



**Análise da viabilidade económico-ambiental da mudança da
mobilidade coletiva urbana convencional para a mobilidade
elétrica: um contributo para o caso de Lousada**

por

Diana Filipa da Silva Ribeiro

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Economia e Gestão do
Ambiente pela Faculdade de Economia do Porto

Orientada por:

Professora Doutora Maria Isabel Soares

Setembro, 2017

Nota biográfica

Diana Filipa da Silva Ribeiro, nascida a 4 de Outubro de 1992 e natural de Lousada. Licenciada em Saúde Ambiental em 2015 pela Escola Superior de Tecnologias da Saúde de Coimbra, com defesa do projeto de investigação final “Exposição ocupacional a poluentes ambientais em espaços de diversão noturna”.

Durante o seu percurso de Licenciatura efetuou estágio curricular na empresa Manuel Martins, Serviços de Engenharia, Lda. sediada em Leiria, fazendo parte integrante dos departamentos de Segurança e Higiene no Trabalho e Segurança Alimentar; e na Administração Regional de Saúde do Centro, Coimbra realizando atividades relacionadas com Saúde Pública.

No ano de 2015 ingressou no Programa ERASMUS + para realização de estágio curricular pela *Univerza v Ljubljani – Faculty of Health Sciences*, situada na Eslovénia.

No ano de 2017 candidatou-se ao título de Mestre pela Faculdade de Economia do Porto em Economia e Gestão do Ambiente.

Agradecimentos

Este espaço é dedicado a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esta dissertação fosse realizada, a eles deixo aqui o meu sincero agradecimento.

À minha orientadora Professora Doutora Maria Isabel Soares, pela ajuda na realização desta dissertação, sem a sua preciosa ajuda a mesma não poderia ser realizada. Pelas conversas de ânimo e carinho nas nossas reuniões.

Aos representantes da Câmara Municipal de Lousada, pela simpatia e disponibilidade.

Ao responsável técnico que me forneceu os dados do concessionário de transportes públicos, apesar de não poderem ser divulgadas identidades, pela sua grande disponibilidade e ajuda.

Aos meus amigos, amigos de infância de longa data e aos mais recentes (alguns deles adquiridos neste último percurso académico), pela ajuda direta ou indireta, pelas vezes que tiveram de ouvir um “não” em função do tempo investido nesta dissertação, e pelas vezes que ouviram um “sim”.

E por último, porque o melhor fica sempre para o fim, à minha família (presente e ausente, infelizmente por circunstâncias da vida, mas sempre presente em pensamento), em especial à minha mãe Maria Ferreira, por todo o esforço e confiança que depositam todos os dias em mim.

Resumo

A emergente necessidade de reduzir a dependência do setor dos transportes em relação aos combustíveis fósseis e conseqüentemente conduzir a reduções de emissões de poluentes para a atmosfera, fez com que surgissem alternativas ao convencional sistema de mobilidade.

Alternativas essas que proporcionam uma melhor qualidade do ar e um melhor ambiente nas cidades, traduzindo-se em benefícios para a saúde pública.

A alternativa que este estudo aborda, é a mobilidade elétrica, sendo esta a alternativa com melhores resultados a nível ambiental. Devido à sua evidente importância a nível de deslocamentos e potencial de desenvolvimento económico das cidades, a opção de transporte público escolhida foram os autocarros urbanos.

Com o intuito de proporcionar a melhor alternativa possível em termos de mobilidade para o Município de Lousada, este estudo teve como principal objetivo compreender a viabilidade da substituição da atual frota de autocarros do Município, tendo em conta as alternativas autocarros convencionais e autocarros elétricos.

No entanto, através da metodologia VAL – Valor Atual Líquido, foi possível constatar que, apesar dos benefícios monetários obtidos pela substituição para autocarros elétricos dos consumos energéticos e dos custos externos associados à poluição do ar por NOx e PM emitidos pelos autocarros convencionais; não é viável do ponto de vista económico-financeiro a substituição da atual frota de autocarros convencionais do Município de Lousada por autocarros elétricos. Devido aos elevados custos de investimento inicial dos mesmos e da falta de apoio governamental por parte de políticas europeias, que incentivem à compra de autocarros elétricos.

Códigos-JEL: G11; I18; Q41; Q52; Q53; Q58; R42 e R48.

Palavras-chave: Mobilidade elétrica; Desenvolvimento Sustentável; Poluição do ar; Análise de investimentos.

Abstract

The emerging need to reduce the dependence of the transport sector on fossil fuels and consequently lead to reductions of emissions of pollutants into the atmosphere has led to the emergence of alternatives to the conventional mobility system.

These alternatives provide better air quality and a better environment in cities, translating into public health benefits.

The alternative that this study will address is electric mobility, which is the alternative with better environmental results. Due to their obvious importance in terms of travel and their potential for the economic development of cities, the preferred choice of public transport were urban buses.

With the purpose of providing the best possible alternative in terms of mobility for the Town of Lousada, this study's main objective was to understand the feasibility of replacing the town's current bus fleet, taking into account both conventional buses and electric buses as alternatives.

However, through the NPV - Net Present Value methodology, it was possible to verify that, in spite of the financial benefits obtained by the change to electric buses as well as the energy consumptions and external costs associated to air pollution by NO_x and PM emitted by the conventional buses; from the economic-financial point of view it is not feasible to replace the current fleet of conventional buses in the Town of Lousada by electric buses. This is due to high costs related to the initial acquirement of the latter and to the lack of governmental support from European policies, which would encourage the purchase of electric buses.

JEL-codes: G11; I18; Q41; Q52; Q53; Q58; R42 e R48.

Key-words: Electric mobility; Sustainable development; Air pollution; Investment analysis.

Índice

| | |
|---|------|
| Nota biográfica | i |
| Agradecimentos | ii |
| Resumo | iii |
| Abstract | iv |
| Índice de tabelas..... | vii |
| Índice de figuras..... | viii |
| Lista de abreviaturas e siglas | ix |
| Capítulo 1. Introdução | 1 |
| 1.1-Enquadramento e Motivação | 1 |
| 1.2-Objetivos..... | 6 |
| 1.3-Estrutura da dissertação | 7 |
| Capítulo 2. Revisão de Literatura | 9 |
| 2.1-Impacte dos transportes no consumo de energia e respetivo impacte ambiental ... | 9 |
| 2.2-Necessidade de reduzir o transporte individual em favor do transporte coletivo, em termos de desenvolvimento sustentável..... | 13 |
| 2.3-Mobilidade elétrica como alternativa ao transporte individual e coletivo convencional | 15 |
| Capítulo 3.Experiência internacional na reorganização dos transportes públicos urbanos num contexto de mobilidade elétrica | 19 |
| Capítulo 4. Descrição do local de estudo..... | 28 |
| Capítulo 5. Metodologia | 32 |
| 5.1-Viabilidade Económica | 33 |
| 5.1.1- Cálculos da variação de consumo de combustível pelas alternativas autocarros convencionais e autocarros elétricos (€)..... | 34 |
| 5.1.1.1- Cálculo do custo da energia consumida pelos veículos que usam combustível convencional | 34 |
| 5.1.1.2- Cálculo do custo da energia consumida por veículos elétricos | 34 |
| 5.1.2- Cálculo da variação da despesa de manutenção | 34 |
| 5.2-Viabilidade Ambiental..... | 35 |
| 5.2.1- NOx e PM..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 5.2.2- Custos Externos | 36 |
| 5.2.3- Diretiva Eurovinheta | 37 |
| 5.2.3.1- Fator de Emissão – EF..... | 38 |
| 5.2.3.2- Custo de um poluente – PC | 39 |
| 5.3- Avaliação, em termos económicos e ambientais da viabilidade da substituição da atual frota de autocarros de Lousada, considerando as alternativas: convencional e elétrica..... | 40 |
| Capítulo 6. Resultados e Discussão | 42 |
| Capítulo 7. Conclusão..... | 53 |
| Referências bibliográficas..... | 55 |
| Anexos | 66 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Dados da frota de autocarros da Câmara Municipal de Lousada. | 32 |
| Tabela 2: Dados fornecidos pelo concessionário de transportes públicos..... | 33 |
| Tabela 3: Custos energéticos no ano de 2015 (Fonte: PORDATA 2016a, 2016b) | 34 |
| Tabela 4: Metodologia de estimação de custos externos de externalidades ambientais – Poluição do ar (Fonte: Korzhenevych et al. 2014) | 37 |
| Tabela 5: Fatores de Emissão dos poluentes NOx e PM com a categoria de veículo Autocarro Urbano, no ano 2010 (Fonte: HBEFA, 2017) | 39 |
| Tabela 6: Custos por Kg de emissão para o tráfego rodoviário em 2010 (Fonte: Brandt et al. 2010) | 40 |
| Tabela 7: Variação do consumo de combustível entre autocarros convencionais e elétricos, em função da frota do Município de Lousada..... | 43 |
| Tabela 8: Variação da despesa de manutenção, entre autocarros convencionais e elétricos..... | 44 |
| Tabela 9: Variação do custo de poluição atmosférica entre autocarros convencionais e elétricos, em função da frota do Município de Lousada..... | 45 |
| Tabela 10: Descrição das variáveis utilizadas no cálculo do VAL..... | 48 |
| Tabela 11: <i>Cash-flow</i> operacional atualizado ao ano 1, 5, 10 e 15..... | 49 |
| Tabela 12: Cálculo do VAL..... | 49 |
| Tabela 13: Descrição das variáveis utilizadas no cálculo do VAL – Cenário alternativo | 51 |
| Tabela 14: Cálculo do VAL – Cenário alternativo | 52 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Proporção da procura de energia dos transportes por modo em 2014 (%) (Fonte: CE, 2016) | 9 |
| Figura 2: Evolução das emissões de gases com efeito de estufa por setor (1990 = 100), UE28 (Fonte: CE, 2016) | 11 |
| Figura 3: Divisão territorial da região: NUTS III e Municípios (Fonte: INE, 2016a).... | 28 |

