posterior eliminação de cerca de 20% da amostra, leva à diminuição da amostra, com 92241 respostas incluídas. Os resultados obtidos para os limites das velocidades, assim como as velocidades médias para cada modo de transporte, encontram-se na Tabela 20. A velocidade média do autocarro é bastante mais baixa que a da bicicleta, o que se pode justificar pela perceção dos inquiridos, ou seja o tempo de viagem que os inquiridos declararam. Os utilizadores que se deslocam de bicicleta têm, possivelmente, a perceção de que se movem a uma velocidade superior, ao passo que os passageiros de um autocarro podem ter a perceção que se movem a uma velocidade inferior à real. A velocidade média da frota da Carris (incluindo elétricos) reportada nos seus relatórios é 14.1 km/h (2020), superior à velocidade máxima estimada em função das respostas dos inquiridos [102].

Tabela 20 - Velocidades obtidas para diferentes modos de transporte.

Modos de transporte	Velocidade Máxima (km/h)	Velocidade Média (km/h)	Velocidade Mínima (km/h)
Automóvel	44.7	22.0	1.3
Autocarro	11.6	6.4	2.0
Motociclo	27.4	17.1	1.5
A pé	6.5	4.5	2.0
Táxi	29.7	15.6	2.1
Bicicleta	20.5	11.9	0.5
Comboio/metropolitano	26.5	13.1	0.6
Total	181.8	16.8	0.1

Na Figura 12 é possível observar o comportamento da velocidade média de cada modo de transporte em função da distância. Tal como seria de esperar, andar a pé não só tem a velocidade média mais baixa e que menos se altera com a gama de distância, como também se nota uma redução grande da amostragem a partir de gamas

de distância superiores (>23km, aproximadamente). De forma oposta, o carro é o modo com a velocidade média mais elevada e onde se observa um crescimento gradual com o aumento da distância. É o transporte com maior representação na amostra para todas as gamas de distância registadas. Ao contrário do carro e de outros transportes cuja curva da velocidade sofre grandes oscilações, o comboio e o metropolitano apesar de terem velocidades médias altas e que também aumentam com o aumento da distância, têm um comportamento mais próximo de equações polinomiais e, portanto, mais previsíveis, com menos variações. Ao contrário dos outros transportes, o comboio e o metropolitano possuem uma estrutura de deslocação própria, onde não existe (ou existem muito poucos) fatores que o poderiam obrigar a reduzir a velocidade e até paragens durante o percurso (e.g., semáforos, trânsito, entre outros). Dada a influência de fatores externos nos autocarros (apesar de ter também vias de circulação dedicadas), seria de esperar que isso se traduzisse num comportamento com mais variações. No entanto, o comportamento da curva é bastante semelhante à do comboio, com a diferença que a velocidade não depende tanto da distância.

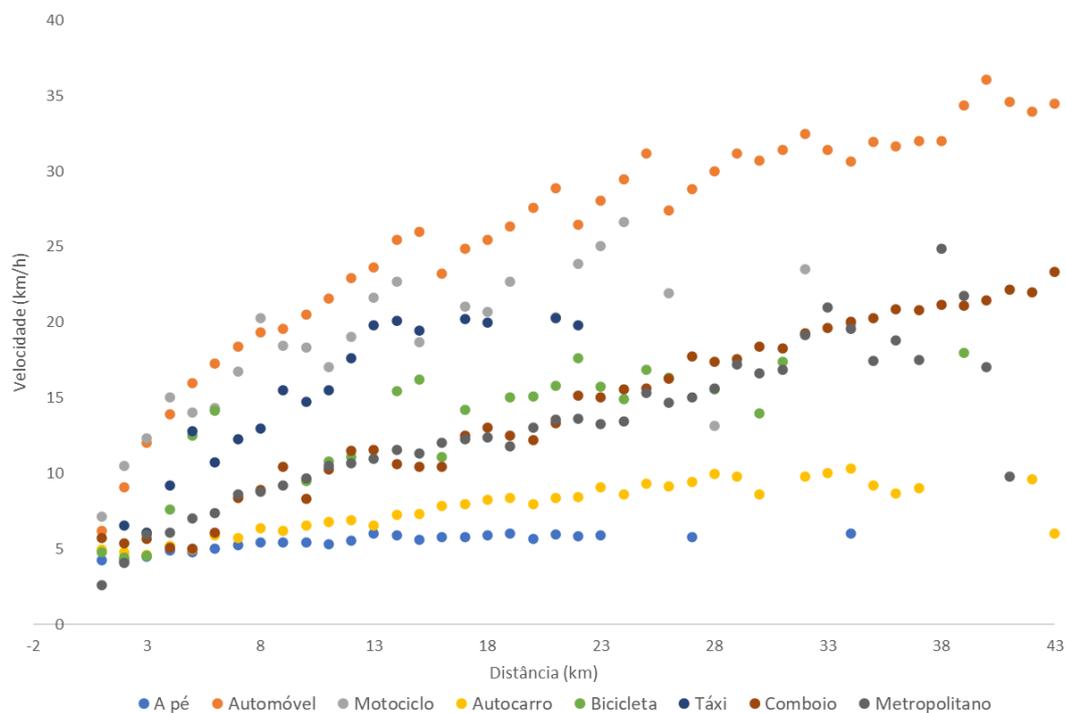


Figura 12 - Velocidade média por modo de transporte em função da distância.

Relativamente à duração média das deslocações (Figura 13), até uma gama de 25 km, andar a pé é o modo cujas deslocações são mais demoradas, seguido do autocarro. Os modos mais rápidos são o automóvel, o táxi e o motociclo. Com o aumento da distância, naturalmente a duração das viagens aumenta e também existem menos transportes disponíveis, visto que nem todos são vocacionados para distâncias mais elevadas (maioritariamente, andar a pé e motociclos). Para longas distâncias, existe uma menor variação no tempo de uma viagem de carro e um comportamento mais irregular nos casos do comboio e do metropolitano, que pode ser justificado por uma amostragem menor para gamas de distância maiores e uma possível mistura de tipologia de comboios diferentes.

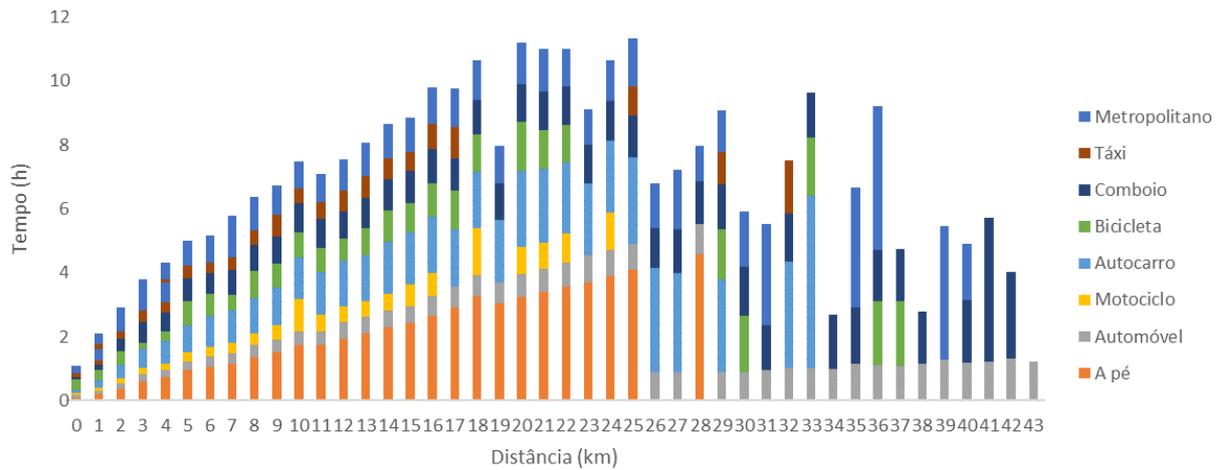


Figura 13 - Duração média de viagem, por modo de transporte, em função da distância.

Observando a repartição modal das deslocações urbanas (Figura 14), o carro é o modo de transporte que mais representa a mobilidade, quase independente da distância (80% das deslocações, em média). Apenas sendo superado por andar a pé para trajetos muito curtos (<1km, aproximadamente). É possível observar que ao contrário de andar a pé, o comboio tem uma representatividade mais constante ao longo da distância e o autocarro (com um comportamento semelhante ao metropolitano) tem valores mais significativos entre 1 e 14 km, aproximadamente. Por fim, o táxi, motociclo e a bicicleta são os transportes menos utilizados de forma geral, para todas as gamas de distância.

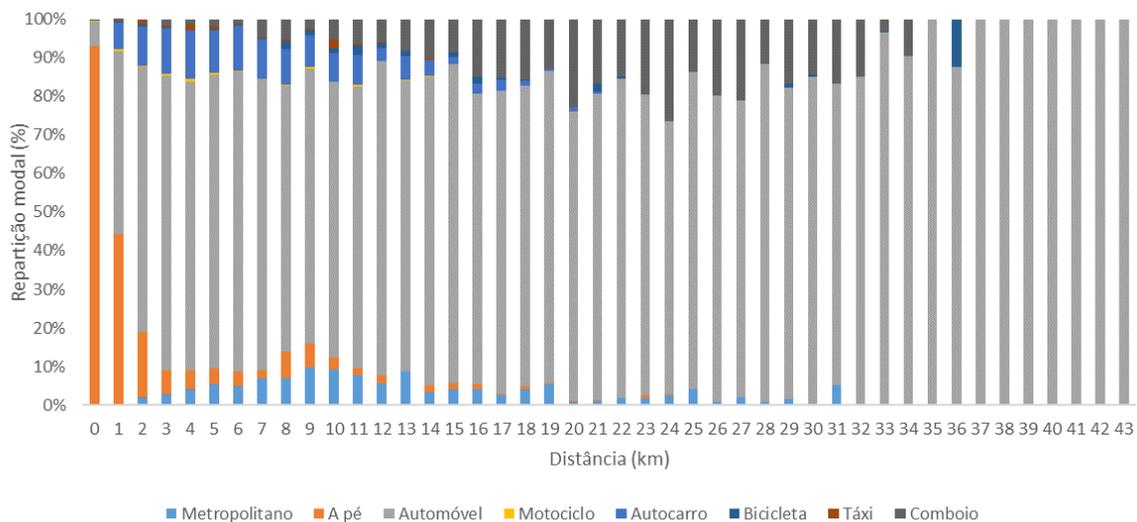


Figura 14 - Repartição modal das viagens em função da distância.

Na análise ao IMob foram consideradas variáveis de modo a caracterizar as respostas do inquérito: motivo (utilitário, trabalho e lazer), dia da semana (útil (1) ou fim de semana (0)), área da deslocação (dentro ou fora da AML) e horário da deslocação (hora de ponta ou fora da hora de ponta) [69].

Numa primeira análise à influência do dia da semana e da área da deslocação na velocidade (Tabela 21), conclui-se que, em dias úteis, não só existe uma maior amostra de deslocações, como a média da velocidade das mesmas é inferior comparativamente às deslocações realizadas durante o fim de semana. Apesar de existir uma maior amostra dentro da AML, a média das velocidades das viagens é menor.

Tabela 21 - Influência do dia da semana e da área de deslocação na velocidade e no número de viagens.

Variáveis	Nº Respostas	Média da velocidade (km/h)
0 – Dia útil	22309	17.9
Dentro AML	22048	17.8
Fora AML	261	26.3
1 – Dia de fim de semana	69932	16.4
Dentro AML	69493	16.3
Fora AML	439	30.5
Total	92241	16.8

Visto que 76% das viagens rodoviárias são realizadas em dias úteis, nos quais 99% são dentro da AML, é com base nestes pressupostos que se estudou o efeito do horário e do motivo da deslocação na velocidade. É fora do horário de ponta que se realizam cerca de 65% das viagens na AML, com uma média das velocidades de 16 km/h (muito semelhante à média das velocidades no período horário complementar). Em hora de ponta, o maior número de deslocações são por motivos utilitários, seguidos de viagens por trabalho, ambas com velocidades médias semelhantes e tal como esperado superiores à média da velocidade de deslocações por lazer. Verifica-se um comportamento semelhante fora da hora de ponta (Tabela 22).

Tabela 22 - Influência do motivo e da hora da deslocação na velocidade e no número de viagens - viagens rodoviárias dentro da AML, em dias úteis.

Variáveis	Nº Respostas	Média da velocidade (km/h)
Fora de Ponta	44693	16.3
Lazer	3853	13.5
Trabalho	12128	17.5
Utilitário	28712	16.2
Ponta	24044	16.1
Lazer	1471	13.1
Trabalho	7687	16.7
Utilitário	14886	16.1
Total	68737	16.2

De forma geral, existe uma maior amostragem em horário fora de ponta e os modos mais utilizados são o carro e andar a pé, seguido do autocarro e comboio, independentemente do motivo da deslocação (**Figura 15**).

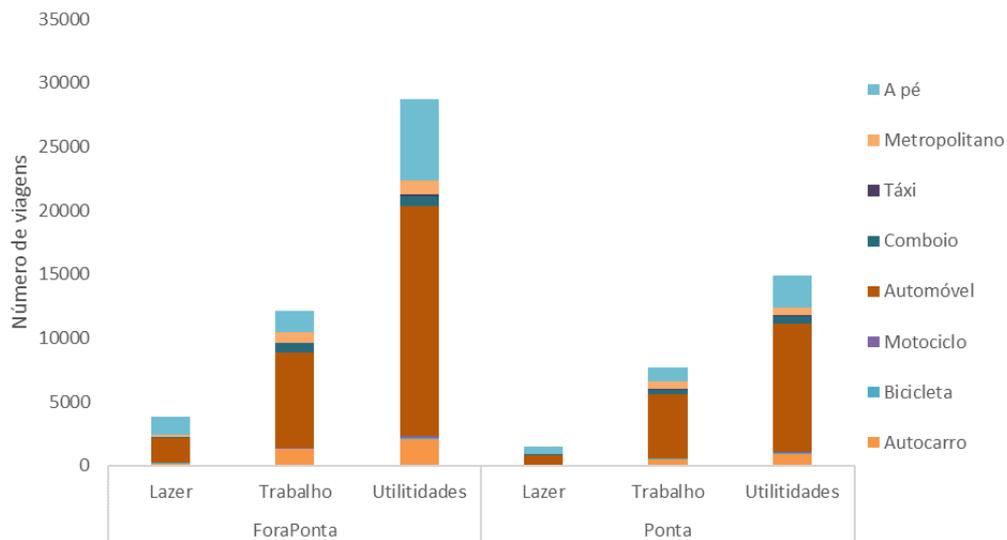


Figura 15 - Distribuição modal das deslocações em hora de ponta e fora da hora de ponta.

Assim, de modo a não subdividir mais as deslocações e a não dimensão de amostra, o estudo segue usando apenas a variável do período horário em que decorreu a viagem, visto também que não se mostra muito relevante. Foram obtidas as funções da velocidade em função da distância para todos os modos de transporte, quando a amostragem é superior a 5 e o coeficiente de variação for inferior a 75%. Quanto maior o coeficiente, mais dispersos estão os valores da velocidade em redor da média e quanto menor o coeficiente, mais precisa é a estimativa. Estas funções são categorizadas combinando as seguintes variáveis: ponta horária e fora de ponta horária, gama de distâncias, modos motorizados ou não-motorizados (modos ativos não são categorizados pelo período horário). A aceitação das curvas depende igualmente da dimensão da amostra (quanto maior for a dimensão da amostra, maiores são os graus de liberdade e assim a possibilidade de obter maior desagregação) e do coeficiente de determinação das funções calibradas. Caso não faça sentido, são removidas as variáveis.

As funções obtidas para a velocidade (V) (km/h) em função da distância (d) (km) para cada modo de transporte encontram-se na seguinte Tabela 23 e os respetivos gráficos encontram-se em anexo (ANEXO.13 Gráficos obtidos para velocidade em função da distância). Todas as equações têm um r^2 superior a 0.86.

Tabela 23 - Funções de velocidade (km/h) em função da distância da viagem (km) para diferentes modos de transporte e modos de tráfego. P – Ponta e FP – Fora de ponta (Fonte dos dados: IMob)

Modos de Transporte	Modo de Tráfego	Gama de Distância (km)	Equação
Automóvel (PC)	P	0-43	$V = 7.14lnd + 7.98$
	FP	0-21	$V = 7.06lnd + 9.40$
Autocarro (B)	P	0-21	$V = 1.93lnd + 3.73$
	FP	0-21	$V = 1.97lnd + 3.73$
Bicicleta (C)	n.a.	0-15	$V = 6.55lnd + 0.80$
	n.a.	15-36	$V = -7 * 10^{-5}d + 18.00$
Motociclo (M)	n.a.	0-14	$V = 1.12d + 11.53$
Táxi (T)	n.a.	0-14	$V = 6.40lnd + 5.12$
Comboio (TR)	P	0-34	$V = 5.93lnd + 0.81$
	FP	0-34	$V = 5.67lnd + 0.87$
A pé (W)	n.a.	0-24	$V = 0.57lnd + 4.41$

A integração das equações obtidas a partir do IMob (Tabela 23) e do COPERT (Tabela 19) resultam na estimativa dos fatores de emissão dos poluentes e de consumo de energia, expressos em g/(pass.km) e MJ/(pass.km), respetivamente. As funções obtidas para as emissões e consumos são para gamas de distância até 20 km, valor este que representa 94% das viagens declaradas (ANEXO.13 Histograma para gamas de distância). Os dados de viagem recolhidos já não têm representatividade depois de 20 km para quase todos os modos de transportes. Os gráficos para as funções em questão encontram-se em anexo (ANEXO.14 Gráficos obtidos para o consumo e a emissão em função da distância). A Figura 16 revela que o automóvel representa uma grande parte do consumo de forma geral, ao longo de todas as gamas de distância. O automóvel e o autocarro são os transportes com maior consumo de energia absoluto (MJ), seguido do metropolitano (consumo constante com a velocidade, mas não com a distância), para gamas de distância baixas e intermédias. Com o aumento da distância (gamas intermédias), o metropolitano ganha cada vez mais representatividade ao contrário do autocarro. Para gamas intermédias e de grandes distâncias, o comboio ganha representatividade e para distâncias altas, o consumo energético absoluto é maioritariamente responsabilidade do automóvel e do comboio. Estas conclusões estão em concordância com a repartição modal das deslocações por gamas de distância (Figura 14), com a exceção de que os modos ativos não têm expressão no consumo de energia e nas emissões.

O consumo do automóvel e do táxi são residuais, os da bicicleta e de andar a pé são nulos. A média do consumo de energia combinado de todos os modos de transporte (1.42 MJ/(pass.km)) é relativamente constante (desvio padrão: 0.15 MJ/(pass.km)), enquanto o consumo por quilómetro (7.04 MJ/km) tem variações consideráveis. O consumo por quilómetro aumenta com o aumento da distância (Figura 16), embora com um padrão irregular. O comportamento relativamente constante do consumo por pass.km deve-se em grande parte ao comboio. Apesar de o consumo do comboio aumentar bastante com a distância, o comboio tem uma taxa de ocupação muito elevada (22.20 passageiros), o que leva a que o consumo médio por pass.km se mantenha constante para distâncias elevadas. Concluindo, o pressuposto de utilizar uma média para o consumo (MJ/km) constante para qualquer gama de distância não é fiável. De forma contrária, usar uma média para o consumo (MJ/(pass.km)) constante em função da distância não terá resultados com erros muito grandes.