Lista de abreviaturas e siglas

CO₂ – dióxido de carbono

db (A) – decibel

GEE – Gases com Efeito de Estufa

g/Vehkm – gramas por veículo por quilómetro

kg – quilograma

km – quilometro

kW – quilowatt

kWh – quilowatt por hora

l/dia – litros por dita

Mtep – milhares de tep

N – azoto

NO_x – óxido de azoto

PIB – Produto Interno Bruto

PM – matéria particulada

S – enxofre

SO₂ – dióxido de enxofre

t/dia – tonelada por dia

tep – tonelada equivalente ao petróleo

EU – União Europeia

VAL – Valor Atual Líquido

VAB – Valor Acrescentado Bruto

V2G – Vehicle - to - grid

µm – micrómetro

Capítulo 1. Introdução

1.1- Enquadramento e Motivação

Os meios de transporte são considerados elementos estratégicos para o desenvolvimento económico e social de determinada sociedade pois garantem o seu suporte material, interferindo desta forma na qualidade de vida da população, que depende fulcralmente da necessidade de deslocação para ter acesso a bens e serviços (Alvez 2013).

Através dos transportes conseguimos aproximar as distâncias tanto em termos de tempo como de custos, pois estes permitem a circulação de pessoas, de bens e matérias-primas como de dinheiro e informações. Assim, a capacidade de mobilidade é um dos fatores que determina e propaga a (re) organização social, económica, política e cultural. Ou seja, quanto maior for o crescimento social, económico, político e cultural; maior será a pressão sobre os meios de transporte (Gonçalves, 2012).

Desta forma, entende-se que o desenvolvimento dos transportes é um bom indicador quanto ao nível de desenvolvimento de um país. Sendo um dos fatores que destaca as diferenças entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (Gopinath e Upadhyay 2002).

Para além disso, os meios de transporte representam uma elevada importância em termos de empregabilidade, pois, segundo a UE (União Europeia), os transportes representam 4,8% do VAB (Valor Acrescentado Bruto) dos 28 países do seu conjunto (ou seja, 548 biliões de €), e oferecem mais de 11 milhões de postos de trabalho na Europa. Sendo considerado desta forma, um setor económico de elevada importância (UE, 2014).

Em busca de uma maior mobilidade a preços mais reduzidos, e a uma diminuição de tráfego automóvel e conseqüente menor ocupação de espaço por carros, surge o transporte público coletivo, representando uma grande mudança face à mobilidade pessoal. Resultando numa redução da probabilidade de acidentes, e numa redução de emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa), levando a uma maior sustentabilidade.

Segundo a UITP - International Association of Public Transport (2016), o transporte público ajuda a desencadear o potencial de desenvolvimento económico das cidades, afetando diretamente a qualidade de vida das mesmas. Apoiando o acesso dos cidadãos a oportunidades mais amplas de emprego, a atividades que podem participar e a locais onde podem ir. Definindo assim, as alternativas de deslocamento que os habitantes têm à sua disposição.

A alternativa de deslocamento coletiva abordada neste estudo será os autocarros públicos, devido à sua evidente importância. Estes são considerados como a “verdadeira espinha dorsal do transporte coletivo”, representando 80% de todas as viagens de passageiros de transporte público do mundo. Atingindo em média um total de 16 horas diárias em andamento, enquanto o veículo particular atinge menos de 1 hora por dia (Glotz-Richter et al. 2016). Sendo que, de acordo com o Relatório TERM (Transport and Environment Reporting Mechanism) de 2016 e dadas as atuais tendências, estima-se que o setor de transporte de passageiros cresça cerca de 40% entre 2010 e 2050 (AEA, 2016a).

No entanto, nem só benefícios advém deste setor. Segundo a Comissão Europeia, as emissões produzidas pelos transportes representam cerca de 20% das emissões de GEE da UE (CE, 2011a). Onde os camiões e autocarros são responsáveis por cerca 1/4 das emissões de CO₂ (dióxido de carbono) provenientes do transporte rodoviário e cerca de 6% das emissões totais da UE (CE, 2014a) (CE, 2014b). Apesar dessas emissões terem diminuído 3,3% em 2012, elas continuam 20,5% maiores do que em 1990. Sendo o setor dos transportes, o único setor da UE, que as emissões de GEE têm a tendência de aumentar, em vez de diminuir (CE, 2014a).

Num futuro próximo, entre 2030 a 2050, a Agência Europeia do Ambiente, prevê que se os transportes de passageiros e as emissões de gases com efeito de estufa continuarem a aumentar com o crescimento económico, consequentemente as emissões de GEE aumentarão em 15% acima dos níveis de 1990 (AEA, 2016a).

Uma das diferenças do setor dos transportes em relação aos outros setores, levando-o a níveis tão críticos de emissões, é a sua dependência pelos derivados do petróleo, que contribuem afincadamente para a dependência energética do país. Apesar de

apresentarem algumas melhorias em termos de eficiência energética, a UE depende em grande medida dos combustíveis fósseis para alimentar o seu setor de transportes. Visto que, os combustíveis à base de petróleo perfazem um total de cerca de 96% do abastecimento energético total do setor, e englobando todas as formas de transporte, o transporte rodoviário é de longe o principal consumidor (CE, 2014b). Sendo que, a produção de energia a partir de combustíveis fósseis tem sempre associada a emissão de poluentes atmosféricos, como o CO₂, o NO_x (óxido de azoto) e as PM (matéria particulada) (Wallington, et al. 2008).

As emissões de CO₂ para atmosfera são praticadas por alguns processos naturais, por incêndios florestais, mas principalmente pela combustão de combustíveis fósseis. No ciclo natural da terra e em condições normais de emissão, parte deste gás é absorvido pelas florestas e pelos oceanos, não chegando a ser emitido para a atmosfera. Um aumento da taxa de consumo de combustíveis fósseis e consequente aumento da taxa de emissões de CO₂, leva a que os seus sumidouros naturais deixem de conseguir absorver, ao ritmo que este é emitido. Causando níveis elevados de CO₂ na atmosfera, provocando um efeito de estufa com resultados ao nível das alterações climáticas (NOAA, 2012).

As alterações climáticas são uma ameaça aos elementos básicos de vida, com impactes generalizados nos sistemas humanos e naturais, e consequências em todos os continentes e oceanos. Estas levam a um aumento da temperatura da atmosfera e das águas dos oceanos, provocando uma diminuição na quantidade de neve e gelo e consequente aumento do nível das águas do mar e aumento do número de eventos de precipitação abundante em várias regiões (IPCC 2014).

De acordo com Stern (2006), para além de provocarem graves consequências no bem-estar humano e na sociedade, as alterações climáticas podem provocar também graves consequências no crescimento económico de um país. Consequências essas, que podem representar uma estimativa de 20% ou mais de danos no PIB (Produto Interno Bruto) mundial, onde os países mais pobres serão mais cedo e mais fortemente afetados.

Para que se cumpram as metas da UE em assuntos relacionados com as alterações climáticas será necessário diminuir abruptamente as emissões produzidas pelos

transportes, uma vez que o CO₂ que estes emitem representa, no mínimo, 20% das emissões de GEE da UE (CE, 2014b).

Associado a este setor, também se encontra outro problema: o ruído provocado pelo mesmo. O ruído ambiente pode ser definido, através do *Decreto – Lei 9/2007 de 17 de Janeiro*, como sendo o ruído geral observado em determinada situação num dado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local atingido pelo mesmo.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, o limiar de ruído definido como sendo aceitável é de 55 dB(A), e as principais fontes de ruído ambiente são provenientes do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, de indústrias, trabalhos de construção e vizinhança. Onde o ruído proveniente do tráfego rodoviário é a fonte sonora mais problemática. Estima-se que cerca de 40% da população da UE está exposta a níveis de ruído por tráfego rodoviário superiores a 55 dB(A) durante o dia, e 20% encontra-se exposta a níveis que excedem os 65 dB(A). Durante a noite, mais de 30% da população encontra-se exposta a níveis de pressão sonora superiores a 55 dB(A) (Berglund et. al 1999).

O ruído do tráfego rodoviário em comparação com todas as fontes de ruído, é o que é apontado por um maior número de pessoas como a fonte de ruído que provoca maior incomodidade. Sendo que quanto maior o nível de circulação rodoviária e dimensão das cidades, maior o grau de incomodidade. Estes níveis elevados de ruído não causam diretamente o deterioramento do sistema auditivo, mas acarretam consigo várias consequências ao nível da saúde (APA 2015).

Posto isto, os problemas adjacentes a este setor anteriormente apresentados, são citados como um dos principais obstáculos ao desenvolvimento sustentável segundo a *Diretiva 2009/33/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de maio de 2009*.

Devido aos novos modelos de sustentabilidade energética e ambiental, e à necessidade de resposta para a redução da dependência do setor dos transportes em relação aos combustíveis fósseis, bem como da redução das emissões de GEE e ruído, surge a mobilidade elétrica como uma mudança de paradigma. Contribuindo para melhorar a qualidade do ar e do ambiente nas cidades.

A mobilidade elétrica deverá permitir a redução da dependência do petróleo, uma maior competitividade da indústria automóvel europeia (proporcionando o crescimento do emprego e o desenvolvimento económico) e benefícios para a saúde pública, nomeadamente através da melhoria da qualidade do ar nos meios urbanos (CE, 2011b). Posto isto, a Comissão Europeia através do Livro Branco para os Transportes reafirma a necessidade de substituir os veículos de combustão interna por veículos elétricos, no meio urbano (CE, 2011c).

Uma vez que os veículos elétricos são meios de transporte com emissões de carbono muito reduzidas, por vezes quase nulas, quando há uma maximização dos benefícios da utilização dos mesmos através de uma maior utilização de energia renovável em detrimento de outras fontes de energia mais poluentes. Diminuindo desta forma os impactos gerados no percurso “produtor-consumidor”, a transição para a mobilidade elétrica é considerada um passo essencial no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono (Nanaki e Koroneos 2013).

Segundo a *Diretiva 2010/40/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 7 de Julho de 2010*, o uso de tecnologias da informação e de comunicações no sector dos transportes rodoviários contribuirá significativamente para melhorar o desempenho ambiental proporcionando uma maior e melhor eficiência energética, melhorar a segurança dos transportes rodoviários, incluindo a segurança pública e a mobilidade dos passageiros.

Desta forma, a mobilidade elétrica surge como uma mudança em várias tendências. Tais como: nas políticas globais de mudança climática que propõem uma redução significativa nas emissões de CO₂ resultante da mobilidade; na segurança energética através de questões económicas e de segurança relacionadas com o petróleo; na qualidade do ar urbano, onde o aumento do congestionamento cria significativos problemas e no crescimento da indústria automóvel, que resultou em avanços na tecnologia das baterias elétricas.

Segundo o World Bank (2011), em todo o mundo o custo dos veículos elétricos diminuiu sensivelmente, esperando-se que num futuro próximo, o preço de veículos

elétricos se torne equivalente ao preço dos veículos convencionais de combustão interna.

Dado o seu papel fundamental, os autocarros têm de ser um elemento crucial do planeamento sustentável dos transportes urbanos. A eletrificação dos transportes públicos é uma estratégia que incrementa uma evolução para uma economia global sustentável e limpa, com um impacte relativamente alto no que toca à redução da dependência de combustíveis fósseis, caminhando para uma economia de baixo carbono e para uma nova fase de transição energética.

Posto isto, com a realização deste estudo, pretende-se examinar a viabilidade da substituição de uma frota de autocarros convencionais a gasóleo, por uma frota elétrica. Baseada na atual frota de autocarros ao serviço exclusivo do Município de Lousada, que assegura parte do transporte público com um total de 11 autocarros urbanos.

O tema apresenta particular interesse pois estuda e analisa um caso prático, que futuramente poderá vir a ser útil e vantajoso de aplicar no município em causa, mas também noutros municípios e cidades. Apresentando pertinência a nível europeu, em termos de políticas energéticas e políticas ambientais.

1.2- Objetivos

Com este trabalho, pretende-se avaliar a viabilidade de um projeto de investimento, nomeadamente a substituição de uma frota de autocarros convencionais por uma frota elétrica. Para tal, será realizada uma simulação em termos económico-financeiros e ambientais, através de dados fornecidos pela Câmara Municipal de Lousada e por uma concessionária de transportes públicos.

Para se obter resultados em termos económico-financeiros, utilizar-se-á:

- Cálculos da variação de consumo de combustível das alternativas autocarros convencionais (gasóleo) e autocarros elétricos;
- Cálculos da variação da despesa de manutenção.

Para se obter resultados em termos ambientais, será calculado o custo externo das emissões provocadas pelos autocarros convencionais dos poluentes NOx e PM. Para tal, utilizar-se-á:

- Fatores de Emissão (EF);
- Custo monetário de um poluente (PC).

Com o objetivo de responder à seguinte questão de investigação: “Será economicamente compensador, relacionando custos externos da poluição atmosférica, a substituição da atual frota de autocarros convencionais de Lousada por autocarros elétricos?”.

1.3- Estrutura da dissertação

Deste modo, a presente dissertação está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução, apresenta a importância da temática presente em estudo e as razões que levam à concretização do mesmo;
- Capítulo 2 – Revisão da literatura, apresenta revisão literária sobre: o impacto dos transportes no consumo de energia e respetivo impacto ambiental; necessidade de reduzir o transporte individual em favor do transporte coletivo, em termos do desenvolvimento sustentável e mobilidade elétrica como alternativa ao transporte individual e coletivo convencional;
- Capítulo 3 – Experiência internacional na reorganização dos transportes públicos urbanos num contexto de mobilidade elétrica, apresenta uma revisão bibliográfica de estudos desenvolvidos nesta área;
- Capítulo 4 – Descrição do local de estudo, apresenta uma descrição detalhada do Município de Lousada;
- Capítulo 5 – Metodologia, apresenta o procedimento adotado com o intuito de alcançar os resultados propostos nos objetivos, bem como, os métodos escolhidos e os dados necessários;
- Capítulo 6 – Resultados e Discussão, são expostos e analisados os resultados finais da dissertação;

- Capítulo 7 – Conclusão, são apresentadas as principais conclusões obtidas no estudo, bem como, as principais limitações do mesmo e perspectivas para estudos futuros.

Capítulo 2. Revisão de Literatura

2.1- Impacte dos transportes no consumo de energia e respetivo impacte ambiental

Uma das diferenças do setor dos transportes em relação aos outros setores, que o leva a níveis tão críticos de emissões, é a sua dependência pelo petróleo e seus derivados, que contribuem para o agravamento da dependência energética de muitos países, nomeadamente de Portugal.

No conjunto dos 28 países da UE, o setor de transportes apresentou um consumo de energia de 358 639,3 Mtep no ano de 2015, sendo consideravelmente superior ao ano de 1990 que apresentava 284 051,5 Mtep de consumo energético por parte dos transportes (PORDATA, 2017a).

Os combustíveis à base de petróleo perfazem um total de cerca de 96% do abastecimento energético total do setor, e englobando todas as formas de transporte, o transporte rodoviário é de longe o principal consumidor (CE, 2014b).

Como se pode constatar na *Figura 1*, o transporte rodoviário representa a maior parte do consumo de energia, com 73,4% da procura total da UE em 2014 (CE, 2016). Mesmo com um recuo no consumo de energia, o setor dos transportes em 2014 foi ainda superior em 25% em relação a 1990 (AEA, 2016b).

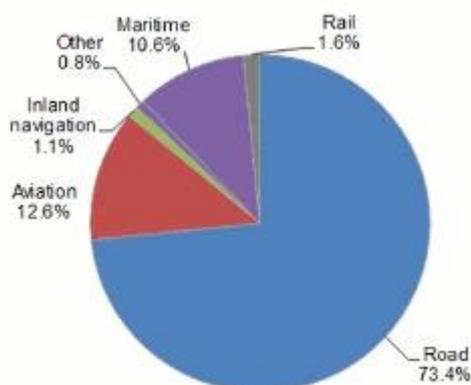


Figura 1: Proporção da procura de energia dos transportes por modo em 2014 (%)
(Fonte: CE, 2016)

Segundo o Livro Branco dos Transportes (2011), quanto mais demorada for a descarbonização mundial e quanto maior for a dependência pelo petróleo, maior será a tendência ao aumento do preço do mesmo, devido à sua escassez. No ano de 2010 a UE gastou cerca de 210 bilhões de € em importações de petróleo. Se não houver uma mudança de paradigma quanto à dependência do petróleo, surgirá uma problemática no que diz respeito à segurança económica de um país e à capacidade de viajar da sua população (CE, 2011d).

Caso não se modifiquem tendências, e novas políticas não sejam acionadas até 2050, através de um cenário de referência, o “Livro Branco dos Transportes 2011” descreve um quadro bastante dramático (CE, 2011d, pp.4):

"Se aderirmos à abordagem comercial como de costume, a dependência de petróleo por parte do transporte pode diminuir pouco abaixo de 90%, com fontes de energia renováveis apenas excedendo marginalmente o objetivo de 10% fixado para 2020. As emissões de CO₂ dos transportes permanecerão um terço mais elevadas do que o nível de 1990 até 2050. Os custos de congestionamento aumentarão cerca de 50% até 2050. O fosso de acessibilidade entre as áreas centrais e periféricas alargará. Os custos sociais dos acidentes e do ruído continuarão a aumentar”.

Robert et al. (2016), através da realização de uma abordagem estratégica para o desenvolvimento sustentável do sistema de transporte na Suécia, realçam que é importante abordar a forte dependência de combustíveis fósseis por parte do setor dos transportes a partir de uma perspectiva de sistemas suficientemente ampla, ou seja, sistemas transdisciplinares e intersectoriais que interliguem vários atores e decisores. Pois a produção de energia a partir de combustíveis fósseis tem sempre associada a emissão de poluentes atmosféricos, como o CO₂, que contribui em grande parte para a mudança climática, a acidez do oceano entre outros problemas.

Posto isto, pode afirmar-se que o sector dos transportes é um dos principais causadores de emissões de CO₂ e de outros gases causadores do aquecimento global na UE, devido à sua dependência de combustíveis fósseis em todos os modos, apresentando em 2014 cerca de 20,8% das emissões de GEE da UE. O que representa quase o dobro de

emissões deste setor em comparação com o ano base de 1990, que apresentava uma percentagem de 13,8% (PORDATA, 2017b).