O fator de emissão médio de CO₂ aumenta com a distância até um pico, 4 km, (367 g/km), a partir da qual diminui. Também o fator de emissão por pass.km diminui com a distância (média de 56 g/(pass.km)) (Figura 17).

Como a abordagem do cálculo de emissões se reporta exclusivamente à fase de operação dos sistemas no ciclo de vida dos veículos, não foram calculados os fatores de emissão de poluentes para os modos não motorizados (a pé e bicicleta) nem para o comboio e para o metro. Com o aumento da distância, a emissão total (g) diminui (ganhos de eficiência com a distância), visto que para gamas de distância superiores certos modos de transporte já não são utilizados. De forma geral, ao longo da distância, todas as emissões (g) são máximas para o autocarro e automóvel. A Figura 17 revela que, na gama de 3 a 5 km, a frota é ineficiente e é precisamente nesta gama que é mais importante a transferência para os modos ativos. Para as emissões de CO, COV e COVNM, o motociclo tem um pouco mais de representatividade que para os restantes poluentes.

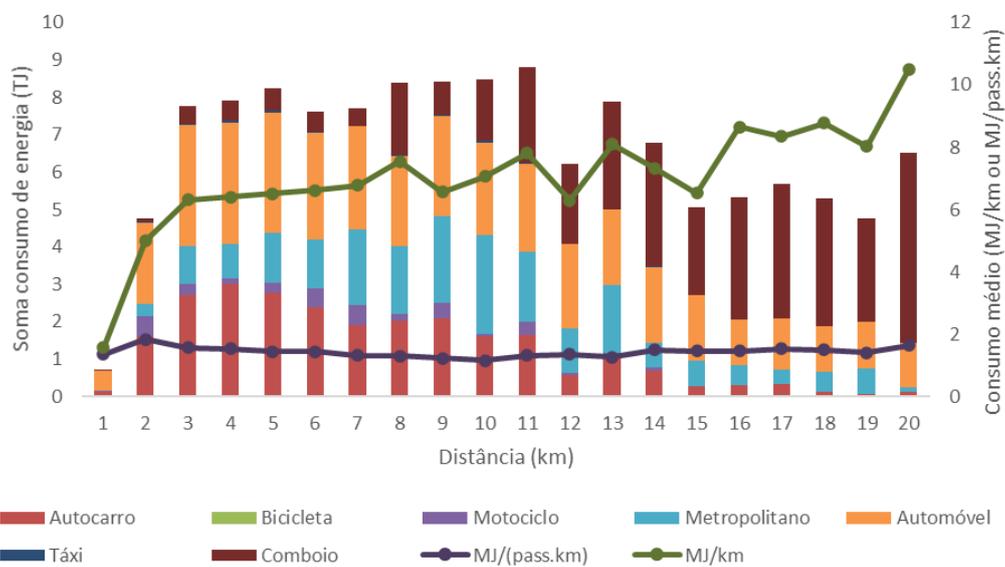


Figura 16 - Distribuição modal do consumo de energia.

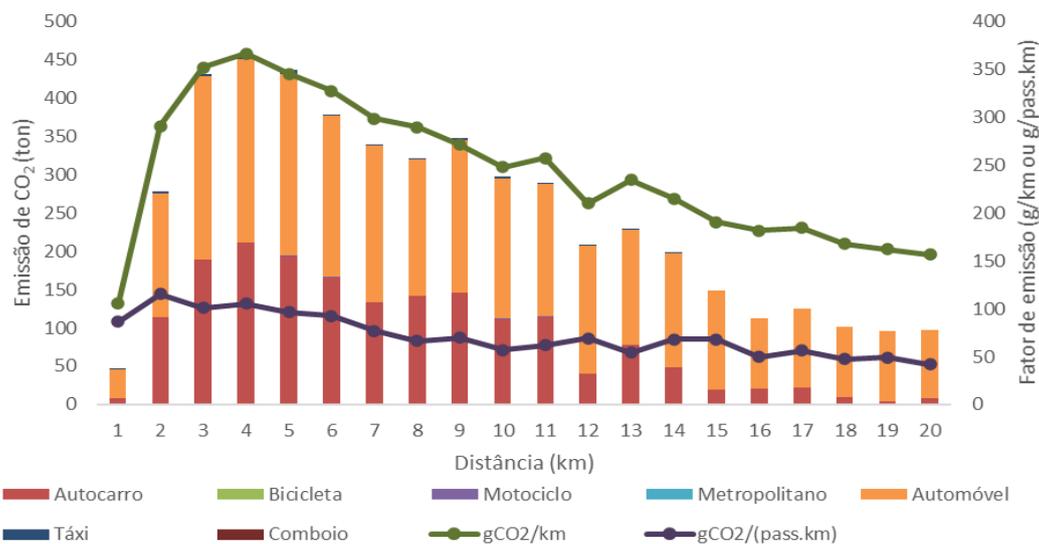


Figura 17 - Distribuição modal da emissão de CO₂.

Relativamente às viagens em Lisboa, pela (Figura 18, observa-se que para deslocações dentro do mesmo município, os transportes mais usados são carro e andar a pé. Lisboa é o município com menor percentagem de deslocações em automóvel (41%), no contexto da AML, e onde as deslocações são distribuídas de forma mais equilibrada pelos diferentes modos: a pé (34%), autocarro (12%) e metro (11%). A Amadora e a Moita são os municípios onde se verifica a maior percentagem das deslocações intramunicipais realizadas a pé (Figura 18).

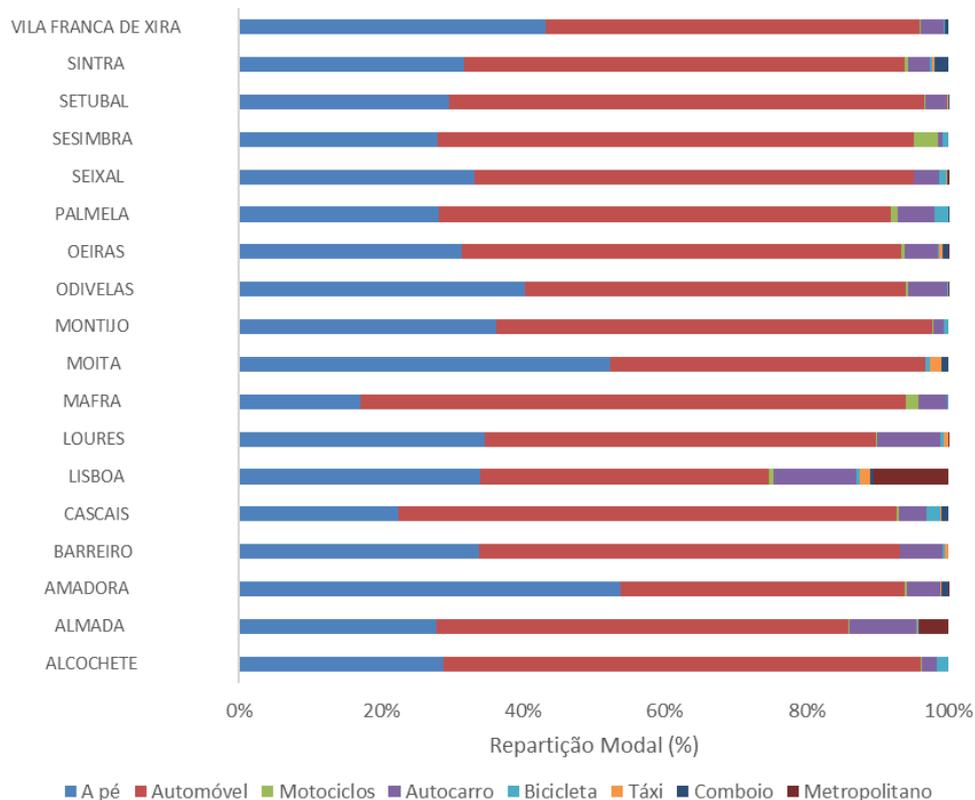


Figura 18 - Repartição modal de deslocações intramunicipais.

A Figura 18 mostra que o maior número de viagens total na AML se realiza entre Lisboa e os outros municípios com um máximo de viagens dentro do município de Lisboa e o município (origem ou destino) onde se realizam menos viagens é Alcochete. Tal como explicado na metodologia, para as matrizes de CO₂ e de consumo de energia correspondentes às viagens intra e intermunicipais, são apenas considerados os municípios cujas viagens correspondem cumulativamente a 95% do número total de deslocações. Relembramos que 17% dos municípios concentram 95% do total de viagens. Tal como esperado, as deslocações que foram incluídas são maioritariamente as intramunicipais, visto que é onde existem mais deslocações e, portanto, seria de esperar que a diagonal da matriz origem-destino correspondesse aos valores mais altos.

Visto que as respostas do inquérito se referem a um dia inteiro, seria de esperar que se pudesse observar uma simetria nas matrizes, tanto para o consumo (Tabela 26) como para os fatores de emissão (Tabela 25), resultando dos movimentos pendulares típicos num contexto metropolitano.

As viagens com consumo de energia médio mais elevado são as intramunicipais em Mafra (2.63 MJ/(pass.km)). Neste município, 77% das viagens são feitas de automóvel (consumo elevado) e 17% a pé. As viagens

intermunicipais de Maфра têm a maior repartição do automóvel e a menor percentagem do pedonal (Figura 18). O percurso com menor consumo médio tem origem em Odivelas e destino em Lisboa (0.83 MJ/(pass.km), com 56% das deslocações realizadas de carro e 15% de autocarro. A matriz relativa à percentagem de viagens realizadas de automóvel encontra-se em anexo (ANEXO.15 Matriz de viagens de automóvel entre municípios).

Lisboa é o município com um total de consumo maior, no entanto, ao observar as deslocações entre Lisboa e os restantes municípios, observa-se que as deslocações têm consumos baixos. Isto pois é o município com mais viagens incluídas (Tabela 24). Lisboa possui uma rede diversificada e boa cobertura territorial de transportes públicos: metropolitano (Metropolitano de Lisboa), autocarro (Carris) e comboio (CP) e uma repartição modal igualmente diversificada - 10%, 11% e 4%, respetivamente. É na verdade o município (origem ou destino) da AML com uma repartição modal mais distribuída entre todos os modos de transportes disponíveis. Para além disto, o fato de 72% das deslocações serem intramunicipais, leva a que a mobilidade ativa (com emissões nulas) tenha uma maior expressão (24%). Estes fatores levam a um consumo por pass.km mais baixo (assim como uma emissão de CO₂), comparativamente a uma repartição liderada pelo automóvel.

O município de Sintra tem também um número de viagens considerável e consumos relativamente baixos (média 1.71 MJ/(pass.km)), com um consumo máximo para as viagens intramunicipais. As deslocações totais são feitas maioritariamente de automóvel e de comboio. Sintra é servida por uma rede ferroviária (CP), com três linhas principais, fazendo ligação a Lisboa, Alverca e Azambuja, que pode ainda intersestar com a linha da Fertagus. Tal como Almada, apesar de ter apenas 3 percursos incluídos, seriam de esperar consumos baixos (média de 1.18 MJ/(pass.km)), visto que existe uma rede de transportes diversificada também. A Metro Transportes do Sul é a empresa que explora o metro ligeiro de superfície em Almada e a Fertagus a empresa do serviço ferroviário (transportes responsáveis por consumos mínimos para grandes distâncias). Em Lisboa, os trajetos com menor consumo são Odivelas-Lisboa e Lisboa-Odivelas, municípios que se ligam pela linha amarela do metropolitano de Lisboa. Finalmente, a média do consumo intramunicipal e intermunicipal é 2.07 e 1.51 MJ/(pass.km), respetivamente.

Quanto às emissões de CO₂, as viagens que emitem mais e menos são Alcochete-Alcochete (167 g/(pass.km)) e Seixal-Lisboa (10 g/(pass.km)), respetivamente. Com 67% das viagens realizadas de carro e 29% a pé (Figura 18), estes dados não indicam necessariamente uma emissão de CO₂ mais elevada. Assim, isto pode-se dever ao facto de, dentro das viagens intramunicipais, Alcochete-Alcochete ser o percurso com menor número total de deslocações e por isso não ser tão representativo da mobilidade real. Do seixal a Lisboa, 49% das viagens são realizadas de carro e 44% de comboio. A rede Fertagus liga Lisboa a Setúbal e a rede Sulfertagus liga certas localidades (Seixal) próximas à rede Fertagus. Assim, através das duas redes é feita a ligação ferroviária de Seixal a Lisboa. Devido à elevada repartição de viagens de comboio (cuja emissão local é nula), era de esperar que este percurso tivesse uma emissão de CO₂ bastante baixa.

De forma geral, tal como no caso do consumo de energia e pelos mesmos motivos, o município de Lisboa inclui as deslocações com menores fatores de emissão, com uma média de 30 gCO₂/(pass.km). A média das emissões intra e intermunicipais é 131 e 57 g/(pass.km), respetivamente (Tabela 25). Espelho do consumo energético, as

viagens mais longas (intermunicipais) apresentam uma eficiência carbónica média maior do que as viagens de curta distância, o que reforça a ideia de que as intervenções de política de mobilidade urbana devem focar as pequenas distâncias.

Concluindo, uma utilização muito grande do automóvel, geralmente associada à ausência ou défice de rede de transportes públicos, resulta em emissões de CO₂ bastante elevadas. No entanto, uma repartição modal homogénea das deslocações entre municípios, não só beneficia de uma menor pegada de carbono, como leva a uma redução no consumo energético. Adicionalmente, uma maior utilização de transportes com emissões nulas ou reduzidas (por exemplo, comboio ou metropolitano), acompanhado de uma redução da utilização de automóvel, resulta num fator médio de emissão de CO₂ reduzido.

Tabela 24 - Matriz do número total de viagens entre municípios da AML³. Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.

Municípios	Alcochete	Almada	Amadora	Barreiro	Cascais	Lisboa	Loures	Mafra	Moita	Montijo	Odivelas	Oeiras	Palmela	Seixal	Sesimbra	Setúbal	Sintra	Vila Franca De Xira	Total
Alcochete	18058	-	81	750	-	887	11	-	173	5547	15	5	179	16	-	167	103	-	25992
Almada	-	174395	900	747	555	26371	902	-	310	114	1062	1174	172	24828	1287	1285	801	253	235156
Amadora	16	1247	173321	2	1070	56541	2652	247	-	-	7973	11291	86	865	19	283	20370	668	276651
Barreiro	295	436	24	76311	-	811	16	-	11296	565	28	264	1791	1781	2757	1247	537	-	98161
Cascais	-	489	1419	35	233005	20944	446	116	-	-	1166	25921	-	578	72	244	13740	59	298234
Lisboa	888	22689	56630	1090	19250	771797	60974	2124	165	2282	37427	46407	1002	11634	2100	1032	44029	12873	1094395
Loures	29	1169	4304	40	382	57541	164060	3285	-	212	12483	1557	34	169	-	53	3703	9546	258567
Mafra	-	26	80	-	492	1630	3373	82633	-	-	802	26	-	-	-	-	3475	38	92573
Moita	83	31	-	11122	-	96	-	-	56219	1081	-	-	2736	527	430	897	24	-	73245
Montijo	6298	140	-	533	191	1471	198	-	1388	61235	37	255	2861	233	-	956	-	15	75810
Odivelas	87	1408	7878	-	375	35873	14828	438	40	37	129900	2496	109	635	90	92	6726	1212	202224
Oeiras	8	1069	10799	314	27304	47676	2127	144	58	110	2510	167210	164	1423	397	133	16502	180	278127
Palmela	89	313	28	1920	-	2040	34	30	2280	3118	99	99	72672	727	907	12255	20	-	96629
Seixal	16	23318	1554	1682	500	11386	106	-	27	571	940	1040	1115	158376	3763	1111	555	294	206354
Sesimbra	-	1046	123	3091	72	2693	-	134	410	-	19	149	618	3603	50190	3355	113	-	65616
Setúbal	166	670	195	1696	-	1655	61	-	801	688	66	304	12233	1311	2926	171055	-	9	193837
Sintra	99	762	21141	19	13558	38460	3799	4600	24	-	7119	17692	-	173	150	57	328864	391	436910
Vila Franca De Xira	-	268	166	-	24	13110	9114	167	-	15	1657	485	-	284	93	93	362	135438	161275
Total	26132	229475	278643	99352	296779	1090982	262701	93917	73192	75576	203302	276374	95772	207163	65181	194315	439925	160976	4169757

³ Tal como referido na metodologia, foram consideradas 80% (histograma) das viagens declaradas no inquérito e eliminadas as respostas associadas a valores sem significado real. Adicionalmente, apenas são consideradas as deslocações de superfície realizadas na AML. Estes fatores levam a que o número total de viagens seja inferior ao total originalmente presente no IMob.

Tabela 25 - Matriz de intensidade carbónica das deslocações dentro e entre municípios da AML (gCO₂/(pass.km))⁴. Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.

Municípios	Alcochete	Almada	Amadora	Barreiro	Cascais	Lisboa	Loures	Mafra	Moita	Montijo	Odivelas	Oeiras	Palmela	Seixal	Sesimbra	Setúbal	Sintra	V.F.Xira	Total
Alcochete	167	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	167
Almada	-	77	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	64
Amadora	-	-	136	-	-	24	-	-	-	-	67	117	-	-	-	-	58	-	66
Barreiro	-	-	-	137	-	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	124
Cascais	-	-	-	-	129	28	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	124	-	93
Lisboa	-	30	25	-	18	52	46	-	-	-	29	52	-	11	-	-	13	32	39
Loures	-	-	-	-	-	49	131	-	-	-	130	-	-	-	-	-	-	80	91
Mafra	-	-	-	-	-	-	-	151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	151
Moita	-	-	-	87	-	-	-	-	133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	128
Montijo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	165
Odivelas	-	-	-	-	-	22	72	-	-	-	141	-	-	-	-	-	-	-	63
Oeiras	-	-	91	-	55	58	-	-	-	-	-	135	-	-	-	-	74	-	93
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143	-	-	40	-	-	105
Seixal	-	63	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	122	-	-	-	-	75
Sesimbra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157	-	-	-	157
Setúbal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	-	-	148	-	-	142
Sintra	-	-	54	-	130	14	-	-	-	-	-	88	-	-	-	-	112	-	71
V.F.Xira	-	-	-	-	-	24	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	94
Total	167	64	65	127	85	39	84	151	124	165	76	95	129	77	157	126	66	101	63

⁴ As células marcadas com “-” correspondem aos pares origem-destino cujo número de viagens é menos significativo no âmbito da AML (e correspondem a 20% do total de viagens). As emissões de CO₂ são operacionais e não de ciclo de vida.

Tabela 26 - Matriz de intensidade energética em deslocações entre municípios da AML (MJ/(pass.km)). Os valores estão ordenados por um código de cores: vermelho para os mais elevados e verde para os mais baixos.