Traduzindo estes valores em números reais, em 2015 a UE pelo setor dos transportes apresentava 905,9 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ de emissões, em comparação com as 781,8 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ em 1990 (Eurostat 2016).

Apesar dos esforços significativos para reduzir as emissões, com uma diminuição de 3,3% em 2012, o setor dos transportes não alcançou os seus objetivos de descarbonização (CE, 2014a). Sendo o único setor da EU, que não registou um declínio gradual das suas emissões tal como todos os outros setores. As emissões só começaram a diminuir em 2007 e continuam a ser mais elevadas do que em 1990, tal como se pode observar na figura seguinte:

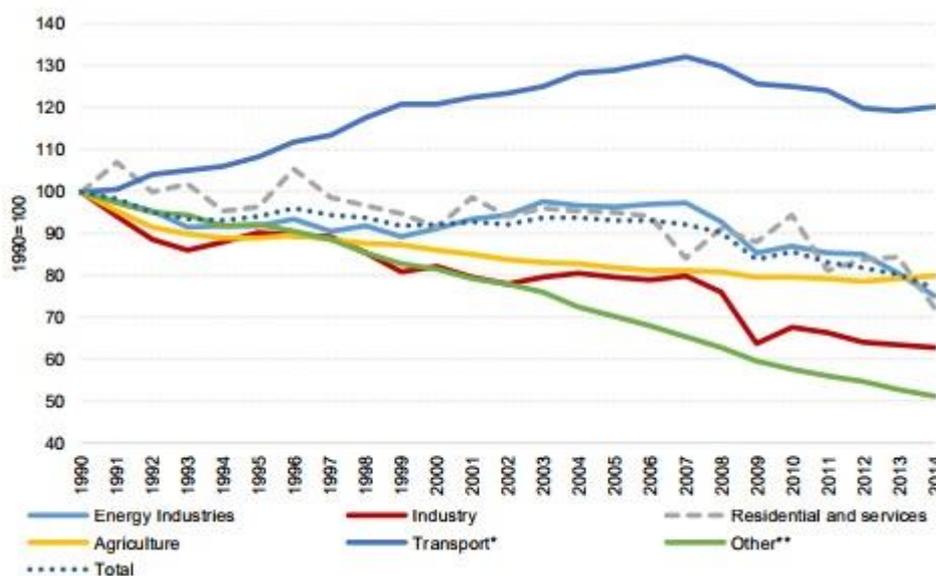


Figura 2: Evolução das emissões de gases com efeito de estufa por setor (1990 = 100), UE28 (Fonte: CE, 2016)

Nota:

*transporte: incluem a aviação internacional, mas excluem o transporte marítimo internacional;

**outros: incluem emissões fugitivas de combustíveis, gestão de resíduos e emissões indiretas de CO₂.

De acordo com Eibel e Chu (2013), na junção de todos os setores económicos da UE, nenhum viu as suas emissões de gases de efeito estufa crescer tão rapidamente quanto o setor dos transportes. Tendo como resultado, as emissões de GEE e a poluição provenientes dos transportes, um dos principais obstáculos ao desenvolvimento sustentável.

O transporte rodoviário é a principal forma de transporte e, fazendo jus a esse estatuto, é também o modo de transporte que mais polui. Em 2014 e segundo a Comissão Europeia, cerca de 72,8% das emissões totais de CO₂ dos transportes, são provenientes deste modo (CE, 2016). Os camiões e autocarros são responsáveis por cerca de 1/4 das emissões de CO₂ provenientes do transporte rodoviário e cerca de 6% das emissões totais da UE (CE, 2014a) (CE, 2014b).

Associadas e dependentes do transporte rodoviário, encontram-se as áreas urbanas. Estas segundo Rosenzweig et al. (2010) são responsáveis por 71% das emissões globais de carbono relacionadas com a energia.

Caso esta tendência persista, a Agência Europeia do Ambiente, prevê entre 2030 a 2050, que se os transportes de passageiros continuarem a aumentar com o crescimento económico e aumento das zonas urbanas, conseqüentemente as emissões de GEE aumentarão em 15% acima dos níveis de 1990 (AEA, 2016a).

Posto isto, as zonas urbanas tem um papel fundamental no que toca a esforços para mitigar estas tendências de poluição e dependência petrolífera. Lutando contra o congestionamento e procurando melhorar a má qualidade do ar (CE, 2014b). Bem como, reduzir o consumo de petróleo no setor dos transportes por cerca de 70%, para garantir o cumprimento dos objetivos da UE quanto ao nível de emissões de GEE ao abrigo do Protocolo de Quioto (Eibel e Chu 2013).

Também associado ao transporte rodoviário e às áreas urbanas surge o ruído do tráfego rodoviário, que segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (2015), este tipo de ruído em comparação com todas as fontes de ruído, é o que é apontado por um maior número de pessoas como a fonte que provoca maior incomodidade. Sendo que quanto maior o nível de circulação rodoviária e dimensão das cidades, maior o grau de incomodidade.

Estes níveis elevados de ruído não causam diretamente o deterioramento do sistema auditivo, mas acarretam consigo várias consequências ao nível da saúde.

Um estudo realizado na Polónia, que analisa o impacto do ruído do tráfego rodoviário de uma zona industrial em crianças, demonstra que as crianças que vivem num ambiente ruidoso têm menor desempenho cognitivo, apresentam problemas de leitura frequentes e habilidades matemáticas mais baixas. Bem como, apresentam distúrbios de sono, aborrecimento, aumento da produção de cortisol (hormona relacionada com o stress) e aumento de pressão arterial sistólica, podendo identificar-se desta forma, que o ruído do tráfego rodoviário é um fator adverso à saúde (Skrzypek et. al, 2017).

Por sua vez, um estudo realizado na Alemanha com o objetivo de investigar a associação do ruído do tráfego rodoviário com sintomas depressivos em pessoas entre os 45 e 75 anos, onde foram analisados dados de 3 300 participantes durante 5 anos, conclui que a exposição ao tráfego rodoviário aumenta o risco de sintomas depressivos (Orban et. al, 2016).

Desta forma, um nível elevado de ruído ambiente, além de causar incomodidade e consequências a nível da saúde, é responsável também por um total de custos relacionados com serviços de saúde. Posto isto, um estudo estima que os custos relacionados com o ruído superior a 55 dB(A) proveniente do tráfego da UE, sejam no mínimo de 38 Biliões de € por ano, correspondendo a 0,4% do PIB (den Boer e Schroten 2007).

2.2- Necessidade de reduzir o transporte individual em favor do transporte coletivo, em termos de desenvolvimento sustentável

É de compreensão geral, que o uso excessivo de veículos particulares contribui para a degradação do ambiente local e global, mas também ocupa espaços valiosos com as estradas e os parques de estacionamento, aumenta o ruído, o congestionamento e os acidentes rodoviários (Greene e Wegener, 1997). No entanto, segundo a Agência Europeia do Ambiente, a compra de automóveis na UE aumentou consideravelmente entre 2000 e 2013, passando de 415 para 490 carros por 1 000 habitantes, um aumento médio de 1,2% ao ano (AEA, 2015a).

Sendo que no geral, nos últimos cinco anos, a frota de automóveis de passageiros em quase todos os Estados-Membros da UE cresceu (Eurostat, 2017).

Posto isto, existe uma necessidade proeminente de reduzir o transporte individual em favor do transporte coletivo, principalmente nas grandes cidades. Podendo assim o transporte público coletivo aliviar os problemas de uso de veículos particulares, através da sua maior eficiência no transporte de um grande número de pessoas por veículo (Rizzi, e De La Maza 2017).

Segundo um estudo realizado na cidade do Porto (Beirão e Cabral, 2007), para “Compreender as atitudes em relação ao transporte público e ao automóvel privado”, são encontradas algumas vantagens para o transporte público em relação às viagens de carro. Os participantes deste estudo defenderam que o transporte público coletivo era menos stressante, mais relaxante, mais barato, mais sociável e menos poluente em relação aos veículos ligeiros de passageiros.

Cruz e Katz-Gerro (2016), num estudo sobre duas empresas portuguesas de transporte público e as suas práticas de consumo sustentável, referem que a relação entre o bem-estar e o uso dos transportes públicos é uma estratégia pertinente. Pois, as pessoas inquiridas no seu estudo argumentam que o uso do transporte público não é uma questão económica. Mas sim uma questão de qualidade, conforto e conveniência do transporte público em comparação com o transporte individual. Nesse sentido, pode concluir-se que usar o transporte público é mais uma questão de estilo de vida do que o capital económico, é uma opção para uma maior qualidade de vida.

Para a promoção dos transportes públicos coletivos, os agentes de governação através de políticas públicas têm um papel fundamental, pois podem promover o uso de transportes públicos implementando legislação em relação à circulação urbana. Taxas de estacionamento e custos adicionais ao acesso dos veículos a certas partes da cidade, podem ser alguns dos exemplos que levam à preferência pelo transporte público. Desta forma, as políticas públicas são consideradas mais importantes do que soluções tecnológicas em relação à mudança de comportamento e hábitos de viagem (Cruz e Katz-Gerro, 2016).

O desenvolvimento sustentável é um tipo de modelo que permite às gerações atuais satisfazerem as suas necessidades sem que com isso ponham em risco a possibilidade de as gerações futuras virem a satisfazer as suas próprias necessidades (WCED, 1987). Assim sendo, e segundo o Conselho da União Europeia realizado em Bruxelas em 2006, na execução de uma “Nova estratégia da UE para o Desenvolvimento Sustentável”, a premissa dos transportes públicos em favor do transporte individual, foi também referida como um dos principais objetivos a alcançar. Este objetivo englobava o enquadramento comunitário dos serviços de transporte público de passageiros, com o objetivo de aumentar a sua eficiência e o seu desempenho. Adequando medidas para realizar a substituição do transporte rodoviário individual pelos transportes públicos de passageiros, as quais incluam menor intensidade de transporte, ativando uma mudança de comportamentos e uma melhor ligação entre os vários modos de transporte (CUE, 2006).

Desta forma, pode referir-se que a promoção do uso de transportes públicos é uma estratégia que promove práticas de consumo sustentáveis. E que a sustentabilidade é frequentemente associada à eficiência económica (Lozano, 2008).

2.3- Mobilidade elétrica como alternativa ao transporte individual e coletivo convencional

A necessidade de um sistema de transporte sustentável e eficiente vem crescendo ao longo do tempo, devido principalmente à preocupação com a mudança climática global, a segurança energética dos países e a procura pela independência energética da UE.

Estando o crescimento económico geralmente associado ao fenómeno da urbanização, e este associado ao setor dos transportes, a mobilidade elétrica tem despertado um crescente interesse de investigadores, empresas e decisores políticos. Apresentando-se como sendo a solução mais sustentável e de baixas emissões, pois não depende de combustíveis fósseis.

Assim sendo, a solução para uma considerável redução das emissões dos GEE e da poluição atmosférica, passa pela incorporação de veículos elétricos na normal frota de

veículos convencionais, para que gradualmente se faça uma total substituição (AEA,2016a).

Segundo Nurhadi et al. (2014), em comparação com os veículos de motores de combustão interna, os veículos elétricos têm como vantagens: uma maior eficiência na transmissão, níveis de ruído mais baixos e emissões locais quase nulas.

Como os veículos elétricos têm a vantagem de não produzirem emissões é importante diminuir ao máximo os impactes gerados no percurso “produtor-consumidor”, através de uma maior utilização de energia renovável em detrimento de outras fontes de energia mais poluentes, o que irá permitir maximizar os benefícios da utilização de veículos elétricos (Nanaki e Koroneos 2013).

Mas mesmo que a eletricidade usada provenha de combustíveis fósseis, segundo a Agência Europeia do Ambiente, o ambiente urbano continua a beneficiar de uma diminuição da poluição atmosférica local e diminuição dos níveis de ruído, com a transição para veículos elétricos (AEA, 2016a).

De acordo com Faria et al. (2013), uma vez que os veículos elétricos são mais eficientes, podem ser mais limpos do que os carros de combustão interna e podem reduzir significativamente a dependência de combustíveis fósseis; o futuro do sistema de transporte vai passar pelo aumento da eletrificação dos veículos. Devido ao seu potencial para reduzir as emissões de GEE e aumentar a segurança energética, a procura por veículos elétricos está a aumentar rapidamente. Até 2050 a procura por veículos elétricos irá aumentar duas vezes mais, com taxas de crescimento maiores nos países em desenvolvimento.

Borén et al. (2017), através da 2ª Parte de uma abordagem estratégica para o desenvolvimento de sistemas de transporte sustentável no sudeste da Suécia, afirmam que os veículos elétricos desempenharão um papel vital para o desenvolvimento do transporte rodoviário isento de fósseis no país, devido à sua maior eficiência e independência de fontes de energia insustentáveis. Onde, juntamente com as tecnologias de informação avançadas podem desempenhar um importante papel para apoiar soluções de sistemas integrados para sistemas sustentáveis de transporte e energia. Que incluem fontes de energia renováveis, tecnologias para capturar energia renovável em

casas e outras infraestruturas, soluções de armazenamento de energia e redes inteligentes; dada a sua alta eficiência e capacidade de armazenamento de energia.

Também Schill (2011) fez um estudo sobre veículos elétricos na Alemanha, onde observa que estes trazem tanto uma procura como uma capacidade de armazenamento adicional para o mercado de eletricidade.

Duarte et al. (2016) realizaram um estudo para compreender como o uso de veículos elétricos podiam contribuir para a logística da sustentabilidade urbana de Lisboa. Os autores concluíram que os veículos elétricos seriam extremamente aplicáveis devido às suas características do grupo monopropulsor (baixas exigências de potência e elevado potencial de regeneração de travagem), no contexto de condução urbana. Tendo uma maior eficiência energética em relação aos veículos de combustão interna, com menos 76% de consumo total de energia. Resultando numa redução de emissões locais de poluentes, e emissões sonoras, bem como numa menor dependência dos preços do petróleo. Surgindo assim, o projeto FREVUE (Freight Electric Vehicles in Urban Europe) que permitiu a implementação de veículos elétricos para realizar serviços de logística urbana em várias cidades europeias, tais como Lisboa, Amesterdão e Madrid.

Por sua vez, Nanaki et al (2013) afirmam que o aumento da consciência, por parte da sociedade, em relação aos impactes ambientais dos GEE libertados pelos transportes, leva a um maior interesse na adoção e utilização de veículos alternativos aos convencionais. Resultando numa oportunidade para o desenvolvimento da mobilidade elétrica.

Outra oportunidade surge através dos vários tipos de incentivos dados à introdução no mercado por parte dos veículos elétricos. Segundo Tietge et al. (2016), existem incentivos diretos e indiretos ao consumidor, onde os primeiros são uma das medidas que apresentam melhores resultados na transição para os veículos elétricos, pois são incentivos fiscais significativos; já os segundos são um complemento aos anteriores para promover uma maior consciência dos consumidores a procurar soluções mais eficientes. Para aumentar a consciencialização por parte dos consumidores é necessário que a informação e incentivos sejam transparentes.

Tietge et al. (2016) referem também que as infraestruturas de carregamento são um fator indispensável para um aumento da quota de mercado dos veículos elétricos. Sendo que nas cidades com maior número de estações de carregamento, foi provado que também havia um maior número de veículos elétricos.

Capítulo 3. Experiência internacional na reorganização dos transportes públicos urbanos num contexto de mobilidade elétrica

Os autocarros são a verdadeira espinha dorsal do transporte coletivo, representando 80% de todas as viagens de passageiros de transporte público do mundo. Estes usam quase 20 vezes menos espaço para transportar o mesmo número de pessoas do que carros particulares (UITP, 2009). Dado o seu papel fundamental, os autocarros têm de ser um elemento crucial do planeamento sustentável dos transportes urbanos.

Existem muitas questões de ordem económica quanto à implementação de autocarros elétricos no sistema de transporte público urbano. Krawiec et al. (2016) realçam que as empresas de transporte público têm de avaliar os custos da eventual substituição dos autocarros tradicionais por um sistema de autocarros elétricos. Estes envolvem a compra e manutenção das infraestruturas técnicas (tanto dos autocarros em si como da rede de carga e recarga), como os custos externos resultantes da substituição dos autocarros (custos relacionados com as emissões de poluentes e da poluição sonora).

Apesar da evidência do papel crucial dos transportes na transição energética, o uso de autocarros elétricos no mundo tem sido pouco significativo. O principal motivo é o preço elevado ligado aos custos excessivos das baterias. Por isso, os autocarros elétricos de bateria foram apresentados apenas como projetos piloto separados, como no caso dos EUA (Califórnia), Reino Unido (Nottingham, Coventry), Suécia (Umea) e China. No entanto, nos últimos anos, o número de projetos aumentou fortemente, mostrando grande interesse no progresso de novas tecnologias nos sistemas de transporte das cidades (Graurs et al. 2014).

Posto isto, e através da 6ª Conferência Europeia de Investigação sobre Transportes (2016), surge o projeto ELIPTIC (eletrificação dos transportes públicos nas cidades) a nível europeu e no âmbito do programa Horizonte 2020 (Junho de 2015 até Maio de 2018), para mostrar como os custos e a energia podem ser economizados através da eletrificação dos transportes públicos. Este projeto baseia-se numa experiência empírica com 20 casos de estudo realizados por 11 operadores de transporte público, que integram redes internacionais de operadoras de transportes públicos – UITP e algumas

redes nacionais como o caso da VDV na Alemanha. O objetivo é realizar um estudo de viabilidade que aborde os grandes obstáculos da eletrificação: a incerteza sobre o caminho tecnológico mais adequado e a falta de “*business cases*”. Mas também para obter apoio político, pois atualmente a UE não tem ainda objetivos de eletrificação relacionados com os transportes públicos e conseqüentemente não padece de apoio financeiro para os mesmos (Glotz-Richter et al. 2016).

Segundo Majumdr et al. (2015) num estudo realizado em Kolkata na Índia, com o aumento da população, da industrialização e do consumo de gásóleo, gasolina e gás no setor dos transportes, o país vê-se obrigado a importar cerca de 80% do seu consumo total de combustíveis fósseis. Assim sendo, surge a necessidade da substituição do sistema convencional de transporte público por um sistema limpo que não seja dependente dos combustíveis fósseis.

O estudo examina os possíveis impactes na economia e no meio ambiente da substituição dos veículos de transporte rodoviário de passageiros convencionais por veículos elétricos operados a bateria, na cidade de Kolkata na Índia. Calcula os custos da energia consumida pelos veículos que usam combustível convencional, em comparação com os custos da energia consumida por veículos elétricos, bem como a quantidade de energia necessária para carregar uma frota de veículos.

Para obter conclusões sobre o impacte económico e ambiental, o estudo supôs que 2% dos transportes urbanos (autocarros, táxis e auto-rickshaws) seriam substituídos por veículos elétricos.