Municípios	Alcochete	Almada	Amadora	Barreiro	Cascais	Lisboa	Loures	Mafra	Moita	Montijo	Odivelas	Oeiras	Palmela	Seixal	Sesimbra	Setúbal	Sintra	V. F. Xira	Total
Alcochete	2.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.28
Almada	-	1.32	-	-	-	1.07	-	-	-	-	-	-	-	1.25	-	-	-	-	1.38
Amadora	-	-	2.28	-	-	1.22	-	-	-	-	1.59	1.65	-	-	-	-	1.83	-	2.18
Barreiro	-	-	-	1.89	-	-	-	-	1.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.02
Cascais	-	-	-	-	2.12	1.56	-	-	-	-	-	2.08	-	-	-	-	1.80	-	2.44
Lisboa	-	1.06	1.24	-	1.31	1.41	1.13	-	-	-	0.88	1.52	-	1.37	-	-	1.51	1.51	1.47
Loures	-	-	-	-	-	1.12	1.82	-	-	-	1.82	-	-	-	-	-	-	1.92	1.71
Mafra	-	-	-	-	-	-	-	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.63
Moita	-	-	-	1.93	-	-	-	-	2.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.42
Montijo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.30	-	-	-	-	-	-	-	-	2.30
Odivelas	-	-	-	-	-	0.83	1.06	-	-	-	2.04	-	-	-	-	-	-	-	1.59
Oeiras	-	-	2.24	-	1.80	1.74	-	-	-	-	-	2.46	-	-	-	-	1.50	-	2.34
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.29	-	-	1.59	-	-	2.44
Seixal	-	1.18	-	-	-	1.48	-	-	-	-	-	-	-	1.73	-	-	-	-	2.72
Sesimbra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.16	-	-	-	2.16
Setúbal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.70	-	-	2.03	-	-	2.12
Sintra	-	-	1.76	-	1.90	1.53	-	-	-	-	-	1.32	-	-	-	-	-	2.25	2.67
V. F. Xira	-	-	-	-	-	1.32	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.04	2.65
Total	2.28	1.42	2.25	1.99	2.43	1.45	1.63	2.63	2.49	2.30	1.76	2.21	2.22	2.53	2.16	2.32	2.74	2.58	1.92

4.3. CUSTOS TOTAIS POR GAMA DE DISTÂNCIA

4.3.1 CUSTOS TOTAIS ASSOCIADOS À POSSE DE VEÍCULOS PRIVADOS

A partir da base de dados confidencial foi possível obter equações para a depreciação de veículos em função do tempo, a partir das quais foi possível obter a depreciação para t=12 anos necessária para o TCO dos automóveis. Assumem-se que as equações para os veículos híbridos e elétricos são iguais à equação dos veículos a gasolina. As funções da depreciação encontram-se na Tabela 27, com $r^2 > 0.997$. Observa-se que a depreciação para automóveis a gasolina é superior que para automóveis a gásóleo, apesar das equações serem semelhantes. Assim sendo, para o mesmo período de tempo, um carro a gásóleo perde mais valor.

Tabela 27 - Equações obtidas para a depreciação (%D) em função do tempo (t) (anos). Fonte: Base de dados confidencial.

Tecnologia	Equações
Gasóleo	$\ln(\%D) = -0.105 * t + 4.650$
Gasolina	$\ln(\%D) = -0.107 * t + 4.672$

A Figura 19 apresenta o TCO de carros privados novos de acordo com as diferentes categorias de automóveis, discriminando os diferentes custos incluídos. É possível observar que o custo total dos veículos cresce com a seguinte ordem: elétricos (BEV), híbridos (HEV), gásóleo, gasolina e híbridos plug-in (PHEV). A ordem aplica-se a TCO, TCO/mês e TCO/km, visto que é usado o mesmo período de tempo e quilómetros conduzidos nos cálculos para todas as categorias.

É possível também observar o peso de cada custo variável ou fixo no custo total de posse, sendo que para todas as categorias de carros, o custo de aquisição e venda (aquisição, depreciação e impostos) corresponde à maior percentagem. Sendo que é para os carros elétricos que o custo de aquisição e venda tem o maior peso (61%). O custo da manutenção tem uma representatividade mínima para os veículos híbridos (e plug-in). Todos os restantes custos correspondem a percentagens inferiores ou iguais a 6%. Conclui-se que, em termos de custo total de posse durante 12 anos de utilização, o veículo mais económico é o elétrico e os menos económicos são os de combustão interna (gasolina e gásóleo), sendo que o maior obstáculo para o elétrico é o custo de aquisição e venda (que é mínimo para os convencionais).

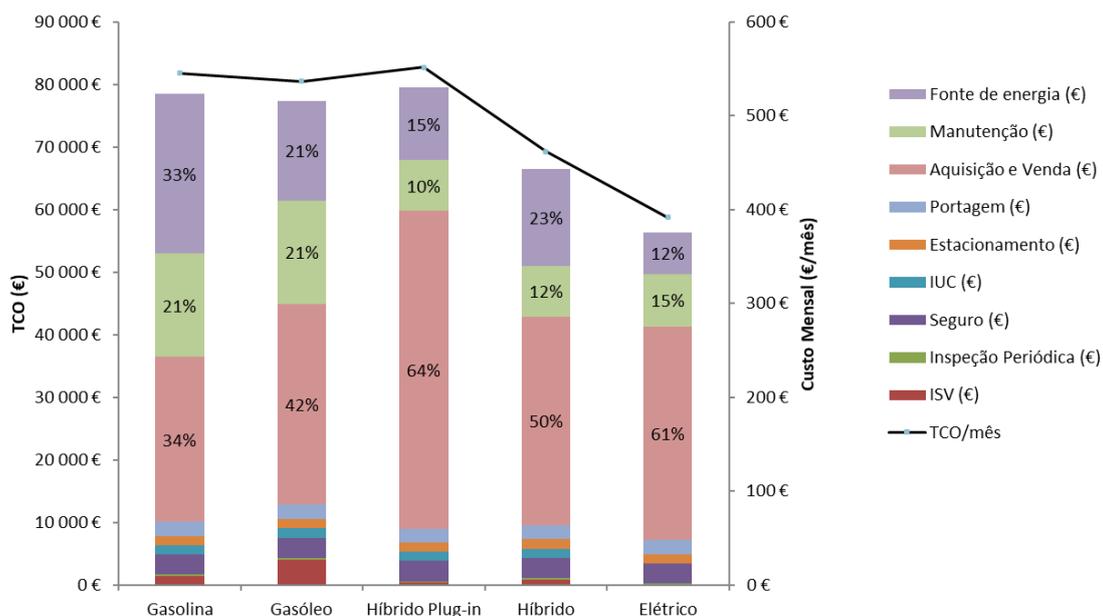


Figura 19 - Resultados obtidos para o TCO e custo mensal de veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos.

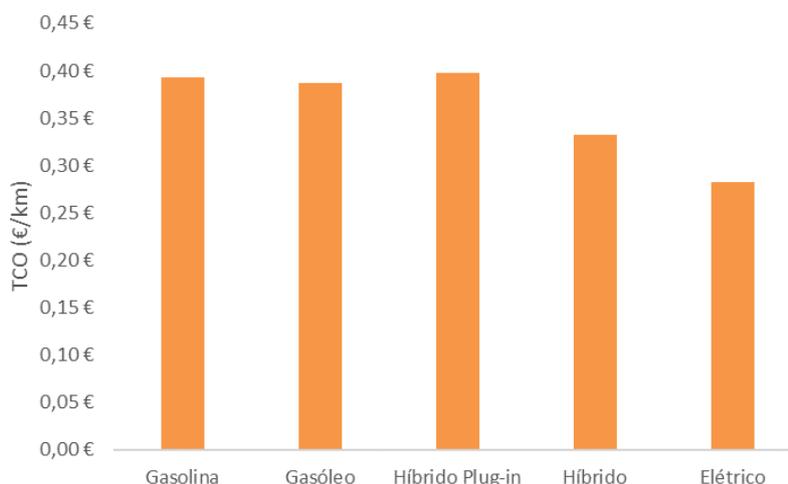


Figura 20 - Resultados obtidos para o TCO/km para veículos a gasolina, gasóleo, híbridos, híbridos plug-in e elétricos.

De acordo com a síntese nas tabelas (Tabela 3 e Tabela 4), é possível comparar não só os valores de TCO com os valores da literatura, como também entender de que forma fatores como quilometragem, localização, período de tempo e custos incluídos podem ter nas diferenças de valores.

Numa primeira análise, observa-se que os resultados obtidos são da mesma ordem de grandeza que os valores da literatura para todas as categorias. Quanto à ordem crescente do custo por quilómetro de cada categoria, nenhuma das referências apresenta uma ordem igual à dos resultados obtidos. No entanto, esta ordem difere entre cada artigo e por isso é provável que os custos de cada categoria variem substancialmente com base no país do caso de estudo. Em relação à estrutura de custos do TCO, os artigos assumem custos semelhantes assim como com o presente estudo, à excepção do estacionamento e portagem. Da literatura, apenas o artigo de Wu Geng considera o estacionamento e nenhum considera portagens [35]. Relativamente aos impostos, é difícil

entender especificamente que impostos são considerados pois em muitos dos artigos, esta informação não é especificada, ao contrário do presente estudo, em que se distingue o ISV do IUC, por exemplo.

Ao calcular o erro médio do TCO de cada literatura em relação aos resultados por categoria, concluí-se que os casos mais semelhantes (erro médio <31%) são, por ordem de erro crescente, o artigo de Kate Palmer et al. (Califórnia) [35], Wu Geng et al. (Alemanha) [36] e Jens Hagman et al. (Suécia) [38]. Sendo que, com a exceção da Califórnia (erro médio de 10%), os erros são maiores devido ao TCO dos veículos elétricos, o que poderá significar que a maior diferença nos custos será relacionada com os custos dos BEV (i.e. aquisição, incentivo, preço da eletricidade, manutenção, depreciação, impostos e seguro). Por exemplo, para o caso da Alemanha, os TCOs dos veículos de combustão interna têm um erro apenas de 3% e um erro de 99% para o elétrico. É neste mesmo artigo que o autor (Geng Wu et al.) incluí custos relacionados com o carregamento e as baterias dos veículos elétricos que os restantes não consideram. Tal poderá levar ao TCO mais elevado do elétrico [35], [36], [38].

Analisando, por exemplo o caso da Suécia, o custo de aquisição de um veículo elétrico e o preço da eletricidade são inferiores, a manutenção é nula (no período considerado) e o incentivo é superior ao de Portugal [36]. Apesar de existirem alguns custos superiores aos de Portugal (e.g., seguro), os valores absolutos indicam que o TCO de um BEV na Suécia é bastante inferior a Portugal. Em termos de custo por quilómetro, para o BEV na Suécia, os custos do seguro, impostos, aquisição e venda e combustível são superiores. Já o incentivo é superior e a manutenção é nula. Para um veículo a gasolina, os custos (€/km) superiores de aquisição e venda na Suécia são compensados pelos custos inferiores dos impostos e pelo custo do estacionamento e portagens (que não são considerados). Visto que o preço por quilómetro do combustível e manutenção são iguais a Portugal, tal resulta num TCO (€/km) bastante semelhante para carros a gasolina.

Analisando o preço da eletricidade, Espanha tem um custo bastante semelhante por kWh a Portugal e no entanto o TCO por quilómetro é mais do dobro [37]. Tal revela que um grande fator nas diferenças destes custos poderá ser a quilometragem total/período considerado. Visto que o presente estudo assume um período de tempo de 12 anos, considera uma quilometragem total muito superior à dos artigos consultados e poderá ser este um fator determinante na diferença dos resultados.

O custo médio total em Portugal é de 334€/mês e 537€/mês, de acordo com a Autocustos.pt e as nossas estimativas, respetivamente. Os custos fixos representam 52% e 71% e os custos variáveis 48% e 29%, segundo a Autocustos.pt e os nossos resultados obtidos, respetivamente [25]. Os resultados referidos são obtidos experimentalmente para a AML e os valores médios são calculados ponderadamente de acordo com o número de carros vendidos em 2017 (segundo o tipo de combustível) [50]. Conclui-se que as nossas estimativas são superiores aos valores da Autocustos.pt, embora sejam da mesma ordem de grandeza. A Autocustos.pt apresenta valores médios estatísticos a nível nacional, segundo os valores que os utilizadores disponibilizam, enquanto que os nossos resultados são específicos para a AML.

4.3.2 CUSTOS ASSOCIADOS AOS RESTANTES MODOS DE TRANSPORTE

Os resultados (€/km) para os diferentes modos de transportes, assim como o valor médio, estão apresentados na seguinte Figura 21.

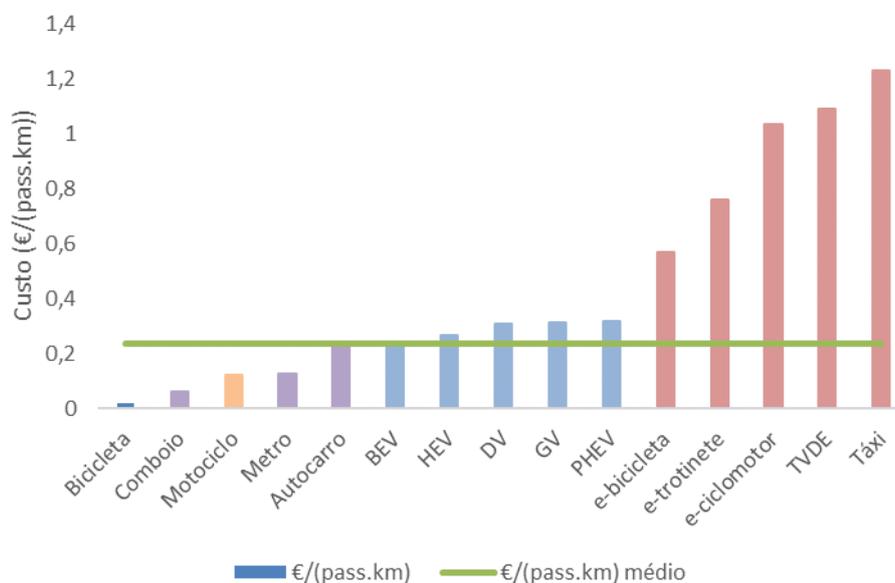


Figura 21 - Custo (€/km) para carros privados - elétricos (BEV), híbridos (HEV), a gasóleo (DV), a gasolina (GV), híbridos plug-in (PHEV) - e para os restantes modos de transportes - comboio, metro, autocarro, bicicleta convencional, bicicleta elétrica, trotinete elétrica, motociclo convencional, ciclomotor elétrico, TVDE e táxi. Custo (€/km) da frota média na AML.

Observa-se que, de todos os modos de transportes, o táxi apresenta o custo por quilómetro mais alto. Os transportes públicos (autocarro, metropolitano e comboio) apresentam os menores. À exceção dos transportes públicos, do motociclo, bicicleta convencional e do carro elétrico, os restantes transportes encontram-se acima do custo médio de mobilidade na AML por quilómetro. Claramente, apesar de se poder comparar os custos por quilómetro, isto não é suficiente para comparar os transportes, visto que servem utilidades diferentes e percorrem gamas de distância diferentes.

A Figura 22 mostra o custo médio (€/km) em função das gamas de distância para a AML, tendo em conta a repartição modal. A média ponderada do TCO do automóvel (sem distinção de categoria) é 536.74 €/mês e 0.39 €/km.

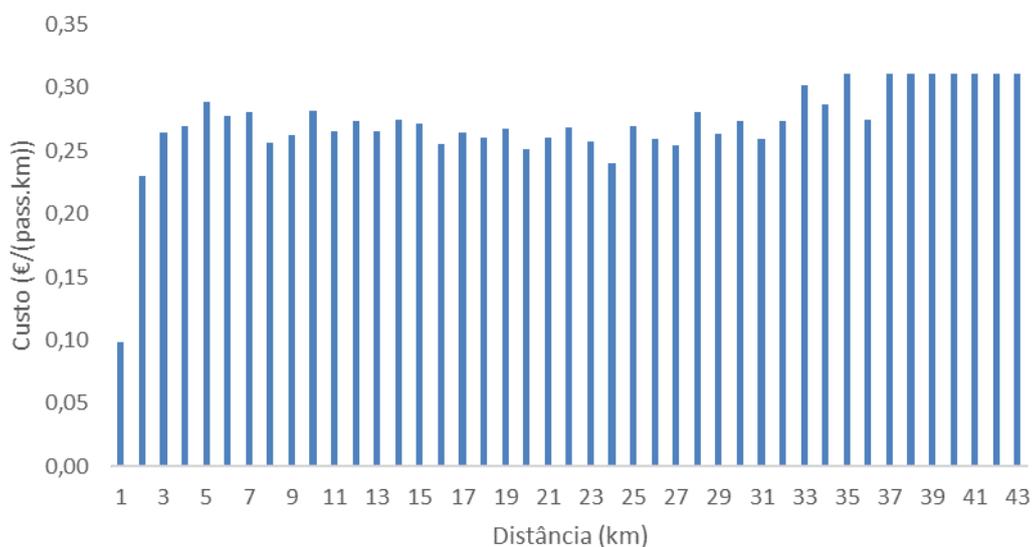


Figura 22 - Custo médio (€/pass.km) das deslocações na AML.

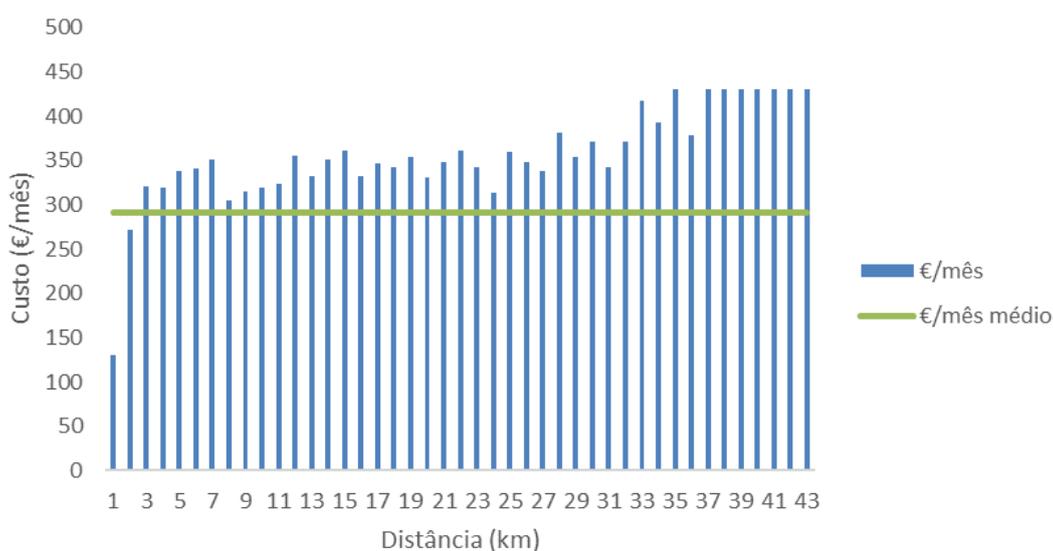


Figura 23 - Custo médio mensal (€/mês) das deslocações na AML.

4.4. ANÁLISE DO IMPACTO DE DOIS CENÁRIOS DE POLÍTICA DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

De seguida são apresentados os resultados para dois cenários de política de mobilidade urbana sustentável alternativos cujos impactos podem ser acumulados (i.e., são adicionáveis). No primeiro cenário (alternativa 1), é testada a transferência de viagens de carro privado para transportes públicos, modos ativos e mobilidade partilhada. O segundo cenário (alternativa 2) é criado com base no primeiro cenário alternativo e corresponde à substituição tecnológica de viagens de carros convencionais por carros elétricos.