O que, com essa substituição de 2% resultou em cerca de 38% de benefícios económicos, sendo que aumentariam se a percentagem de substituição de veículos elétricos também aumentasse. A nível ambiental com a redução de 2% de veículos convencionais há uma redução de consumo de combustíveis fósseis de 11 654 litros/dia, o que representa uma redução de emissões de CO₂ em 26,27 toneladas/dia; de emissões de SO₂ em 0,9727 toneladas/dia e de NO_x em 0,2097 toneladas/dia. Desta forma, o estudo demonstrou que a substituição dos veículos de transporte público convencionais por veículos elétricos tem um forte potencial para ser benéfico na cidade de Kolkata.

A avaliação dos custos e benefícios associados ao uso de veículos elétricos e a relação custo-eficácia de usar um autocarro escolar elétrico V2G (Vehicle-to-grid) ao invés de um autocarro de combustível convencional foi estudada por Noel e McCormack (2014). Este estudo analisou fatores como as despesas dos combustíveis, os custos da eletricidade e das baterias, as externalidades relacionadas com a saúde e o preço de mercado de regulação de frequência.

A análise custo-benefício foi baseada nos benefícios analisados, tais como: a redução dos impactos nas alterações climáticas, externalidades e eficiência energética. E as suas limitações foram: o uso de baterias, os desafios da infraestrutura e o comportamento da condução.

Os resultados do estudo com 179 autocarros e 13000 alunos, demonstram que a mudança da frota para um autocarro V2G beneficiava em 38 milhões de dólares, quase 3000 dólares por aluno. Onde as reduções de emissões de carbono seriam de aproximadamente 2000 toneladas chegando a uma redução de 30000 toneladas ao longo da vida útil da frota.

Laizans et al. (2016), apresenta um estudo de viabilidade económica numa perspetiva regional, sobre autocarros públicos elétricos. Este estuda o possível efeito económico no desenvolvimento regional da Letónia, pela substituição de autocarros de combustão interna alimentados a gasóleo por autocarros com baterias elétricas. Para comparar duas tecnologias diferentes, o autor analisou os custos em 3 dimensões: fatores gerais, fatores específicos para autocarros elétricos e fatores específicos para autocarros convencionais. Visto que se analisa o impacto regional, os custos externos também são tidos em conta, pois derivam dos custos que o país incorre indiretamente, devido aos problemas de saúde causados pela poluição do ar, consequência da utilização de transportes convencionais.

Posto isto, foi possível chegar a uma fórmula final para o cálculo do benefício anual total da substituição de autocarros convencionais por autocarros elétricos. Onde são multiplicados os custos de capital e custos operacionais por km, pelo número total de km percorridos pelos transportes públicos. No entanto, como conclusão o estudo demonstra que com as atuais tecnologias e a situação financeira atual da Letónia, os

benefícios do autocarro elétrico não cobrem ainda os custos adicionais. Sendo o maior problema, o custo de substituição da bateria. Mas que as despesas de operação de autocarros públicos elétricos são substancialmente inferiores às dos autocarros a gásóleo, e que a escolha adequada do plano tarifário de fornecimento de energia elétrica também pode reduzir substancialmente os custos.

Tzeng et al. (2005), através de um estudo que avalia quais os melhores autocarros de combustível alternativo para a área urbana de Taiwan, destaca que o uso de modos alternativos de combustível para autocarros públicos urbanos é de grande interesse. Pois este tipo de transporte possui recursos como: depósito estável, rota, grupo de passageiros, tempo de operação e frequência; o que facilita a substituição para um sistema livre de combustíveis fósseis.

Para avaliar qual das 12 alternativas de modo de combustível (entre elas eletricidade, célula de combustível (hidrogênio) e metanol) é a mais indicada para a área urbana de Taiwan, devem ser considerados aspetos como: eficiência energética, emissões, tecnologias, custos e instalações. Com isto, os autores concluíram que o autocarro híbrido elétrico seria o autocarro mais adequado para as áreas urbanas de Taiwan. Mas, se a distância máxima alcançada do autocarro elétrico puro aumentasse, este seria a melhor alternativa.

Rothgang et al. (2015) compara os custos por km do uso de um autocarro convencional em comparação com um autocarro elétrico desenvolvido no projeto de investigação "SEB eÖPNV" assumindo um tamanho de bateria de 90 kWh. Esta comparação foi feita através dum cenário operacional na Alemanha, onde foi considerado o período máximo de uso de 12 anos e 50 000 km; foi assumida uma taxa de juros de 4 %; devido a uma maior penetração futura no mercado de autocarros elétricos, foram utilizadas diferentes taxas de inflação entre os autocarros convencionais e os autocarros elétricos; e foram tidos em conta os custos gerais de manutenção, onde a manutenção dos autocarros elétricos será menor (devido à máquina elétrica ser de baixa manutenção, ao menor esforço de travagem e não ser necessário mudanças de óleo; no entanto depende fortemente da infraestrutura instalada).

Usando estes parâmetros, os autores mostraram que um autocarro elétrico seria mais caro nos primeiros 7 anos devido aos seus altos custos de investimento, mas tornar-se-ia mais barato do que um autocarro convencional nos anos seguintes, devido aos altos custos do gásóleo em comparação com a eletricidade. Os custos por km para os autocarros convencionais aumentam de 1,27€/km no primeiro ano, até 1,78€/km nos 12 anos. Por sua vez, os autocarros elétricos têm custos iniciais mais altos de 1,64€/Km, que diminuem nos anos seguintes para 1,48€/km no 12º ano.

Posto isto, compreende-se que os autocarros elétricos são potencialmente competitivos com os autocarros convencionais. Para que os autocarros elétricos tenham sucesso nesta competição, estes tem de apontar para custos mínimos do ciclo de vida, que podem ser alcançados através de uma escolha eficiente de vários componentes, especialmente do sistema de bateria.

Rogge et al. (2015) realizaram um estudo de viabilidade para a eletrificação de transportes públicos urbanos numa cidade de tamanho médio na Alemanha, designadamente Muenster. A análise de viabilidade foi realizada para a rede de autocarros local “Stadtwerke Muenster”, e são usadas as rotas de viagens de cada autocarro desta operadora. É utilizado o conjunto de dados de um dia de trabalho para fazer a análise, pois é quando há uma maior procura deste sistema de transporte, e presume-se que cada rota de autocarro é servida por autocarros articulados com um comprimento de 18 m.

Ao utilizar uma operadora já existente, as condições de consumo de energia dos autocarros públicos são bem conhecidas, bem como a sua rota e o seu tempo de espera entre paragens. Desta forma, é possível executar um carregamento rápido entre as paragens de autocarro nas estradas e nas paragens do terminal. Para esta análise, presume-se que todas as estações de carregamento rápido estão localizadas nas paragens do terminal das rotas de autocarros de Muenster. Com um conjunto total de 44 paragens de terminais individuais resultando em 44 estações de carregamento.

Assim, a análise concluiu que para calcular a dimensão das baterias a utilizar na frota de autocarros públicos da empresa “Stadtwerke Muenster”, é necessário ter em conta todo o horário do veículo em causa, não só as viagens individuais. Verificou-se também que

50% das viagens podem ser eletrificadas com capacidade de carga de 300 kW e uma capacidade de bateria útil de 220 kWh. Sendo que, se houvesse um aumento da capacidade de carga para 500 kW o nível de eletrificação da frota poderia subir para 80%, pois a frequência de carregamento seria reduzida. No entanto, um aumento da capacidade de carga resultaria numa redução de capacidade de lugares de passageiros, devido ao aumento de peso das baterias.

A Suécia é um dos países europeus com maior taxa de sucesso na descarbonização dos autocarros de transporte público. Em 2007, as partes interessadas dos transportes públicos suecos estabeleceram um objetivo a alcançar até 2020 de 90% de substituição dos autocarros de transporte público convencional, por autocarros livres de combustíveis fósseis. Os resultados foram impressionantes, e a percentagem de autocarros livres de combustíveis fósseis aumentou de 8% em 2008 para quase 60% em 2014. Em 2015 a cidade de Estocolmo atingiu uma quota de autocarros livres de combustíveis fósseis de 88% em todas as suas frotas de autocarros públicos (Svensk Kollektivtrafik, 2015) (apud Xylia et al. 2017).

Desta forma, Xylia et al. (2017) elaboraram um artigo que se centrou numa condição fundamental para a eletrificação do transporte urbano, a localização da infraestrutura de carga para abastecer uma rede de autocarros da cidade; bem como abordou a eletrificação do transporte de autocarros em grande escala na cidade de Estocolmo.

A rede de autocarros públicos de Estocolmo apresenta um total de 526 rotas e 11 436 paragens únicas, e as hipóteses mais adequadas para a instalação de estações de carga elétrica são os principais polos de transporte público e as paragens de início e fim das rotas dos autocarros. Assim sendo, resultaria numa seleção de 143 rotas e 403 paragens de autocarros potencialmente adequadas para eletrificação.

Em termos de otimização de custos o estudo mostra que 59 paragens transformadas em estações de carga elétrica poderiam eletrificar 42 rotas de autocarros. E em termos de otimização de energia 118 paragens de carga condutoras e 32 indutivas, eletrificavam 94 rotas de autocarros.

À medida que o número de rotas para serem eletrificadas aumenta, mais estações de carregamento são instaladas e conseqüentemente os custos também aumentam. No

entanto, esses custos são compensados pela redução nos custos de combustíveis, pois a eletricidade é mais barata que o gásóleo e o biodiesel, e os motores elétricos são mais eficientes do que os motores de combustão interna.

Por sua vez, Wang e González (2013) desenvolveram uma estrutura para avaliar a viabilidade da implementação de autocarros elétricos em pequenas e médias cidades nos EUA. Para realizar a avaliação, os autores utilizaram 15 medidas – chaves agrupadas em fatores relacionados com o veículo e fatores externos, tendo em conta impactos financeiros, sociais e ambientais. A avaliação foi realizada através da comparação de autocarros movidos a combustíveis fósseis com autocarros elétricos.

Em termos ambientais, os autores demonstram que o autocarro de combustão interna movido a gásóleo emitia cerca de 97 594 kg de CO₂ por ano, em comparação com o autocarro elétrico que emitia cerca de 18 888 kg de CO₂ por ano (valor este que se encontra dependente do tipo de energia utilizada para produzir eletricidade), concluindo que os autocarros elétricos em termos de emissões apresentavam uma maior eficiência. Em termos financeiros, os autores assumem que os custos iniciais de capital para os autocarros movidos a gásóleo eram de US \$ 271 575 e para os autocarros elétricos de US \$ 500 480, apresentando desta forma uma grande diferença de custos entre eles. E para além dessa diferença de custos iniciais de capital, aos autocarros elétricos ainda seriam acrescentados valores entre US \$ 7 144 e US \$ 437 760 relacionados com os custos das baterias e valores de US \$ 60 000 relacionados com os custos de carregamento. No entanto, os autocarros movidos a gásóleo apresentam custos operacionais muito superiores em comparação com os autocarros elétricos; os autores assumiram que o preço do gásóleo seria US \$ 0,6291/litro e o preço da eletricidade US \$ 0,00034/litro, representando em custos anuais de US \$ 16 817 para os autocarros movidos a gásóleo e US \$ 1 556 para autocarros elétricos. Bem como os custos de manutenção anual, que são bastante superiores nos autocarros movidos a gásóleo (US \$ 32 647) em comparação com os autocarros elétricos (US \$ 19 036). Desta forma, depois de considerar todos os fatores, os autores concluíram que a longo prazo os autocarros movidos a gásóleo apresentam custos anuais mais altos do que os autocarros elétricos, US \$ 373 299 e US \$ 345 046 respetivamente.

Posto isto, os autores concluíram que devido ao estilo de vida mais pausado e distâncias mais curtas das cidades pequenas, os veículos com baixo consumo de energia e emissões durante a marcha lenta são os mais apropriados. Desta forma, conclui-se que os autocarros mais indicados para o estilo de mobilidade de cidades pequenas são os autocarros elétricos.

Perrotta et al. (2014) realizaram um estudo de análise ao desempenho dum autocarro elétrico para três tipos de rotas com características diferentes, nomeadamente: rota urbana, rota interurbana e rota sinuosa, na cidade do Porto, Portugal. Para a execução do estudo, os autores utilizaram uma plataforma de simulação integrada que é responsável pelo simulador de tráfego microscópico SUMO (Simulação de Mobilidade Urbana), onde a esse simulador foi agrupado um modelo de autocarro elétrico, com o objetivo de estudar a correlação entre o tipo de rota que o autocarro viaja e a quantidade de energia que gasta ao realizá-la. Para a definição das respetivas rotas, os dados foram recolhidos através da operadora de transportes públicos urbanos da cidade do Porto – STCP, onde foram explicadas todas as coordenadas geográficas das paragens dos autocarros para cada rota, sendo úteis para simular as rotas dos autocarros na plataforma SUMO. Para além das coordenadas a STCP presumiu que o tempo de pausa em todas as paragens de autocarros seria de 20 segundos, onde o perfil de velocidade do autocarro seria definido pelas características técnicas do motor e a velocidade máxima pelo regulamento.

Desta forma, foi então analisada a quantidade de energia gasta por km em cada rota. Onde se conclui que a rota urbana foi a que gastou menos energia por km, pois é composta por muitas partes lineares que permite a conservação de uma velocidade constante para períodos de tempo maiores. No entanto, a rota interurbana apresentou apenas um aumento de 11% no consumo de energia por km em comparação com a urbana, isto porque é uma rota longa com distâncias maiores entre as paragens dos autocarros, implicando benefícios semelhantes aos da rota urbana. Quanto à rota sinuosa, esta apresentou 31% mais gastos de energia por km comparada com a rota urbana, devido às suas características, pois é uma rota bastante curta e com menos paragens, com uma topografia exigente e com paragens mais próximas umas das outras, exigindo mais energia do autocarro para realizar mais acelerações em pequenos períodos de tempo.

Apesar da consciência de que os autocarros são um elemento crucial no planeamento sustentável dos transportes urbanos e do aumento de projetos relacionados com os mesmos, tal como foi anteriormente referido, a UE não apresenta ainda apoios financeiros para a eletrificação dos transportes públicos, apresentando uma grave falha no que toca a infraestruturas, bem como na consciencialização dos consumidores. Desta forma, para modificar tal paradigma seria necessário a criação de políticas europeias que promovessem o uso de autocarros elétricos e que garantissem os seus devidos postos de carregamento.

Capítulo 4. Descrição do local de estudo

O concelho de Lousada localiza-se no noroeste de Portugal Continental, encontrando-se situado no seio do distrito do Porto e pertencendo à associação de municípios do Vale do Sousa (CML 2016). Em termos de território, apresenta uma área de 99,08 km², um perímetro de 56 km e uma altitude máxima de 578m e mínima de 175m. É sede de um município com 47 075 habitantes, apresentando uma densidade populacional de 490,0 hab/Km² (INE 2016a). Encontra-se subdividido em 15 freguesias e tem como limites administrativos, a norte, o concelho de Vizela; a nordeste, Felgueiras; a este, Amarante; a sudeste e sul Penafiel; a sudoeste, Paredes; a oeste, Paços de Ferreira e, por último, a noroeste, Santo Tirso (CML 2016).



Figura 3: Divisão territorial da região: NUTS III e Municípios (Fonte: INE, 2016a)

No ano letivo 2014/2015 o município registou um total de 1312 alunos na categoria pré-escolar, 2219 no 1º ciclo, 1162 no 2º ciclo, 2119 no 3º ciclo e 1715 no secundário, perfazendo um total de 8527 alunos. Divididos por 84 estabelecimentos de educação existentes em todo o município (INE 2016b).

A rede de transportes públicos do concelho é assegurada por transportes rodoviários e ferroviários. Sendo que uma parte da rede rodoviária é executada pelas operadoras Pacense, Landim, Valpi e Rodonorte, e a outra parte pelos autocarros da Câmara Municipal. O transporte ferroviário é assegurado pela CP – Comboios de Portugal, através da Estação de Caíde de Rei – CP e Estação Meinedo – CP (CML 2017a).

Segundo o mais recente Plano Estratégico de Desenvolvimento Intermunicipal (2014), do qual o Município de Lousada faz parte, o transporte público de passageiros no Vale do Sousa encontra-se numa situação pouco favorável, com os serviços existentes a serem insuficientes, traduzindo-se em limitações e barreiras significativas à mobilidade geográfica dos trabalhadores e ao acesso das populações aos serviços municipais. Estes obstáculos advêm do facto de as operações de transportes públicos estarem a cargo de operadores privados, que padecem de um espaço territorial limitado, dificultando a articulação de horários e coordenação dos transbordos. Sendo a mobilidade intrarregional também prejudicada por insuficiências e descoordenações na oferta de transportes públicos. Desta forma, existe um incentivo ao uso do transporte automóvel individual, sendo este, o transporte com maior predominância no Vale do Sousa (CML 2014).

No ano de 2015 o Município de Lousada registou a venda de veículos novos de ligeiros de passageiros em 391 automóveis, enquanto veículos pesados de passageiros registou apenas 1. Com um total de 580 veículos automóveis novos registados no respetivo ano (INE 2016b).

O município em 2014 apresentou um consumo total de energia elétrica de 113 591 340 kWh, onde o consumo doméstico de energia por habitante apresentou um total de 968,1 kWh. Por sua vez, as vendas de gasolina e gasóleo para consumo no município foram de 3363,5t e 15 665,2t, respetivamente; onde o consumo de combustível automóvel por habitante apresentou um total de 0,415 tep (INE 2016b).

Relativamente a aspetos relacionados com o ambiente, o município possui um Plano Municipal de Ambiente, onde aborda questões relacionadas com os resíduos urbanos, com eficiência energética – iluminação pública 100% LED, ostenta um plano de atividades ambientais entre outras atividades relacionadas com o ambiente (CML 2017b). No entanto, ainda não apresenta dados nem atividades relacionados com a qualidade do ar municipal e emissões locais.

A Agência Portuguesa do Ambiente promoveu o desenvolvimento de uma base de dados com possibilidade de consulta pela internet, no âmbito do regime de monitorização da qualidade do ar em Portugal. Esta base de dados, designada por QualAr, determina o índice de qualidade do ar de uma determinada área consoante os poluentes medidos nas estações da rede dessa área, resultando numa classificação simples e compreensível do estado da qualidade do ar (APA 2017a), de acordo com o *Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro*, que estabelece os objetivos de qualidade do ar tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial de Saúde. No entanto, o município de Lousada não possui nenhuma estação de recolha e monitorização da qualidade do ar, apenas os seus limites administrativos Paredes, Paços de Ferreira e Santo Tirso são detentores de estações com a finalidade da classificação do estado da qualidade do ar das respetivas áreas (APA 2017b).