De acordo com a alternativa 1 e 2 (Figura 24), foi possível observar os impactos no custo médio, no consumo energético e na emissão de CO₂, relativamente ao cenário original. Partindo do princípio que é incorreto usar um

valor médio para o consumo/emissão por quilómetro (independente da distância), estas funções estão apresentadas em gráficos sobre a forma de uma redução percentual face ao cenário original (Figura 25 e Figura 26). Visto que os resultados têm a mesma tendência, os restantes resultados estão agregados em média ponderada e presentes na Tabela 28.

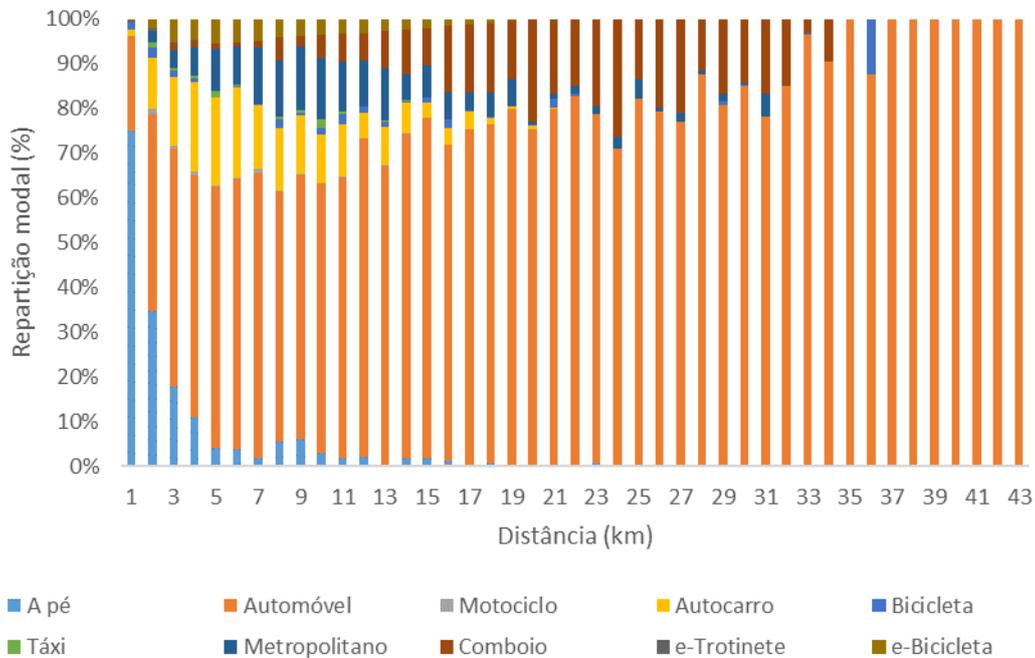


Figura 24 - Repartição modal alternativa 1 das viagens em função da distância.

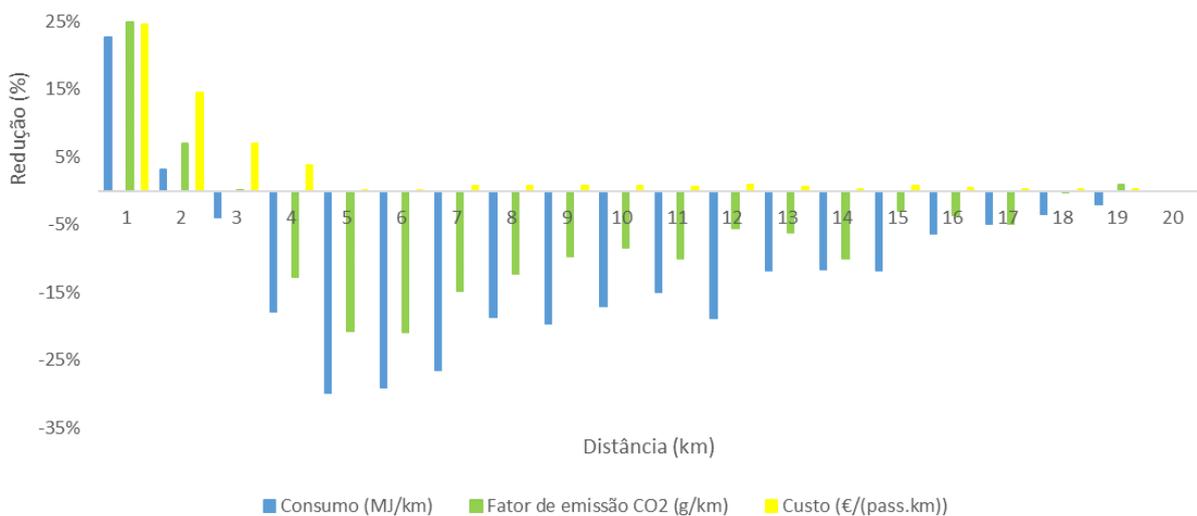


Figura 25 - Redução (%) das seguintes variáveis face ao original: fator emissão CO₂ médio (g/km), consumo médio (MJ/km) e custo médio (€/km) em função da distância, baseado numa repartição modal alternativa 1.

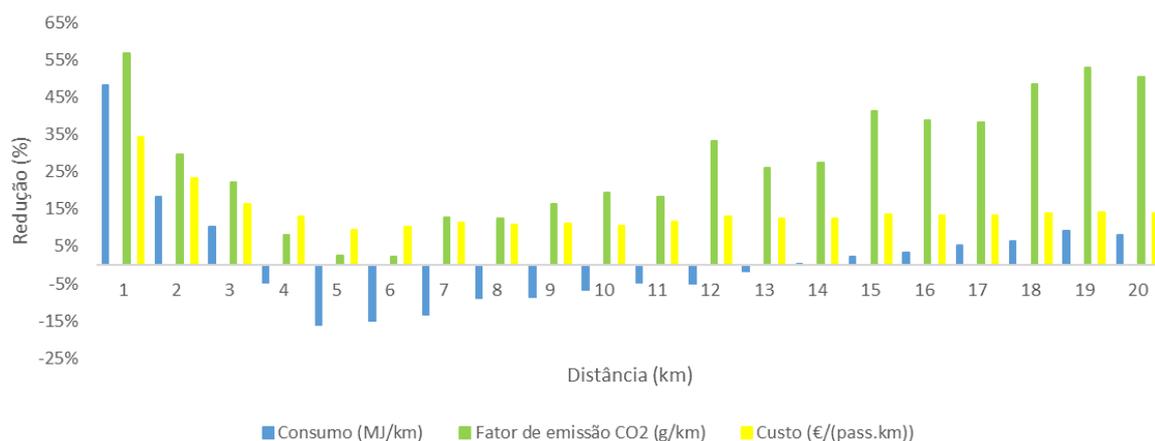


Figura 26 - Redução (%) das seguintes variáveis face ao original: fator emissão CO₂ médio (g/km), consumo médio (MJ/km) e custo médio (€/km) em função da distância, baseado no cenário alternativo 2.

Tabela 28 – Impacte dos cenários 1 e 2 nos valores médios por utilizadores de transportes da AML, do consumo energético, das emissões de CO₂ e dos custos dos transportes.

Resultados	Unidades	Média (original)	Média (alternativa 1)	Média (alternativa 2)
Consumo energético	MJ/(pass.km)	2.27	1.93	1.29
	<i>Var. % face ao original</i>	-	-15%	-43%
Emissão CO₂	g/(pass.km)	142	115	59
	<i>Var. % face ao original</i>	-	-19%	-58%
Custo total	€/mês	292	242	207
	<i>Var. % face ao original</i>	-	-18%	-30%

Tabela 29 - Impacte dos cenários 1 e 2 no consumo energético e emissões de CO₂ totais da AML.

Resultados	Unidades	Total (original)	Total (alternativa 1)	Total (alternativa 2)
Consumo energético	TJ	39.77	36.66	24.87
	<i>Var. % face ao original</i>	-	-8%	-37%
Emissão CO₂	ton	2497	2204	1132
	<i>Var. % face ao original</i>	-	-12%	-55%

A Figura 25 mostra que o custo médio (€/km) do cenário alternativo 1 é inferior ao custo médio do cenário original. Tal como era esperado, visto que o custo por quilómetro dos transportes públicos e dos modos ativos são inferiores ao custo médio do automóvel (Figura 21). Apesar de o custo por quilómetro da mobilidade partilhada ser superior, o número de viagens total que foi substituído por estes modos é baixo e por isso não é suficiente para causar um aumento do custo médio total. Até 2 km, existe uma redução no consumo energético e na emissão de CO₂. No entanto, a partir desta distância, verifica-se um aumento destes parâmetros. Apesar de a mobilidade ativa e partilhada causar um pequeno decréscimo no consumo e na emissão, o metropolitano e o autocarro consomem (MJ/km) muito mais que o automóvel e ao aumentar a utilização destes transportes, causa um aumento no consumo médio também. De forma semelhante, apesar de o metropolitano ter emissões nulas, as emissões muito elevadas do autocarro (g/km) causam um aumento geral na emissão média. A redução no custo e os aumentos são decrescente com a distância.

No cenário alternativo 2, a repartição modal é igual ao cenário 1, somando os impactos da substituição de 30 p.p. das viagens de carros com combustão interna para carros elétricos. A Figura 26 revela que tanto o custo médio como a emissão média de CO₂ sofrem reduções face ao cenário original. O custo, como já foi explicado, já sofria reduções devido à diminuição da utilização do carro (no geral) e ao aumento de utilização de transportes públicos e mobilidade ativa. Agora, com o aumento dos carros elétricos e diminuição dos convencionais, ocorre uma redução do custo ainda maior, visto que o TCO do BEV é inferior ao do ICEV. Equanto que o cenário alternativo 1 causava um aumento na emissão de CO₂ (devido ao autocarros), agora com a adição de carros elétricos (emissões nulas), naturalmente é causada uma redução visto que os carros (no geral) ainda são responsáveis pela maior parte das deslocações. Finalmente, o consumo sofre um aumento, face ao cenário original apenas nas gamas de 4 a 13 km. É nestas gamas onde o metro e o autocarro têm maior representatividade, de acordo com a repartição modal (Figura 24), visto que o decréscimo do consumo causado pela substituição parcial do ICEV pelo BEV não é suficiente para contrariar o aumento causado pelo consumo elevado do metropolitano e do autocarro (nestas gamas).

Naturalmente, do ponto de vista do passageiro, os valores com maior significado são o consumo e a emissão por pass.km e o custo mensal. Visto que os responsáveis pelo aumento do consumo são o autocarro e o metropolitano, era expectável que, ao considerar agora o número de passageiros, a interpretação fosse muito diferente. Pela Tabela 28, observa-se que todos os impactos foram positivos com a implementação dos cenários alternativos. A alternativa 1 leva a uma redução na emissão, no consumo e no custo mensal, face à realidade e a alternativa 2 leva a reduções ainda maiores. O metropolitano e o autocarro, com grandes taxas de ocupações, correspondem a consumos e emissões (MJ/(pass.km) e g/(pass.km)) baixas (emissão nula para o metro). Quanto aos valores absolutos (Tabela 29), todos os restantes transportes têm consumos menores que o carro convencional e daí a redução. O maior impacto observado foi de facto na emissão de CO₂, pois muitos dos transportes considerados nestes cenários são elétricos.

Concluindo, quanto maior a utilização de transportes com baixo (ou nulo) consumo e emissão, maior a média do impacto positivo no desempenho energético, ambiental e económico. Esta conclusão tem como base um cenário realista, tendo em consideração as gamas de distância que cada transporte percorre. Observando assim o

impacte positivo que existe numa maior utilização de mobilidade partilhada, modos ativos, transportes públicos e ainda numa substituição do carro convencional pelo elétrico. O cidadão da AML pouparia em média 64€/mês ou 107€/mês, de acordo com o cenário alternativo 1 e 2, respetivamente. Seria ainda evitada a emissão de 293 tons (cenário 1) ou 1365 tons (cenário 2) de CO₂ e poupado 3.11 TJ (cenário 1) ou 14.9 TJ (cenário 2) de consumo energético. As 1365 tons de CO₂, evitadas, correspondem a 8190 árvores plantadas por dia [103].

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1. SÍNTESE, CONTRIBUTOS E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com o avanço da situação ambiental presente, o futuro da rede de transportes está alinhado com uma gestão eficiente de transportes públicos, partilhados, privados e mobilidade ativa, idealmente, com uma emissão mínima de poluentes da frota. Relativamente à perspetiva do cidadão, os custos dos transportes são um fator determinativo na utilização (ou posse) dos modos disponíveis. Apesar de os custos se desejarem mínimos, sem considerar a influência da distância, não é possível fazer uma análise comparativa. A gama de distância a ser percorrida determina, não só as emissões e o consumo energético, como também o custo por quilómetro e o número de transportes que percorrem determinadas distâncias.

Para o consumo de energia e emissão de poluentes (CO₂, CO, NO_x, COV, COVNM, PM) obtiveram-se funções com a velocidade, a partir do software COPERT, para os seguintes transportes: automóvel, motociclo, táxi e autocarro. Com a análise aos padrões de mobilidade em Lisboa (IMob), foram obtidas funções da velocidade com a distância. As funções são distinguidas de acordo com o modo de tráfego para o autocarro, automóvel, comboio, de acordo com a gama de distância para a bicicleta e sem variável para o motociclo, táxi e a pé. A interseção dos dois resultados permitiu obter funções para o consumo de energia e emissão de poluentes com a distância (para todos os transportes referidos), para uma gama de distância até 20 km.

Quanto ao consumo energético, o automóvel tem a maior representatividade de forma geral ao longo de todas as gamas de distância. Os transportes com maior consumo (MJ) de acordo com as gamas de distância são: até 6 km, autocarro e automóvel; entre 6 a 10 km, metropolitano, automóvel e autocarro; entre 10 a 13 km, comboio, metropolitano e automóvel; entre 13 a 20 km, comboio e automóvel. A média do consumo por passageiro e por quilómetro é 1.42 MJ/(pass.km) e a média do consumo por quilómetro é 7.04 MJ/km (aumenta com o aumento da distância). Os transportes responsáveis pelas maiores emissões de CO₂ (g) são o autocarro e o automóvel, tais emissões reduzem com o aumento da distância. Os poluentes locais mais emitidos pelo autocarro e automóvel são NO_x e CO e pelo motociclo CO, COVNM e COV. O gráfico obtido para a emissão de CO₂ a variar com a distância, permite concluir que, na gama de 3 a 5 km, a frota é ineficiente e foi precisamente nesta gama que foi feita a transferência para os modos ativos nos cenários modais alternativos.

A análise às deslocações entre municípios da AML revela que, em viagens intramunicipais, os transportes mais usados são o automóvel e andar a pé. Lisboa é o município onde existe o maior número de deslocações, com um máximo para as viagens intramunicipais, que são mais distribuídas de forma equilibrada por todos os modos. Contrariamente, o município (origem ou destino) onde se realizam menos viagens é Alcochete. Uma utilização muito grande do automóvel, geralmente associada à ausência ou défice de rede de transportes públicos, resulta em emissões de CO₂ bastante elevadas. Uma repartição modal homogénea das deslocações entre municípios, reflete-se num consumo energético e emissão de CO₂ menor.

Os automóveis privados ainda são o modo de transporte de eleição da grande maioria da população em Lisboa, os custos associados a esta posse (TCO) incluem custos variáveis e fixos ao longo de um período (assumido) de

12 anos, com uma quilometragem total de 200000 km. Os custos incluídos são: incentivo, aquisição e venda, inspeção periódica, seguro, ISV, IUC, estacionamento, portagem, manutenção e combustível. As categorias de automóvel analisadas e comparadas são as seguintes: híbrido plug-in (0.397 €/km), carro a gasolina (0.392 €/km), gasóleo (0.387 €/km), híbrido (0.333 €/km) e elétrico (0.282 €/km), por ordem decrescente de TCO. Uma comparação com a literatura, revela que os resultados obtidos são da mesma ordem de grandeza que os valores da literatura para todas as categorias e permite concluir que um grande fator nas diferenças destes custos poderá ser a quilometragem total/período considerado, assim como o país do caso de estudo. Dos outros transportes, os que apresentam um custo por quilómetro mais baixo são os transportes públicos e motociclo, seguidos da mobilidade partilhada e por fim TVDE e táxi. A média ponderada do TCO do automóvel é 536.74 €/mês e 0.39 €/km.

Ao forçar uma repartição modal alternativa que favorece viagens realizadas por mobilidade partilhada, ativa e transportes públicos (0 a 20 km) em detrimento de viagens realizadas de automóvel, observa-se um impacto positivo em termos de desempenho energético, ambiental e económico. O cidadão da AML poupa 64€/mês, 3.11 TJ de consumo energético e evita a emissão de 293 tons de CO₂. Adicionalmente, ao substituir viagens realizadas de automóveis convencionais por automóveis elétricos, poupa 85€/mês por utilizador, 14.9 TJ de consumo energético por dia e evita a emissão de 1365 tons de CO₂ por dia.

5.2. LIMITAÇÕES

Ao longo de trabalho foram encontrados alguns desafios. Por exemplo, a obtenção das funções do consumo e das emissões teve algumas barreiras, relativamente à aprendizagem de um novo software (COPERT 5.0) que, atualmente, é uma versão mais recente que a versão utilizada com base no inventário nacional (NIR). Com algumas diferenças nas versões, foi necessário adaptar alguns dados presentes no NIR para a calibração no COPERT, como por exemplo, a nomenclatura dos modos de tráfego. Na versão usada no NIR, apenas são distinguidos modo urbano, rural e autoestrada, enquanto que a versão utilizada no presente estudo faz a distinção adicional de ponta e fora de ponta. Na análise à mobilidade de Lisboa, o maior desafio foi identificar os *outliers* no inquérito, as respostas sem sentido real (por exemplo, deslocações com velocidade negativa ou impossíveis para certos modos de transporte). No cálculo do custo dos transportes, foi por vezes desafiante encontrar um valor de referência para uma categoria de automóveis, quando os valores para diferentes carros até na mesma categoria podem variar devido à cilindrada, emissão de CO₂ e idade da matrícula (por exemplo, imposto único de circulação, imposto sob o veículo). Certos custos (e.g., manutenção e depreciação) são estimados muito mais facilmente para veículos de combustão interna do que para tecnologias alternativas, devido à maior quantidade de informação disponibilizada ao longo de um grande período de tempo (contrariamente à recente introdução no mercado de tecnologias alternativas). A estimativa do custo de um seguro varia muito com o veículo em causa (idade, tecnologia, custo de aquisição, etc.) e com o perfil do consumidor (idade, género, histórico de acidentes, idade a que tirou a carta de condução, etc.), assim como a existência de várias seguradoras em Portugal. Até no custo associado ao consumo do combustível, existe uma

certa dificuldade devido à volatilidade dos preços dos combustíveis. Finalmente, apesar de não ser necessariamente uma barreira neste estudo, poderá ser uma dificuldade para os consumidores que desejem fazer este cálculo de forma independente. Foi necessário acesso a bases de dado e estatística (documentação do IMob e base de dados confidencial) que não seria possível ou muito difícil para os consumidores acederem.

5.3. TRABALHO FUTURO

Algo a ter em conta para trabalhos futuros é a recomendação de um software mais adequado para o tratamento dos dados do IMob e obtenção das funções para o consumo e para as emissões. Tendo em conta que se chegou à conclusão que o Excel não foi a ferramenta mais eficiente de tratamento dos dados, recomenda-se o uso de Matlab ou Python para análise mais eficaz dos dados.

Além disso, sugere-se a utilização de uma frota mais recente e completa (tecnologias como veículos elétricos, normas EURO mais recentes, etc.) como input no software COPERT para a obtenção das funções do consumo e das emissões. O desempenho nos diferentes campos, especialmente quanto à emissão de veículos, poderá ser alargado para a fase do ciclo de vida poço-ao-depósito.

Os resultados obtidos, apesar de poderem ser utilizados como referência para áreas urbanas semelhantes à AML, poderão beneficiar de um acréscimo de informação sobre padrões de mobilidade, de forma a que possam ser mais generalizados e aplicados a diversas regiões do país, tais como outras áreas urbanas, áreas rurais e deslocações em autoestrada.

O presente trabalho poderá ser aplicado numa ferramenta de disponibilização de informação ao utilizador. Permitindo obter o gasto mensal do automóvel do utilizador, assim como as alternativas utilizando o mesmo crédito. Ainda em relação aos custos, seria interessante a utilização do preço da eletricidade bi-horário e não o preço médio residencial.

Finalmente, seria interessante num trabalho futuro realizar uma análise de sensibilidade aos resultados obtidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] United Nations, “Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100 | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs,” Jun. 17, 2019. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html> (accessed Nov. 13, 2020).
- [2] PORDATA, “Número de veículos ligeiros de passageiros por mil habitantes,” 2020. <https://www.pordata.pt/Europa/Número+de+veículos+ligeiros+de+passageiros+por+mil+habitantes-3078> (accessed Nov. 13, 2020).
- [3] PORDATA, “População residente: total e por grandes grupos etários,” 2020. <https://www.pordata.pt/Municipios/População+residente+total+e+por+grandes+grupos+etários-390> (accessed Nov. 13, 2020).
- [4] European Commission, “Statistical pocketbook 2020 | Mobility and Transport - 3. Energy and environment,” 2020. https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2020_en (accessed Nov. 13, 2020).
- [5] European Environment Agency, “Emissions of air pollutants from transport,” 2019. Accessed: Nov. 14, 2020. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>.
- [6] European Environment Agency, “Energy consumption in transport ,” 2019. Accessed: Nov. 14, 2020. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/transport-energy-consumption-eea-5#tab-googlechartid_googlechartid_chart_111.
- [7] United Nations, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development,” 2015, [Online]. Available: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- [8] European Commission, “2050 long-term strategy | Climate Action,” Mar. 2020. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (accessed Nov. 14, 2020).
- [9] EPA, “Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification,” 2019, 2019. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification> (accessed Nov. 25, 2020).
- [10] C. Europeia, “Proposta de regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que altera o Regulamento (CE) n.º 715/2007 relativo à homologação dos veículos a motor no que respeita às emissões dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais (Euro 5 e Euro 6) e ao acesso,” Bruxelas, 2019.
- [11] European Commission, “CO₂ emission performance standards for cars and vans (2020 onwards) | Climate Action,” 2019. https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en#tab-0-0 (accessed Jan. 03, 2021).
- [12] Citroën Portugal, “NOVAS REGULAMENTAÇÕES,” 2020. <https://www.citroen.pt/universo-da-marca-citroen/tecnologias/homologacao-de-veiculos.html> (accessed Nov. 26, 2020).
- [13] M. Weiss *et al.*, “Will Euro 6 reduce the NO_x emissions of new diesel cars? - Insights from on-road tests with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS),” *Atmos. Environ.*, vol. 62, pp. 657–665, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.08.056.
- [14] ICCT, “Real-driving emissions test procedure for exhaust gas pollutant emissions of cars and light commercial vehicles in Europe,” 2017.
- [15] FleetEurope, “Do you know your Euro 6 from your 6c and 6d-TEMP? | Fleet Europe,” 2018. <https://www.fleeteurope.com/fr/new-energies-fiscalite-et-legislation/europe/features/do-you-know-your-euro-6-your-6c-and-6d-temp?a=DQU04&t%5B0%5D=Diesel&t%5B1%5D=RDE&t%5B2%5D=Euro6d&t%5B3%5D=WLTP&t%5B4%5D=Euro6dTEMP&t%5B5%5D=EVAP&t%5B6%5D=TaxationGuid> (accessed Feb. 17, 2021).

- [16] Instituto Nacional de Estatística, “Inquérito à mobilidade (Imob) - Sessão de apresentação dos resultados definitivos,” 2018.
- [17] L. STEG, “CAN PUBLIC TRANSPORT COMPETE WITH THE PRIVATE CAR?,” *IATSS Res.*, vol. 27, no. 2, pp. 27–35, Jan. 2003, doi: 10.1016/s0386-1112(14)60141-2.
- [18] B. M. da Silva Lopes, “Soluções Tecnológicas para o Transporte Urbano Visando a Descarbonização do,” Universidade Nova de Lisboa, 2016.
- [19] X. Wu, X. He, and J. Cao, “Advances in alternative fuel vehicles,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 85. Elsevier Ltd, p. 102408, Aug. 01, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2020.102408.
- [20] P. Letmathe and M. Soares, “Understanding the impact that potential driving bans on conventional vehicles and the total cost of ownership have on electric vehicle choice in Germany,” *Sustain. Futur.*, vol. 2, no. March, p. 100018, 2020, doi: 10.1016/j.sftr.2020.100018.
- [21] I. Vassileva and J. Campillo, “Adoption barriers for electric vehicles: Experiences from early adopters in Sweden,” *Energy*, vol. 120, pp. 632–641, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.11.119.
- [22] APREN, “Produção,” 2021. <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (accessed Nov. 13, 2020).
- [23] CEIIA, “AYR | ceiiia,” 2021. <https://www.ceiia.com/ayr> (accessed Jan. 11, 2021).
- [24] Jornal de Notícias, “AYR é a app que recompensa quem protege o planeta,” Oct. 24, 2019. <https://www.jn.pt/economia/ayr-e-a-app-que-recompensa-quem-protege-o-planeta-11441420.html> (accessed Nov. 14, 2020).
- [25] Autocustos, “Calculadora dos Custos do Automóvel,” 2021. <https://autocustos.pt/> (accessed Nov. 14, 2020).
- [26] S. Jung, M. Lee, J. Kim, Y. Lyu, and J. Park, “Speed-dependent emission of air pollutants from gasoline-powered passenger cars,” *Environ. Technol.*, vol. 32, no. 11, pp. 1173–1181, 2011, doi: 10.1080/09593330.2010.505611.
- [27] A. Alimujiang and P. Jiang, “Synergy and co-benefits of reducing CO₂ and air pollutant emissions by promoting electric vehicles—A case of Shanghai,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 55, pp. 181–189, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.esd.2020.02.005.
- [28] O. Ghaffarpasand, D. C. S. Beddows, K. Ropkins, and F. D. Pope, “Real-world assessment of vehicle air pollutant emissions subset by vehicle type, fuel and EURO class: New findings from the recent UK EDAR field campaigns, and implications for emissions restricted zones,” *Sci. Total Environ.*, vol. 734, p. 139416, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139416.
- [29] ACEA - European Automobile Manufacturers’ Association, “Fuel types of new cars ,” 2020. Accessed: May 10, 2021. [Online]. Available: <https://www.acea.be/press-releases/article/fuel-types-of-new-cars-electric-10.5-hybrid-11.9-petrol-47.5-market-share-f>.
- [30] X. Wu, D. Freese, A. Cabrera, and W. A. Kitch, “Electric vehicles’ energy consumption measurement and estimation,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 34, pp. 52–67, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.trd.2014.10.007.
- [31] A. Braun and W. Rid, “The influence of driving patterns on energy consumption in electric car driving and the role of regenerative braking,” in *Transportation Research Procedia*, Jan. 2017, vol. 22, pp. 174–182, doi: 10.1016/j.trpro.2017.03.024.
- [32] A. Braun and W. Rid, “Energy consumption of an electric and an internal combustion passenger car. A comparative case study from real world data on the Erfurt circuit in Germany,” in *Transportation Research Procedia*, Jan. 2017, vol. 27, pp. 468–475, doi: 10.1016/j.trpro.2017.12.044.
- [33] T. Ho, I. P. L. Png, and S. Reza, “Sunk Cost Fallacy in Driving the World’s Costliest Cars,” *SSRN Electron. J.*, May 2013, doi: 10.2139/ssrn.2254483.

- [34] P. Gomes, M. Lopes, H. Martins, and J. Carvalho, “Custos e Benefícios, à escala local, de uma Ocupação Dispersa - Anexo 8: Custos internos e externos de Mobilidade em Portugal,” Aveiro, Mar. 2011. Accessed: Jun. 18, 2021. [Online]. Available: http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa.
- [35] G. Wu, A. Inderbitzin, and C. Bening, “Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments,” *Energy Policy*, vol. 80, pp. 196–214, May 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.02.004.
- [36] J. Hagman, S. Ritzén, J. J. Stier, and Y. Susilo, “Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 18, pp. 11–17, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.rtbm.2016.01.003.
- [37] C. Schimeczek, E. D. Özdemir, and S. Schmid, “Effectiveness Of Monetary And Non-Monetary Incentives On The Purchase Of Plug-In Electric Vehicles Considering National And Regional Frameworks Within The European Union,” in *Conference: European Transport Conference 2016*, 2016.
- [38] K. Palmer, J. E. Tate, Z. Wadud, and J. Nellthorp, “Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan,” *Appl. Energy*, vol. 209, pp. 108–119, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.089.
- [39] APA, “Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases , 1990 - 2017,” Lisboa, 2018.
- [40] EMISIA SA, “COPERT.” <https://www.emisia.com/utilities/copert/> (accessed Nov. 15, 2020).
- [41] G. Mellios, L. Ntziachristos, Z. Samaras, L. White, G. Martini, and K. Rose, “Methodology for the calculation of fuel evaporation,” 2016. [Online]. Available: <https://www.emisia.com/utilities/copert/documentation/>.
- [42] L. Ntziachristos and Z. Samaras, “Methodology for the calculation of exhaust emissions,” 2018.
- [43] M. Stewart and K. Arnold, “Crude Stabilization,” in *Emulsions and Oil Treating Equipment*, Elsevier, 2009, pp. 81–106.
- [44] ENSE, “Valores mensais de Incorporação por tipo de Biocombustível,” 2019. [Online]. Available: <https://www.ense-epe.pt/biocombustiveis/metas-e-obrigacoes-de-incorporacao-de-biocombustivel/>.
- [45] Carris, “Frota - Autocarros.” <https://www.carris.pt/descubra/frota/autocarros/> (accessed Nov. 22, 2020).
- [46] Carris, “Chegaram os novos autocarros elétricos,” Mar. 11, 2020. <https://www.carris.pt/descubra/noticias/chegaram-os-novos-autocarros-eletricos/> (accessed Jun. 25, 2021).
- [47] Carris, “Novos elétricos e autocarros,” Apr. 21, 2021. <https://www.carris.pt/descubra/noticias/aquisicao-de-novos-eletricos-e-autocarros/> (accessed Jun. 25, 2021).
- [48] M. Faria, G. Duarte, and P. Baptista, “Assessing electric mobility feasibility based on naturalistic driving data,” *J. Clean. Prod.*, vol. 206, pp. 646–660, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.217.
- [49] P. Baptista, “Modelação de consumos energéticos e de emissões,” 2020.
- [50] ACAP and Auto Informa, “Estatísticas do sector automóvel,” 2018.
- [51] ACP, “Estudo Condutor Português,” 2018. [Online]. Available: http://observatorio.acp.pt/estudos/condutor_portugues/index.html.
- [52] P. Gomes and M. Lopes, “Custos internos e externos de Mobilidade em Portugal,” 2011. [Online]. Available: http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa.
- [53] Renault, “Renault Portugal ,” 2021. <https://www.renault.pt/> (accessed May 03, 2021).
- [54] BMW, “BMW,” 2021. <https://www.bmw.pt/pt/index.html> (accessed May 03, 2021).
- [55] P. Plötz, S. Funke, and P. Jochem, “Real-world fuel economy and CO2 emissions of plug-in hybrid electric

- vehicles,” 2015.
- [56] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 144/2012,” 2012. Accessed: Nov. 23, 2020. [Online]. Available: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Inspecao/TiposInspeccoes/Periodicas/Paginas/Home.aspx>.
- [57] Impostos Sobre Veículos, “Simulador ISV 2020,” 2020. <https://impostosobreveiculos.info/isv/simulador-isv/> (accessed Nov. 23, 2020).
- [58] Impostos Sobre Veículos, “Simulador IUC 2020,” 2020. <https://impostosobreveiculos.info/iuc/simulador-iuc/> (accessed Nov. 23, 2020).
- [59] ACAP, “ACAP ,” 2020. <https://www.acap.pt/pt/home> (accessed Jul. 28, 2021).
- [60] ACAP and AutoInforma, “O Comércio e a Indústria Automóvel em Portugal,” Lisboa, 2008.
- [61] Diário da República, “Despacho n.º 2535/2021,” Mar. 2021. Accessed: Jun. 30, 2021. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/wp-content/uploads/2021/03/05-03-2021-Incentivos-Despacho-2535-2021.pdf>.
- [62] Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões, “Estatísticas de Seguros,” 2019.
- [63] IMT, “Anuário Estatístico da Mobilidade e dos Transportes - 2018,” pp. 1–87, 2018, [Online]. Available: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Paginas/Anuario-Estatistico-Mobilidade-Transportes-2017.aspx>.
- [64] ACEA, “Average age of the EU vehicle fleet, by EU country,” 2019. Accessed: May 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.acea.be/statistics/tag/category/average-vehicle-age>.
- [65] Fidelidade, “Marcas do Grupo.” <https://www.fidelidade.pt/PT/a-fidelidade/NossaMarca/marca/Paginas/Marcas-do-grupo.aspx> (accessed Nov. 29, 2020).
- [66] TVI24, “Carros: os modelos mais vendidos,” Feb. 15, 2009. <https://tvi24.iol.pt/portugal/europa/carros-os-modelos-mais-vendidos-fotos> (accessed May 06, 2021).
- [67] OK! teleseguros, “Simulação Seguro Automóvel e Motos .” <https://www.okteleseguros.pt/simulador/aut/> (accessed Nov. 29, 2020).
- [68] C. Harto, “Electric Vehicle Ownership Costs : Chapter 2 — Maintenance,” 2020.
- [69] Instituto Nacional de Estatística, “Inquérito à Mobilidade na Área Metropolitana de Lisboa,” 2018.
- [70] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Venda de Combustíveis Por Município - 2017,” 2017.
- [71] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Estrutura de Preços dos Combustíveis em Portugal Continental.” 2020.
- [72] Diário da República, “Despacho n.º 3169/2020,” 2020. [Online]. Available: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/130070443/details/normal?l=1>.
- [73] Diário da República, “Deliberação n.º 1322-C/2019,” 2019. [Online]. Available: <https://dre.pt/home/-/dre/127442488/details/maximized>.
- [74] E. C. EuroStat, “Electricity prices, first semester of 2017-2019 (EUR per kWh),” 2019. Accessed: Nov. 25, 2020. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices,_first_semester_of_2017-2019_\(EUR_per_kWh\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices,_first_semester_of_2017-2019_(EUR_per_kWh).png).
- [75] IMTT, “TVDE,” 2021. <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/TransportesRodoviaros/TVDE/Paginas/TVDE.aspx> (accessed Feb. 24, 2021).
- [76] Metropolitano de Lisboa, “Relatório e Contas 2019,” Lisboa, 2019. Accessed: Mar. 10, 2021. [Online]. Available: https://www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/2020/10/ML_RC_2019.pdf.
- [77] CP, “Relatório e Contas 2019,” Lisboa, 2019. Accessed: Mar. 10, 2021. [Online]. Available:

- https://www.cp.pt/StaticFiles/Institucional/1_a_empresa/3_Relatorio_Contas/2019/relatorio-contas-2019.pdf.
- [78] Carris, “Relatório e Contas 2018,” Lisboa, 2018.
- [79] J. Coutinhas, *TAXI - Monografia Portuguesa | PPL*. Braga, 2014.
- [80] Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, “Táxis em Portugal 2006-2017 | Observatório dos Mercados da Mobilidade, Preços e Estratégias Empresariais,” 2017. Accessed: Mar. 11, 2021. [Online]. Available: <http://taxis.amt-autoridade.pt/#/%23licencas>.
- [81] Taxis Lisboa, “Preços Taxis de Lisboa ,” 2021. <https://taxislisboa.com/tarifas/> (accessed Mar. 11, 2021).
- [82] Uber, “Sobre nós | Uber,” 2021. https://pt.uber.com/pt-pt/about/?_ga=2.70035285.45852949.1615369764-1017281836.1615369764&uclid_id=445e0708-7fd5-4fa3-b855-74e71fe2a4f1 (accessed Mar. 11, 2021).
- [83] I. Pinto Miguel, “Crescimento das trotinetes é insustentável,” *O Jornal Económico*, Lisboa, Aug. 17, 2019.
- [84] A. C. Peixoto, “1,8 milhões de viagens Lime depois: ‘É normal que haja cada vez menos empresas de trotinetes’ – Observador,” *Observador*, Lisboa, Oct. 22, 2019.
- [85] UVE, “Empresas de Partilha de Trotinetes Elétricas ,” 2020. <https://www.uve.pt/page/partilha-trotinetes-eletricas-2020/> (accessed Mar. 10, 2021).
- [86] Gira, “Gira – Bicicletas de Lisboa,” 2021. <https://www.gira-bicicletasdelisboa.pt/> (accessed Mar. 10, 2021).
- [87] Gira - Bicicletas de Lisboa, *Termos e Condições de Utilização do Serviço Gira*. 2021.
- [88] Free Now, “Free Now | Tabela de Preços,” Lisboa, 2021.
- [89] Bolt, “Bolt | Cidades - Lisboa,” 2021. <https://bolt.eu/pt-pt/cities/lisbon/> (accessed Mar. 12, 2021).
- [90] Frog, “Frog - A moldar o futuro da micro mobilidade - Frog,” 2021. <https://www.gofrog.city/?lang=pt> (accessed Jun. 21, 2021).
- [91] Bird, “Bird - Enjoy the Ride,” 2021. <https://www.bird.co/> (accessed Jun. 21, 2021).
- [92] Lime, “Lime,” 2021. <https://www.li.me/pt/> (accessed Mar. 10, 2021).
- [93] ECooltra, “Preços | eCooltra – Scooter sharing,” 2021. <https://www.ecooltra.com/pt/precos/> (accessed Mar. 10, 2021).
- [94] Wyze Mobility, “WYZE Mobility | FAQs,” 2021. <https://wyzemobility.com/faqs/> (accessed Mar. 12, 2021).
- [95] INE - Instituto Nacional de Estatística, “Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa - 2017,” 2018. [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=349495406&PUBLICACOESmodo=2.
- [96] Metropolitano de Lisboa, “Relatório de Sustentabilidade 2016,” Lisboa, 2016. Accessed: Jun. 21, 2021. [Online]. Available: https://www.metrolisboa.pt/institucional/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/MetropolitanodeLisboa_RelatoriodeSustentabilidade2016.pdf.
- [97] CP, “Relatório de Sustentabilidade 2019 | CP,” 2019.
- [98] INE, “Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa Predomínio do automóvel nas deslocações dos residentes das Áreas Metropolitanas de Porto e Lisboa,” pp. 1–22, 2018.
- [99] Câmara Municipal de Lisboa, *Move Lisboa*. Portugal, 2020.
- [100] Diário da República, “Decreto-Lei n° 85/2019,” Jul. 2019.
- [101] E. Commission, *Regulamento (UE) n° 459/2012*. 2012.

- [102] Carris, “Os nossos números,” 2021. <https://www.carris.pt/a-carris/empresa/os-nossos-numeros/> (accessed Jun. 22, 2021).
- [103] Carbon Footprint, “carbonfootprint.com - Carbon Footprint Calculator,” 2021. <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx> (accessed Jul. 19, 2021).
- [104] R. Beck, C. Müller-Bloch, J. L. King, and J. Thatcher, “Governance in the Blockchain Economy: A Framework and Research Agenda,” *J. Assoc. Inf. Syst.*, no. 10, pp. 1020–1034, 2018, doi: 10.17705/1jais.00518.

ANEXO.1 PADRÃO EUROPEU DE EMISSÕES

Categoria	Classe	Massa de referência (RM) (kg)	Valores limite													
			Massa de monóxido de carbono (CO)		Massa total de hidrocarbonetos (THC)		Massa de hidrocarbonetos não metânicos (NMHC)		Massa de óxidos de azoto (NO _x)		Massa combinada de hidrocarbonetos e óxidos de azoto (THC + NO _x)		Massa de partículas (PM) (1)		Número de partículas (PN)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)		L ₆ (#/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI (2)	CI	PI (2) (3)	CI
M	—	Todas	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	4,5	4,5	6,0 × 10 ¹¹	6,0 × 10 ¹¹
N ₁	I	RM ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	4,5	4,5	6,0 × 10 ¹¹	6,0 × 10 ¹¹
	II	1 305 < RM ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	4,5	4,5	6,0 × 10 ¹¹	6,0 × 10 ¹¹
	III	1 760 < RM	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	4,5	4,5	6,0 × 10 ¹¹	6,0 × 10 ¹¹
N ₂	—	Todas	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	4,5	4,5	6,0 × 10 ¹¹	6,0 × 10 ¹¹

Legenda: PI = ignição comandada, CI = ignição por compressão

(1) Um limite de 5,0 mg/km para as emissões de massa de partículas é aplicável aos veículos homologados no que se refere aos limites de emissão do presente quadro mediante o protocolo de medição de massa de partículas anterior, antes de 1.9.2011.

(2) Os limites de massa e de número de partículas para motores de ignição comandada aplicam-se apenas aos veículos com motores de injeção direta.

(3) Até três anos a contar das datas previstas no artigo 10.º, n.ºs 4 e 5, para novas homologações e para veículos novos, respetivamente, um limite de emissão do número de partículas de 6,0 × 10¹² #/km é aplicável aos veículos abrangidos pela norma Euro 6 de ignição comandada de injeção direta, ao critério do fabricante. Até àquelas datas, impreterivelmente, deverá ser aplicado um método de ensaio de homologação que assegure a efetiva limitação do número de partículas emitidas pelos veículos em condições de condução reais.

Figura A 1 - Limite europeu de emissões euro 6. Fonte: (Regulamento (UE) No 459/2012, 2012)

Categoria de veículo	Designação da categoria de veículo	Classe de propulsão	Nível Euro (4)	Massa de monóxido de carbono (CO)	Massa total de hidrocarbonetos (THC)	Massa de hidrocarbonetos não metânicos (NMHC)	Óxidos de azoto (NO _x)	Massa de partículas (PM)
				L ₁ (mg/km)	L _{2A} (mg/km)	L _{2B} (mg/km)	L ₃ (mg / km)	L ₄ (mg/km)
L1e-A	Velocípede com motor	PI/CI/ Híbrido	Euro 5	500	100	68	60	4,5 (5)
L1e-B-L7e	Todos os outros veículos da categoria L	PI/PI Híbrido	Euro 5	1 000	100	68	60	4,5 (5)
		CI/CI Híbrido		500	100	68	90	4,5

Figura A 2 - Limite europeu de emissões euro 5 (categoria L). Fonte: (Europeu, 2013)

ANEXO.2 INFORMAÇÃO RETIRADA DO NIR

Tabela A 1 – Percentagem de quilómetros conduzidos (NIR); Velocidade média (NIR); Velocidade calculada para modo ponta e fora de ponta, por modo de condução e tipo de veículo. Fonte: (APA, 2018) e adaptado de (Faria et al., 2019).

Modo tráfego	Veículo	Quilómetros conduzidos (%)	Velocidade NIR (km/h)	Velocidade – Ponta (48,80%) (km/h)	Velocidade – Fora de Ponta (51,20%) (km/h)
Autoestrada	Ligeiro de passageiros	27.73	124	124	124
	Ligeiro de mercadorias	27.73	124	124	124
	Pesado de mercadorias	43.79	103	103	103
	Autocarro	43.79	103	103	103
	Motociclo	27.73	124	124	124
Rural	Ligeiro de passageiros	25.55	61	61	61
	Ligeiro de mercadorias	25.55	61	61	61
	Pesado de mercadorias	19.87	56	56	56
	Autocarro	56.21	56	56	56
	Ciclomotor	35.35	40	40	40
	Motociclo	25.55	61	61	61
Urbano	Ligeiro de passageiros	46.73	24.9	24.5	25.3
	Ligeiro de mercadorias	46.73	24.9	24.9	24.9
	Pesado de mercadorias	36.34	24.9	24.9	24.9
	Autocarro urbano	100	14.8	14.8	14.8
	Autocarro	0	24.9	24.9	24.9
	Ciclomotor	64.65	24.9	24.9	24.9
	Motociclo	46.73	24.9	24.9	24.9

ANEXO.3 DADOS SOBRE COMBUSTÍVEIS

Tabela A 2 - Densidade e energia específica (CV) de diferentes combustíveis. Fonte: (Ntziachristos & Samaras, 2018)

Combustível	Densidade (kg/m ³)	CV (MJ/kg)
Gasolina	750	43.774
Gasóleo	840	42.695
GPL	520	46.564
GNC	175	48.000

ANEXO.4 INFORMAÇÃO REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA BASE DE DADOS CONFIDENCIAL

Tabela A 3 - Correspondência entre categorias de veículos: NIR e base de dados confidencial.

Categoria 1	Valor médio de cilindrada (cm³)	Limite de cilindrada do NIR (cm³) [39]	Categoria equivalente do NIR [39]
Cabrio	2359	>1900	<i>Large-SUV-Executive</i>
Carrinha	1969	>1900	<i>Large-SUV-Executive</i>
Desportivo/Coupé	2703	>1900	<i>Large-SUV-Executive</i>
Monovolume	1761	<1900	<i>Medium</i>
Sedan	2319	>1900	<i>Large-SUV-Executive</i>
SUV/TT	2206	>1900	<i>Large-SUV-Executive</i>
Utilitário	1555	<1600	<i>Small</i>

Tabela A 4 - Número de modelos disponíveis em Portugal (2010/2017) para veículos híbridos plug-in e elétricos. Fonte: (ACAP & Auto Informa, 2018)

Veículos	Número de modelos (2010)	Número de modelos (2017)
Híbridos Plug-in	2	26
Elétricos	3	14

Tabela A 5 - Número de marcas disponíveis em Portugal (2007/2017) para veículos híbridos. Fonte: (ACAP & Auto Informa, 2018)

Veículos	Número de marcas (2007)	Número de marcas (2017)
Híbridos convencionais	3	7

Tabela A 6 - Distinção entre veículos híbridos (HEV) e híbridos plug-in (PHEV) na base de dados confidencial.

Categoria	Combustível	Consumo	Correspondência
Híbrido	Gasolina/Diesel	Sim	HEV
Híbrido	Híbrido	Não	PHEV

ANEXO.5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA O ISV

Tabela A 7 - Simulação do valor de ISV para veículos a gasolina.

Veículos	Cilindrada (cc)	Emissão de CO ₂ (gCO ₂ /km)	ISV (€)
Renault Clio	999	120	570
Citroen C3	1199	127	1185
Renault Captur	999	137	1383
Mercedes Benz Classe A200	1332	143	2553
Mitsubishi Space Star	1193	100	532
Média			1423

Tabela A 8 - Simulação do valor de ISV para veículos a gasóleo.

Veículos	Cilindrada (cc)	Emissão de CO ₂ (gCO ₂ /km)	ISV (€)
Renault Clio	1460	110	3170
Nissan Qashqai	1598	116	4200
Citroen C3	1499	115	3635
Renault Captur	1461	125	4472
Mercedes Benz Classe A160d	1461	127	4791
Média			4054

ANEXO.6 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA O IUC.

Tabela A 9 - Simulação do valor de IUC para veículos a gasolina.

Veículos	Ano de matrícula	Cilindrada (cc)	Emissão de CO ₂ (gCO ₂ /km)	IUC (€)
Renault Mégane II	1981-2007	1461	76	57.73
Opel Astra	1981-2007	1598	99	57.73
Opel Corsa	1981-2007	1229	94	18.42
Média				44.63
Renault Clio	2007-2020	999	120	103.1
Renault Captur	2007-2020	999	137	137.7
Mercedes Benz Classe A200	2007-2020	1332	143	171.7
Média				137.5

Tabela A 10 - Simulação do valor de IUC para veículos a gasóleo.

Veículos	Ano de matrícula	Cilindrada (cc)	Emissão de CO ₂ (gCO ₂ /km)	IUC (€)
Renault Mégane II	1981-2007	1461	76	57.73
Opel Astra	1981-2007	1598	99	57.73
Média				57.73
Renault Clio	2007-2020	1460	110	147.2
Nissan Qashqai	2007-2020	1598	116	147.2
Média				147.2

ANEXO.7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA O SEGURO

Tabela A 11 - Simulação de custo de diferentes seguros por tecnologia.

Veículos	Seguro	
	Responsabilidade Civil (€/ano)	Danos Próprios (€/ano)
Renault Clio III	228.62	315.01
Opel Corsa	213.68	300.06
Renault Megane II	254.73	341.02
Peugeot 207	225.33	311.71
Opel Astra	235.29	321.67
Média	231.53	317.89

ANEXO.8 CUSTO DE ESTACIONAMENTO E DE PORTAGEM

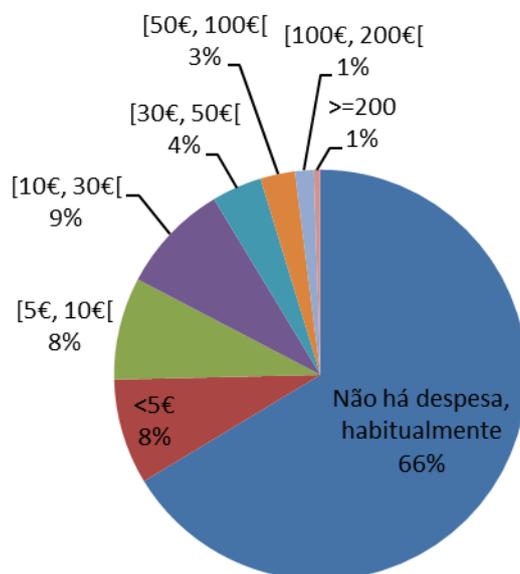


Figura A 3 - Análise às respostas ao inquérito acerca da gama de despesa mensal em estacionamento.

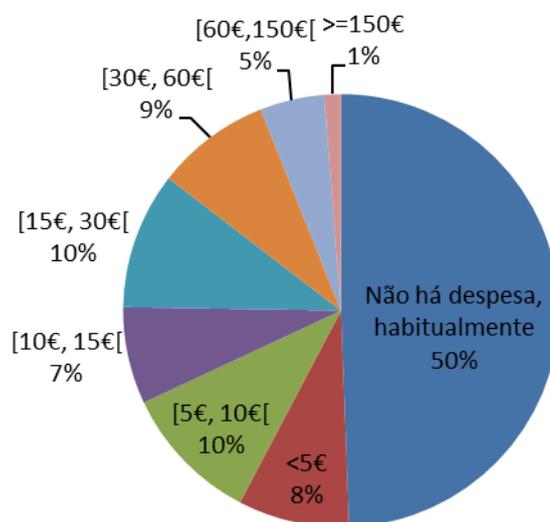


Figura A 4 - Análise às respostas ao inquérito acerca da gama de despesa mensal em portagens.

ANEXO.9 CUSTO MÉDIO PONDERADO DO AUTOMÓVEL PARTILHADO

Tabela A 12 - Cálculo da média ponderada do preço por distância de um táxi.

Distância (km)	Distribuição Viagens Táxi	Distribuição Viagens Diurnas (06h-21h)	Distribuição Viagens Noturnas (21h-06h)	Preço Táxi (€/km)	Preço Médio Ponderado (€/km)
1	1.5%	100.0%	0.0%	3.72	1.23
2	9.7%	93.8%	6.3%	2.12	
3	11.2%	94.6%	5.4%	1.57	
4	17.0%	82.1%	17.9%	1.33	
5	14.6%	81.3%	18.8%	1.16	
6	7.9%	92.3%	7.7%	1.03	
7	5.5%	77.8%	22.2%	0.98	
8	7.3%	87.5%	12.5%	0.90	
9	7.9%	84.6%	15.4%	0.86	
10	4.6%	100.0%	0.0%	0.80	
11	2.7%	100.0%	0.0%	0.77	
12	1.8%	83.3%	16.7%	0.77	
13	0.6%	50.0%	50.0%	0.79	
14	2.7%	77.8%	22.2%	0.73	
15	0.3%	100.0%	0.0%	0.69	
16	1.2%	75.0%	25.0%	0.71	
17	2.4%	75.0%	25.0%	0.69	
...	
25	0.3%	100.0%	0.0%	0.47	
...	
32	0.3%	100.0%	0.0%	0.47	

Tabela A 13 - Cálculo da média ponderada do preço por distância de um TVDE.

Distância (km)	Velocidade média (km/h)	Tempo (min)	Uber (€/km)	Distribuição Viagens Uber	Preço Médio Ponderado (€/km)
1	6	10.29	2.25	1.5%	1.09
2	8	14.25	1.57	9.7%	
3	12	14.84	1.25	11.2%	
4	13	19.10	1.16	17.0%	
5	15	19.87	1.05	14.6%	
6	16	21.92	1.00	7.9%	
7	20	21.00	0.92	5.5%	
8	19	25.85	0.93	7.3%	
9	20	26.88	0.89	7.9%	
10	21	28.20	0.87	4.6%	
11	20	32.51	0.88	2.7%	
12	20	36.38	0.88	1.8%	
13	19	41.33	0.88	0.6%	
14	22	37.90	0.84	2.7%	
15	24	37.14	0.81	0.3%	
16	21	45.40	0.84	1.2%	
17	21	49.42	0.84	2.4%	
...	
25	26	57.22	0.78	0.3%	
...	
29	29	60.02	0.75	0.3%	
...	
32	19	102.18	0.84	0.3%	

ANEXO.10 PRESSUPOSTOS REFERENTES AO IMOB

Tabela A 14 - Velocidade média e repartição modal das deslocações realizadas por metropolitano e comboio.

	Comboio	Metropolitano
Velocidade média (km/h) intramunicípio	16.1	10.7
Velocidade média (km/h) intermunicípio	15.9	10.8
Repartição modal (%) intramunicípio	42	58
Repartição modal (%) intermunicípio	45	55

Tabela A 15 - Taxa de ocupação por modo de transporte na AML.

Modo de Transporte	Taxa de ocupação (pass/veículo)	Fonte
Automóvel (Ponta)	1.23	-
Automóvel (Fora de ponta)	1.26	-
Autocarro	14.55	[78]
Motociclo	1.00	-
Bicicleta	1.00	-
A pé	1.00	-
Comboio	22.20	[77]
Metropolitano	31.00	[76]

ANEXO.11 GRÁFICOS OBTIDOS PARA O CONSUMO E A EMISSÃO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE

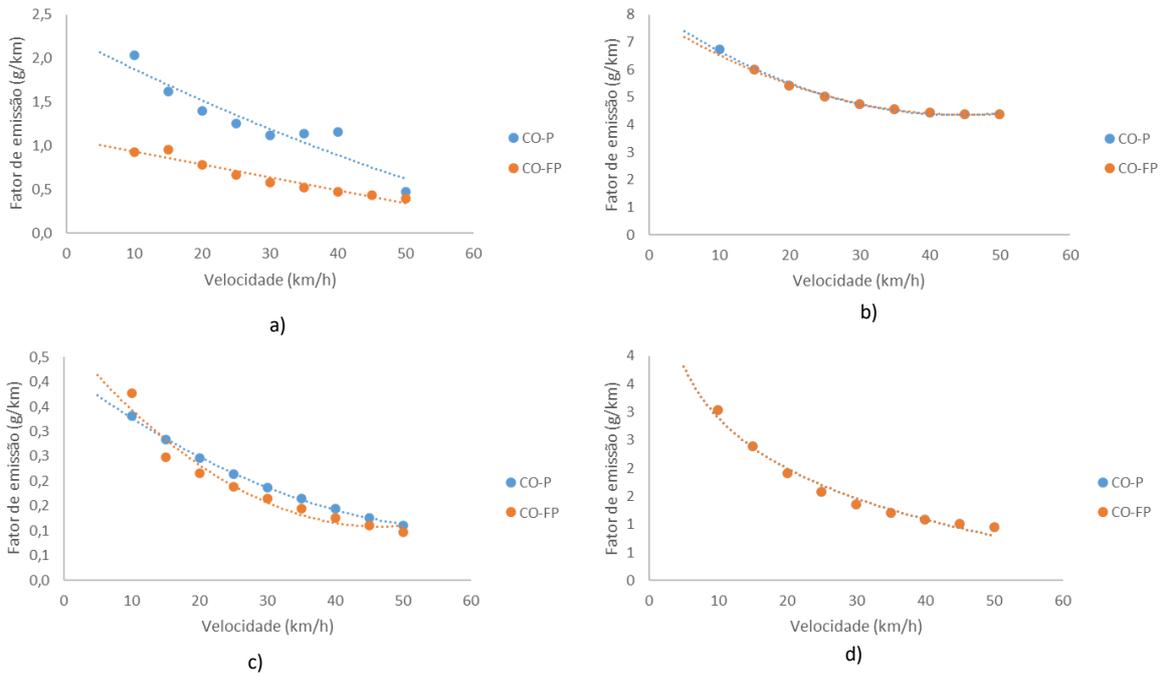


Figura A 5 - Gráficos obtidos para a emissão de CO para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro.

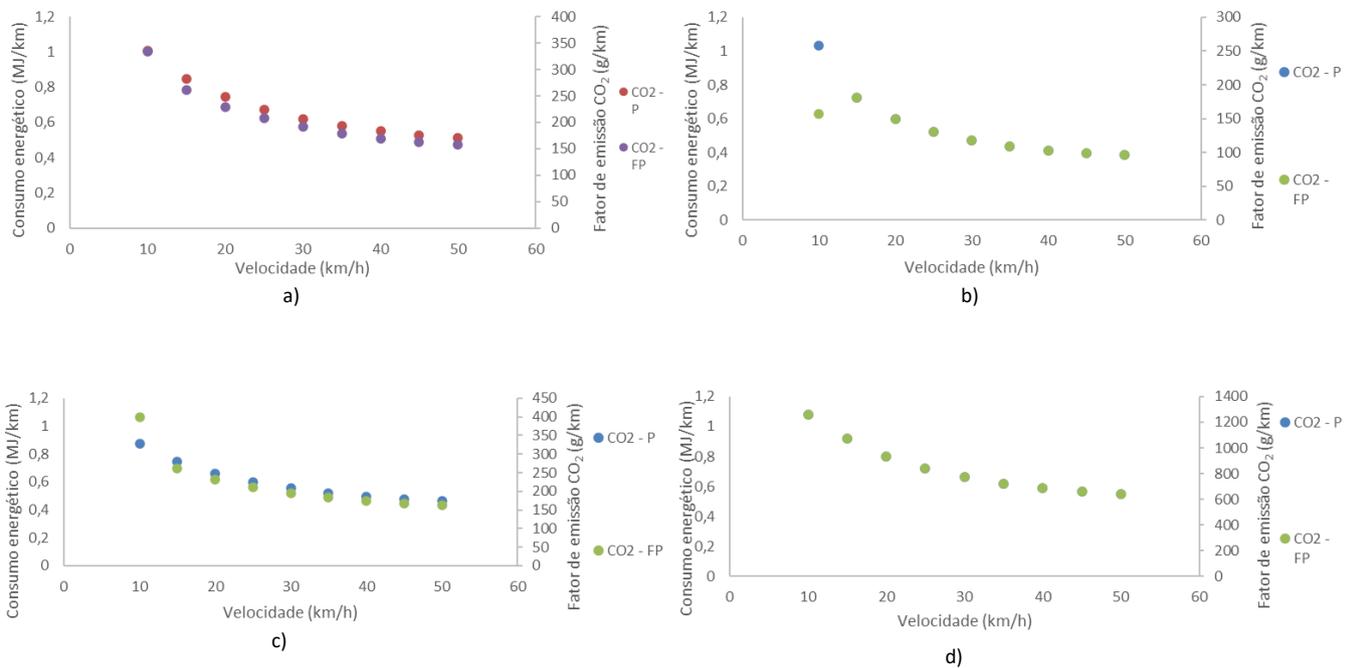


Figura A 6 - Gráficos obtidos para a emissão de CO₂ para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro.

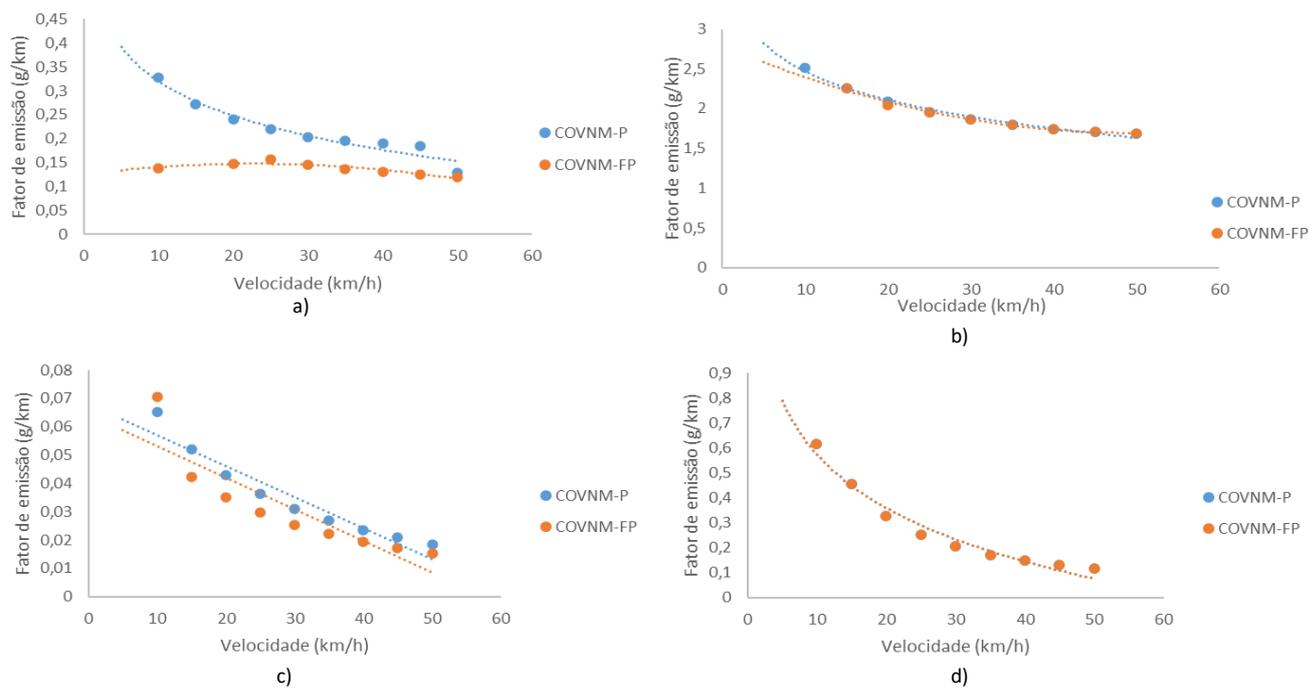


Figura A 7 - Gráficos obtidos para a emissão de COVNM para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro.

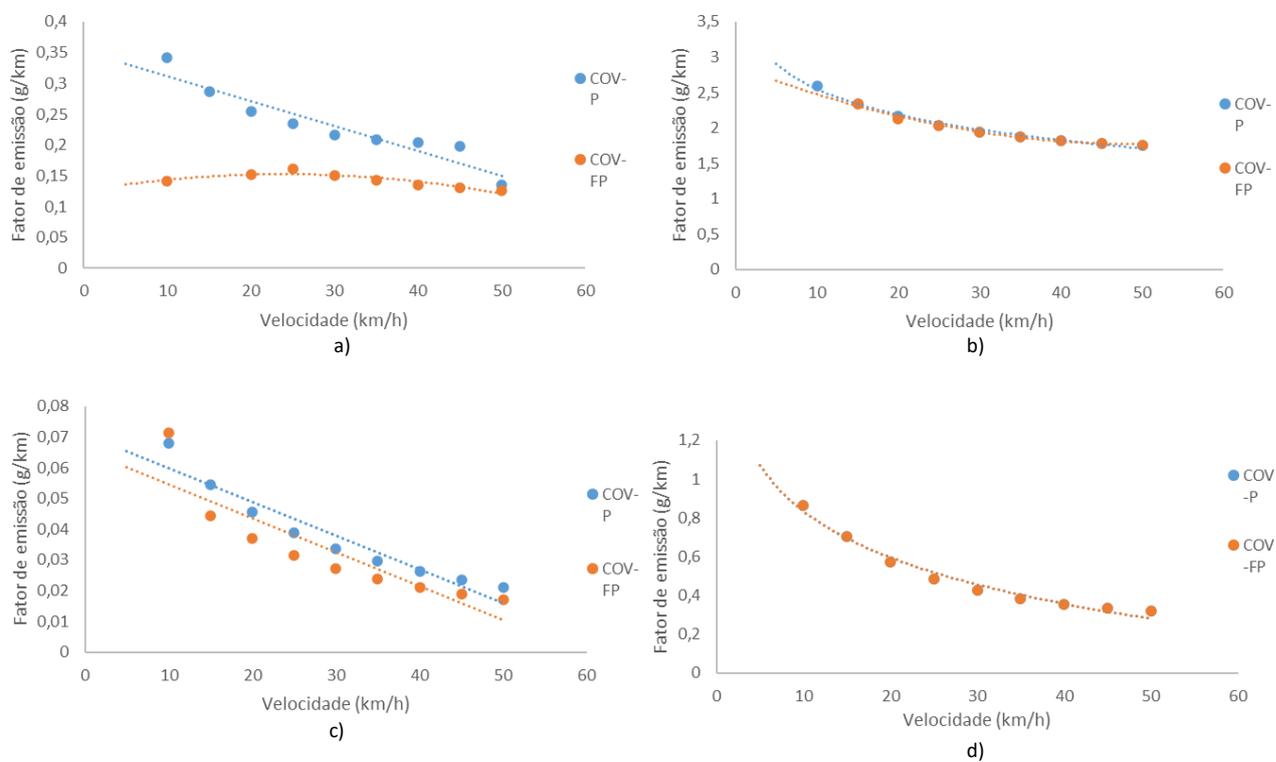
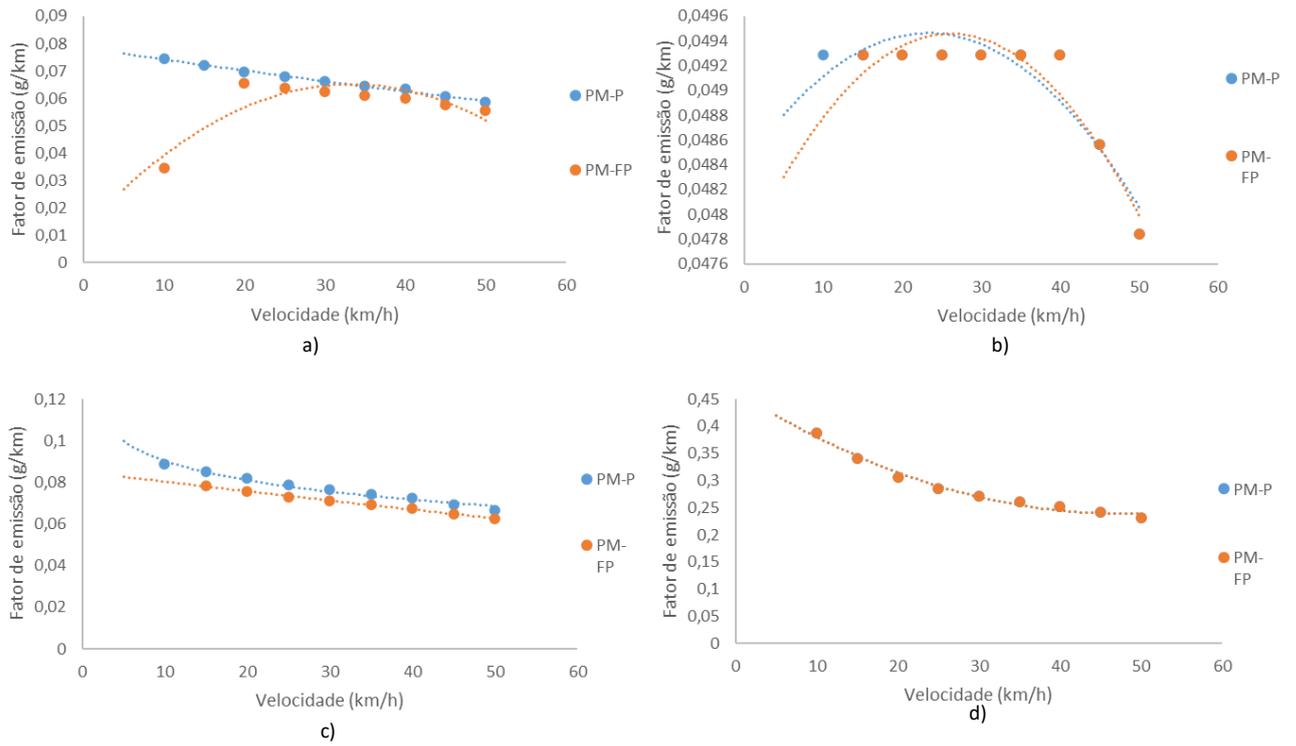


Figura A 8 - Gráficos obtidos para a emissão de COV para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta: a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro.



**Figura A 9 - Gráficos obtidos para a emissão de PM para diferentes modos de transporte em modo ponta e fora de ponta:
a) Automóvel, b) Motociclo, c) Táxi e d) Autocarro.**

ANEXO.12 GRÁFICOS DE EMISSÃO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE: LITERATURA VS RESULTADOS

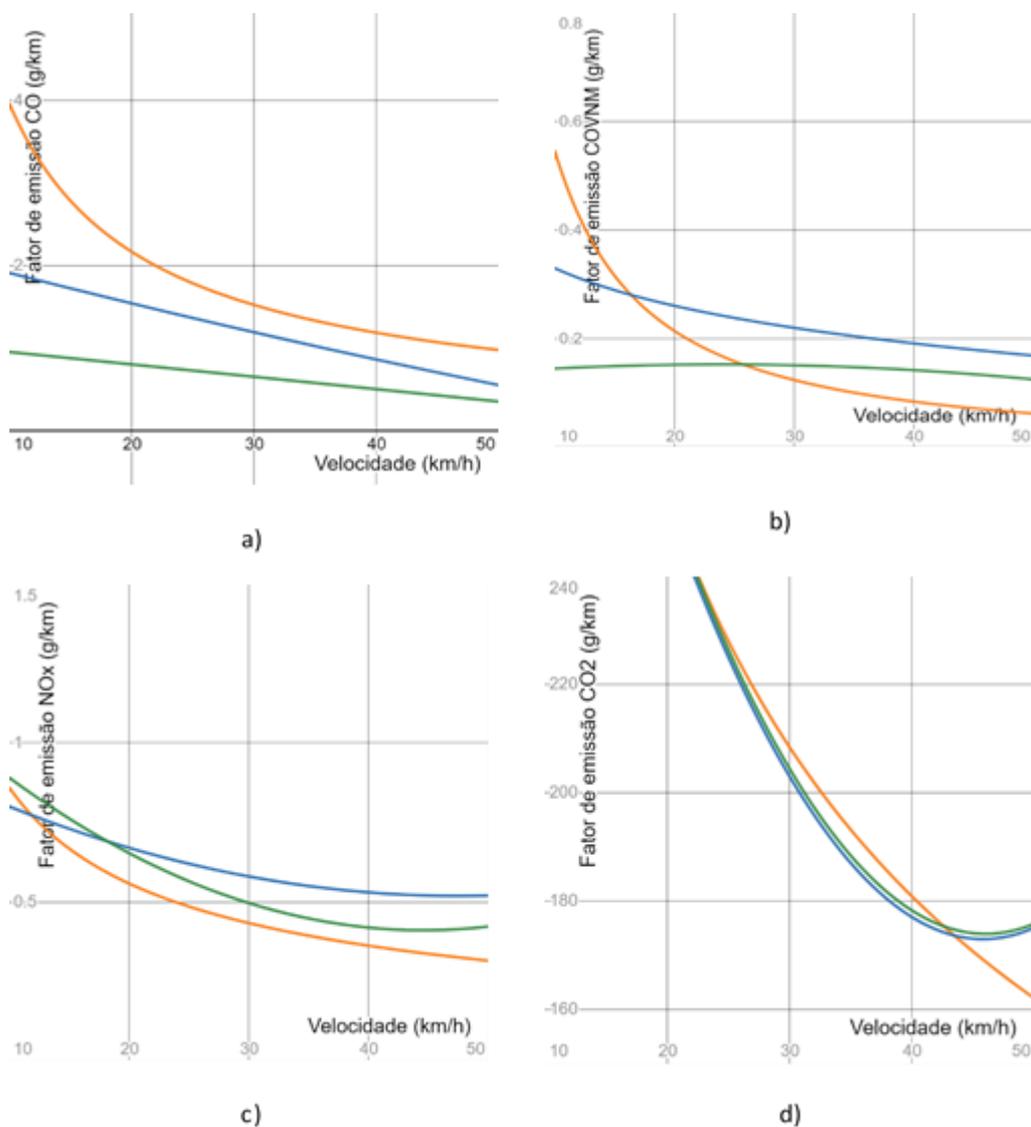
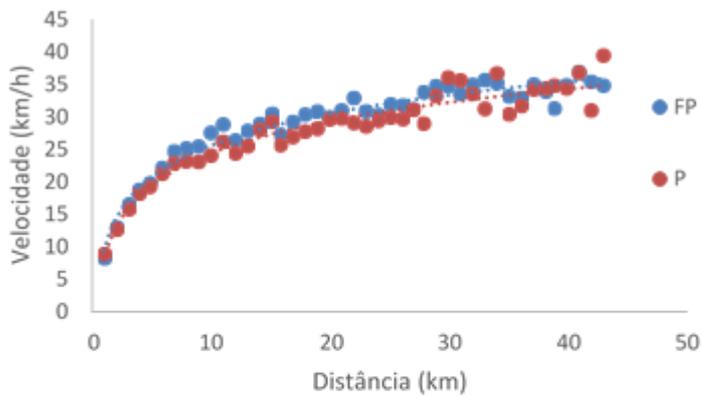
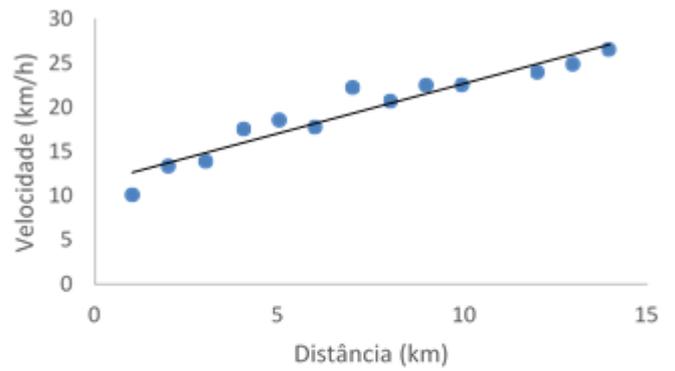


Figura A 10 - Emissão de CO (a), COVNM (b), NOx (c) e CO₂ (d). Fator de emissão (g/km) em função da velocidade (km/h) para veículos ligeiros a gasolina - Função obtida pelo COPERT ponta (Azul), fora de ponta (Verde) e Função da literatura (Laranja).

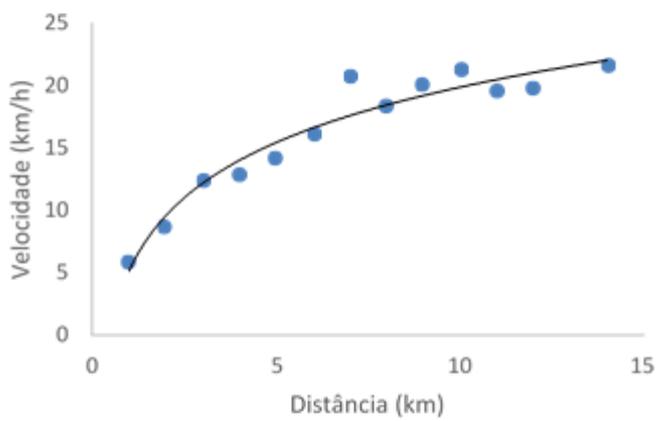
ANEXO.13 GRÁFICOS OBTIDOS PARA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA



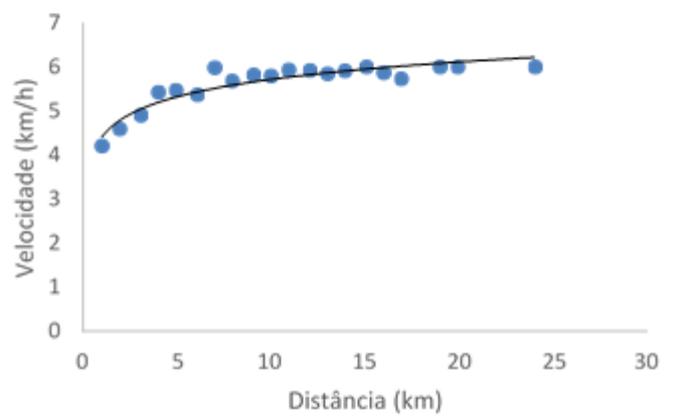
a)



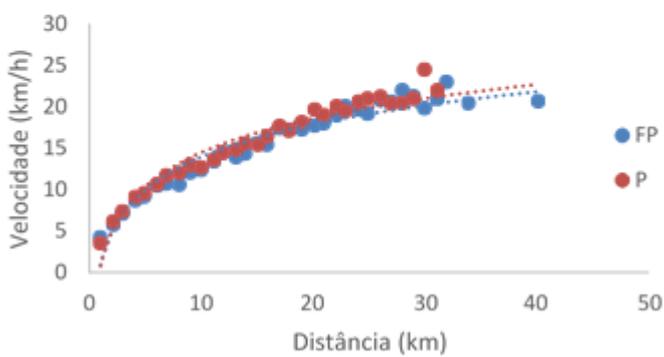
b)



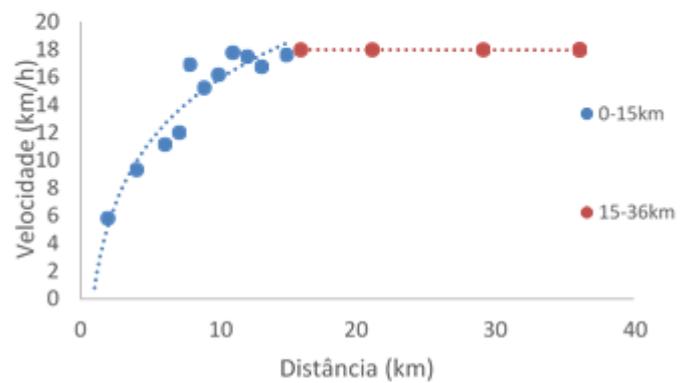
c)



d)

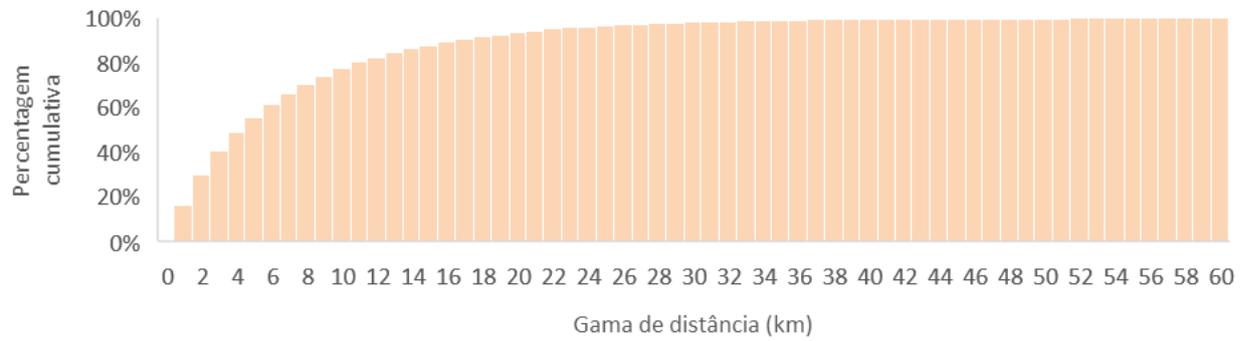


e)



f)

Figura A 11 - Gráficos da velocidade média em função da distância. a) Automóvel; b) Motociclo; c) Táxi; d) A pé; e) Comboio/Metropolitano; f) Bicicleta.

ANEXO.13 HISTOGRAMA PARA GAMAS DE DISTÂNCIA**Figura A 12 - Histograma da amostra para gamas de distância.**

ANEXO.14 GRÁFICOS OBTIDOS PARA O CONSUMO E A EMISSÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA

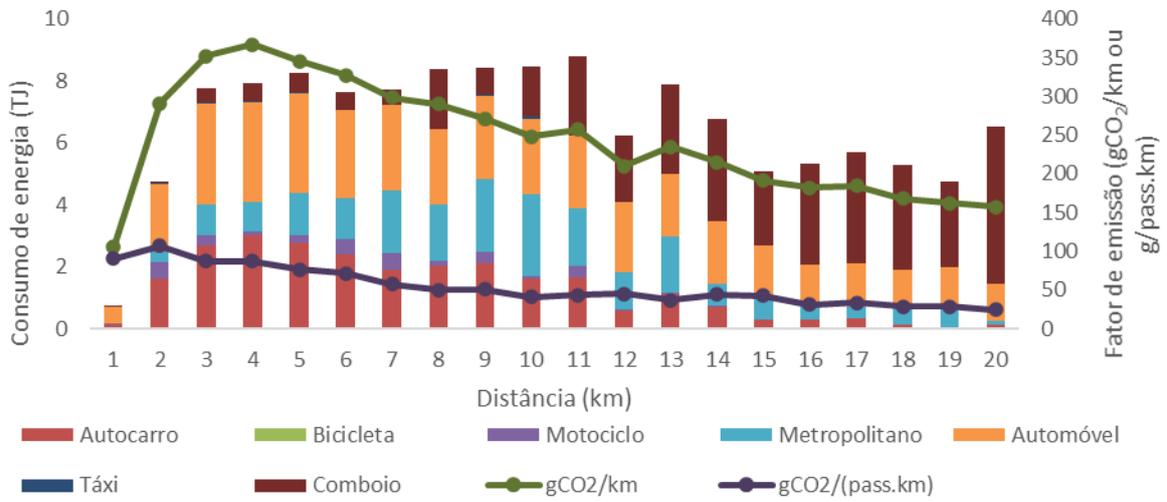


Figura A 13 - Distribuição modal da soma do consumo de energia. Fator médio de emissão de CO₂.

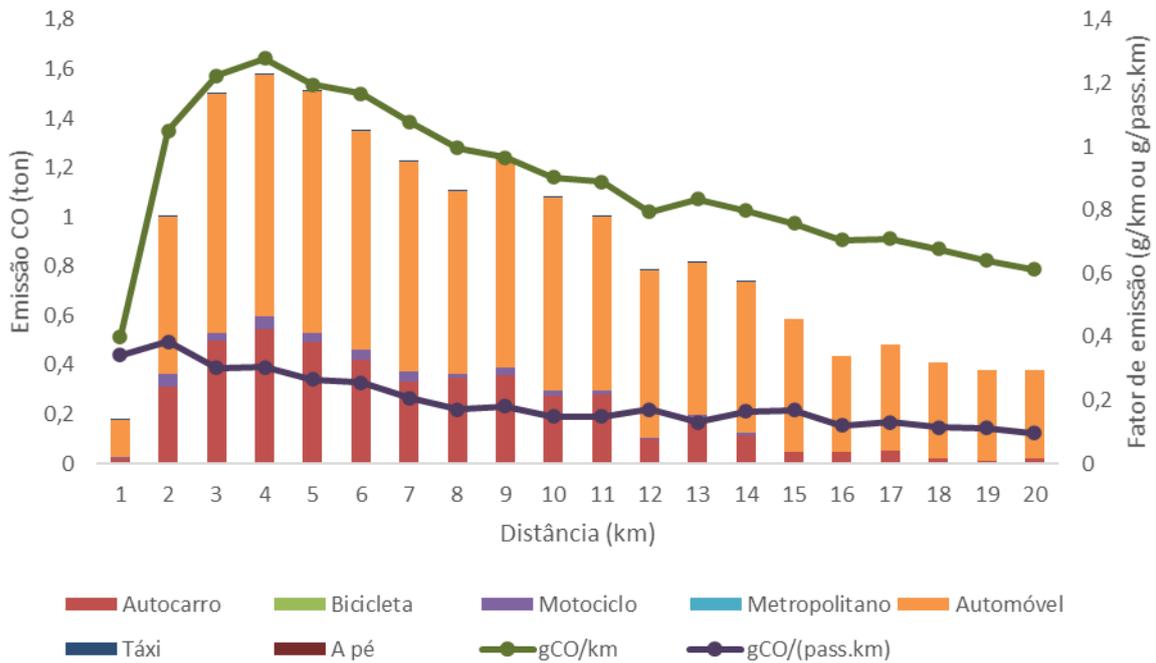


Figura A 14 - Distribuição modal da emissão de CO.

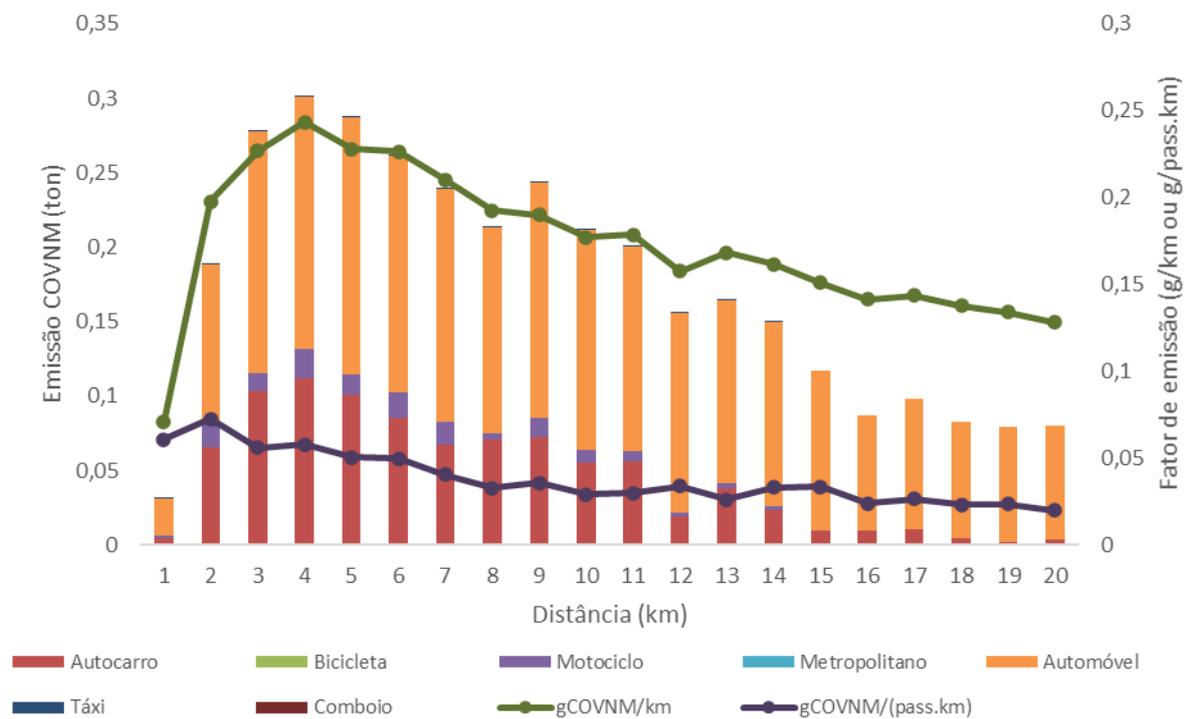


Figura A 15 - Distribuição modal da emissão de COVNM.

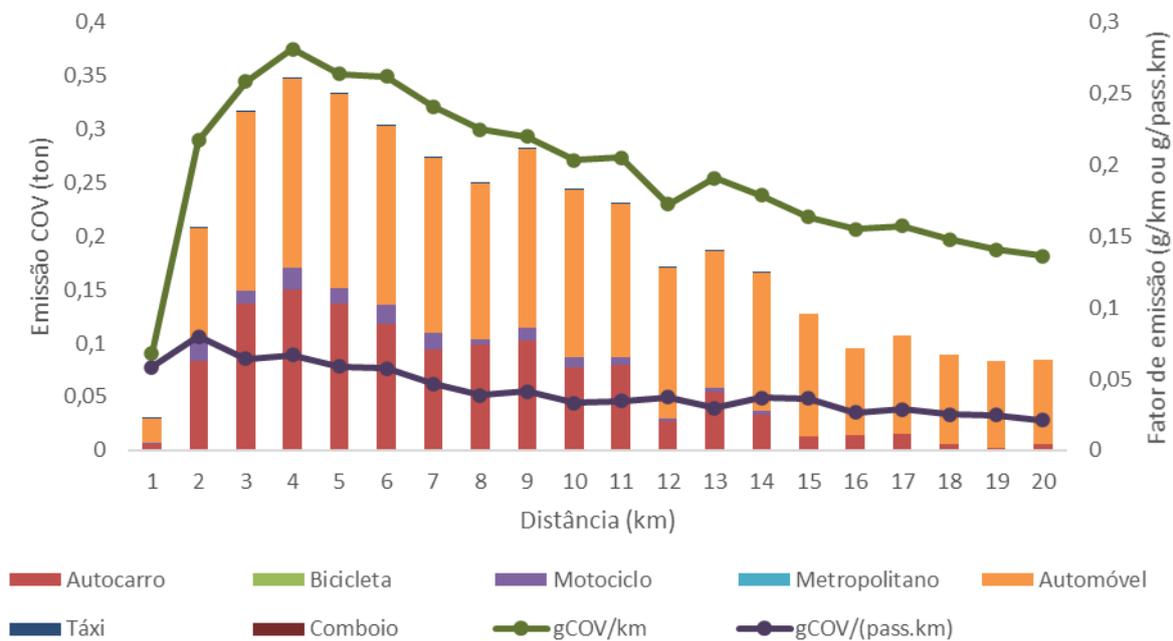


Figura A 16 - Distribuição modal da emissão de COV.

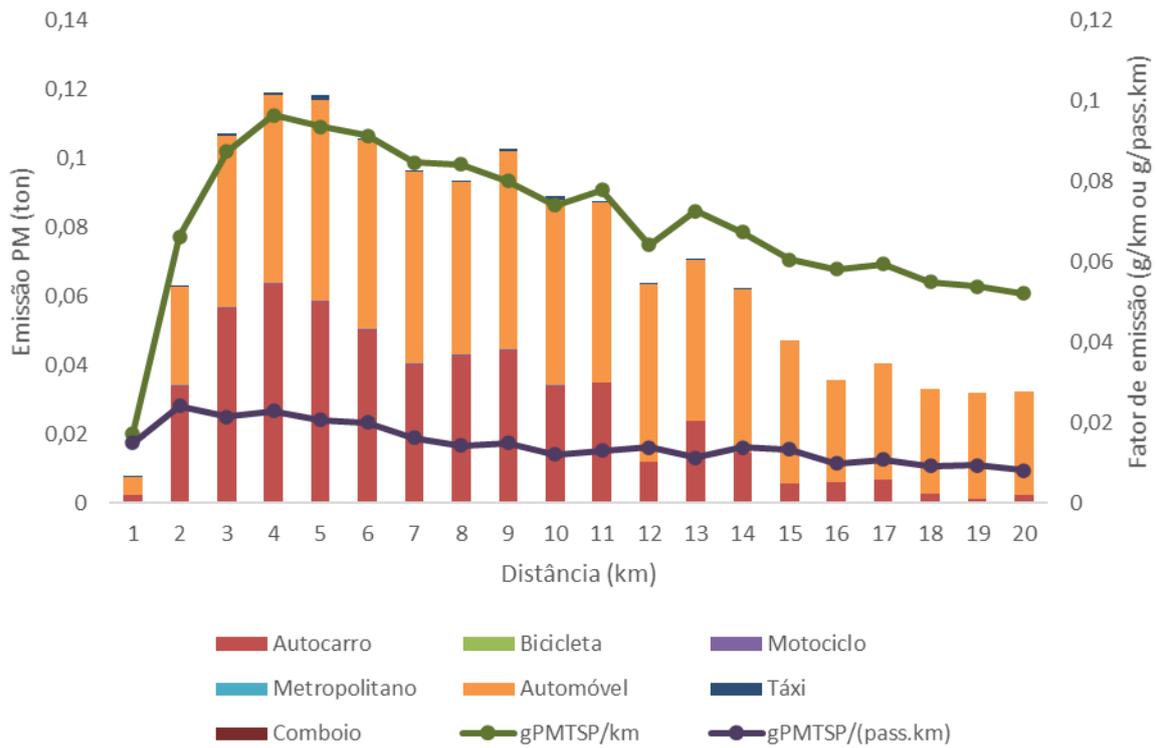


Figura A 17 - Distribuição modal da emissão de PM.

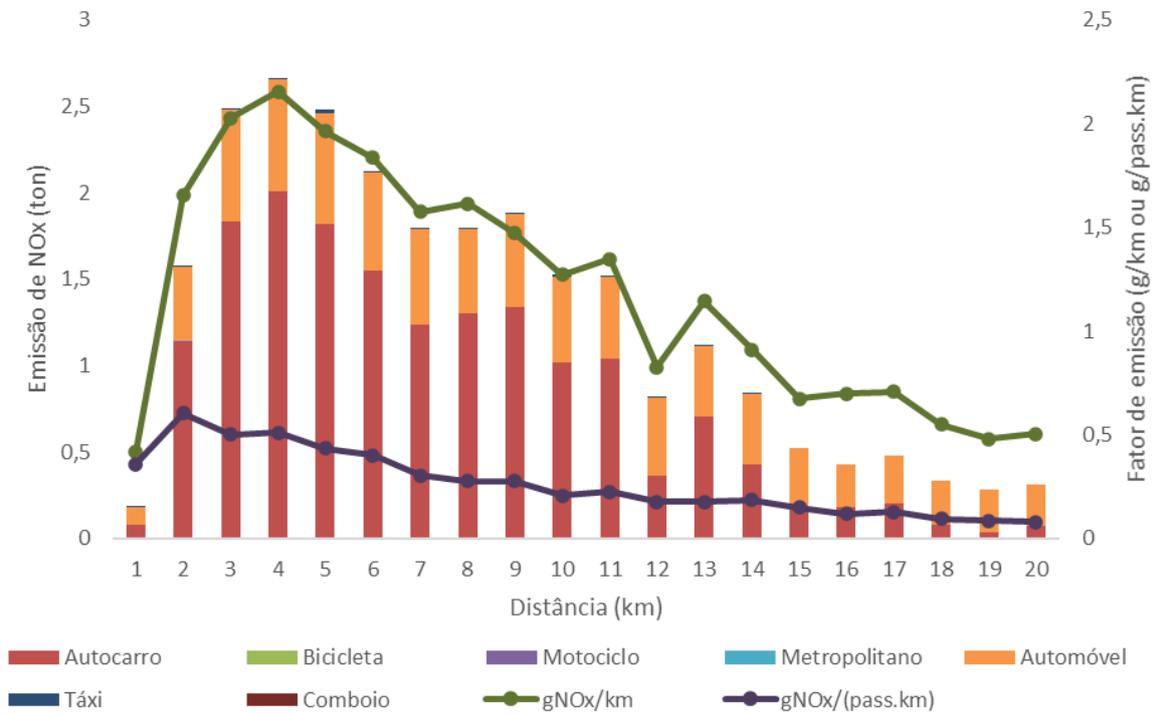


Figura A 18 - Distribuição modal da emissão de NOx.