Estes limites administrativos, Paredes, Paços de Ferreira e Santo Tirso, são detentores destas estações pois apresentam dimensões e estatutos diferentes em comparação com o Município de Lousada. Paredes é uma cidade que faz parte da área metropolitana do Porto e apresenta quase 90 mil habitantes, com uma área de 156,8 km² (CMP 2016). Paços de Ferreira, cidade considerada a capital do móvel, possui uma área geográfica apenas de 71 km², no entanto é o concelho com mais densidade populacional do Vale do Tâmega e Sousa com 794 hab/km², apresentando 56 340 habitantes (CMPF 2016). Por sua vez, a cidade de Santo Tirso também se integra na área metropolitana do Porto com uma área de 132,6 km² e 71 530 habitantes (CMST 2017). Desta forma, não é possível fazer uma comparação justa entre as características do município de Lousada com as características das 3 cidades vizinhas que possuem mecanismos de medição da qualidade do ar, pois o tipo de mobilidade, ambiente e densidade populacional são

diferentes. Os limites administrativos anteriormente referidos são cidades que padecem de um estilo urbano, enquanto Lousada é uma Vila que apesar de oferecer todas as comodidades de um mundo urbano, ainda se apresenta e preserva como um concelho semiurbano oferecendo a paz e tranquilidade de um ambiente rural e as condições de um ambiente urbano.

Capítulo 5. Metodologia

No presente capítulo é apresentada uma descrição da metodologia utilizada para calcular a viabilidade da substituição da atual frota de autocarros urbanos de Lousada, apresentando apreciações económicas e ambientais, com o objetivo de compreender qual a melhor alternativa de mobilidade para o Município de Lousada. São também apresentados os dados necessários para a execução das mesmas, sendo importante referir que alguns dos dados foram adquiridos através do contacto direto com a Câmara Municipal de Lousada e com um concessionário de transportes públicos¹. Os restantes dados foram obtidos através de pesquisas em base de dados, sendo que para a seleção da metodologia, exposta no decorrer deste capítulo por secções, utilizou-se material de literatura da especialidade, encontrando-se devidamente referenciado. A ferramenta utilizada para a execução de cálculos e construção de tabelas foi o *Microsoft Office Excel*. De seguida, são apresentados em tabela os dados fornecidos pela Câmara Municipal de Lousada e pelo concessionário de transportes públicos.

Tabela 1: Dados da frota de autocarros da Câmara Municipal de Lousada.

| | |
|--|-----|
| Nº de autocarros | 11 |
| Nº de viagens por dia e por autocarro | 4 |
| Nº de km percorridos por dia e por autocarro | 90 |
| Média do consumo de combustível por dia e por autocarro (l) | 42 |
| Nº de utentes por dia e por autocarro | 118 |

¹ Por uma questão de confidencialidade dos dados fornecidos pelo concessionário de transportes públicos, não é possível identificar o mesmo.

Tabela 2: Dados fornecidos pelo concessionário de transportes públicos.

| | | Autocarro Urbano Convencional | Autocarro Elétrico |
|---------------------------------|-----|--------------------------------------|---------------------------|
| Custo inicial | | 194. 000 (€) | 500. 000 (€) |
| Lotação | | 85 px. | 105 px. |
| Poupança de Combustível | | 0% | 100% |
| Emissões (mg/kWh) | CO | 136 | 0 |
| | THC | 3 | 0 |
| | NOx | 84 | 0 |
| | NH3 | 1,4 | 0 |
| | PM | 0,5 | 0 |
| | PN | 1,94 | 0 |
| Consumo Médio por km | | 35/45l aos 100 km | 0,8 kWh/km |
| Despesa Média Manutenção | | 250€/mês | 310€/mês |
| Média de Vida Útil | | 15 anos | 15 anos |
| Valor residual | | 0% | 0% |

5.1- Viabilidade Económica

Na primeira fase deste capítulo é apresentada uma descrição dos dados e da metodologia utilizada para calcular a variação do consumo de combustíveis entre autocarros convencionais e autocarros elétricos, bem como, o cálculo da variação da despesa de manutenção de ambos os autocarros. Esta é baseada na metodologia apresentada por Majumdar et al. (2015).

5.1.1- Cálculos da variação de consumo de combustível pelas alternativas autocarros convencionais e autocarros elétricos (€)

Na *Tabela 3* são apresentados dados para o auxílio da realização dos cálculos propostos.

Tabela 3: Custos energéticos no ano de 2015 (Fonte: PORDATA 2016a, 2016b)

| | |
|-----------------------------|---------|
| Gasóleo (€/l) | 1,21 |
| Eletricidade (€/kWh) | 0,1402* |

Nota:

*o valor da eletricidade refere-se a utilizadores industriais.

5.1.1.1- Cálculo do custo da energia consumida pelos veículos que usam combustível convencional:

- a) Distância média realizada por um autocarro por dia = A (km)
- b) Consumo médio de combustível por dia por autocarro = B (l)
- c) Custo do combustível = C (€/l)
- d) Custo de energia consumida = $B \times C = D$ (€)

5.1.1.2- Cálculo do custo da energia consumida por veículos elétricos:

- a) Consumo médio de eletricidade por km = E (kWh)
- b) Consumo médio de eletricidade por dia por autocarro = $E \times A = F$ (kWh)
- c) Custo da eletricidade = G (€/kWh)
- d) Custo da energia consumida = $F \times G = H$ (€)

5.1.2- Cálculo da variação da despesa de manutenção:

- a) Despesa média manutenção mensal autocarro convencional = I (€)
- b) Despesa média manutenção mensal autocarro elétrico = J (€)
- c) Variação da despesa mensal de manutenção = $J - I = K$ (€)

5.2- Viabilidade Ambiental

Numa segunda fase deste capítulo é apresentada uma descrição dos dados e da metodologia usada para calcular o custo externo associado à poluição atmosférica de NO_x e PM emitidas por autocarros urbanos, relacionando-o com a rota de autocarros do Município de Lousada.

5.2.1- NO_x e PM

No presente estudo, são analisados os custos externos dos poluentes NO_x e PM. A escolha destes poluentes deve-se à sua elevada presença na combustão de combustíveis fósseis de autocarros convencionais (WRI, 2012) e pela respetiva disponibilidade de dados.

O NO_x é formado em processos que envolvem altas temperaturas, como o caso da combustão, devido principalmente à reação de oxigenação do azoto do ar. Está intimamente ligado a problemas de poluição como o *Smog* Fotoquímico, Buraco do Ozono e Chuva Ácida, onde a sua maior concentração é nas regiões urbanas nas horas de maior tráfego automóvel. Tem efeitos bastante adversos na saúde humana como a irritação ocular e das vias respiratórias, tosse, dores de cabeça e desconforto no peito, chegando a poder provocar danos nos tecidos pulmonares. (AEA 2015b)

Por sua vez, as PM constituem um dos poluentes mais graves em termos de saúde pública, pois resultam de quase todos os tipos de combustão. As PM são uma variada mistura de partículas ou gotas líquidas que provêm de fumos, poeiras, cinzas volantes ou vapores condensados. Tem como principais efeitos adversos: lesões pulmonares, bronquite, mortalidade precoce, irritabilidade dos olhos, nariz e garganta. Estas possuem diferentes granulometrias (AEA 2015c):

- As PM₁₀ são as partículas atmosféricas com diâmetro $\leq 10 \mu\text{m}$. São denominadas «partículas inaláveis» por terem um tamanho suficientemente pequeno para entrarem pela boca e nariz.
- As PM_{2,5} são as partículas atmosféricas de diâmetro $\leq 2,5 \mu\text{m}$, que ultrapassam a filtração do nariz e são depositadas nos pulmões.

5.2.2- Custos Externos

Apesar dos imensos benefícios que o setor dos transportes têm associados à sua atividade, também este acarreta vários prejuízos para a sociedade. Estes efeitos negativos podem variar entre acidentes e congestionamento, podendo ser considerados prejuízos locais; bem como, efeitos negativos como o caso da poluição do ar e poluição sonora, emissões de GEE, dependência de combustíveis fósseis e ocupação de espaço para circulação de peões e bicicletas, podendo ser considerados prejuízos mais globais. Estes são prejuízos que afetam quem fez a escolha de usufruir do setor dos transportes quer quem não a fez, ou seja, afetam terceiros. Devido a quem fez a escolha de usufruir do setor não ter abrangido todas as consequências da sua decisão, há a existência de uma externalidade. Que é definida pela OCDE (2002), como sendo a situação em que o efeito da produção ou consumo de um bem ou serviço impõe um efeito negativo ou benéfico em terceiros, não estando esse efeito refletido no preço cobrado pelo bem ou serviço.

Segundo van Essen et al. (2008), o custo externo é a diferença entre os custos sociais e os custos privados, quando os primeiros são superiores aos segundos. Em que os custos privados são apenas os que o utilizador efetivamente suporta e os sociais são a totalidade dos custos. Exemplificando com o caso dos transportes, os custos privados seriam os custos de desgaste e uso do veículo, bem como, das taxas sobre os transportes e os custos sociais seriam os custos de desgaste de infraestruturas, de congestionamento, de acidentes e de custos ambientais.

Desta forma, a perda de bem-estar devido às externalidades negativas pode ser quantificada pelo custo externo. Em que as preferências individuais tornam-se o indicador mais viável para valorizar as externalidades:

- WTP: *Willingness To Pay*. – Valor máximo disposto a pagar para uma melhoria e/ou para evitar algo indesejável.
- WTA: *Willingness To Accept*. – Valor mínimo disposto a aceitar para conviver com algo negativo, como compensação do mal.

Segundo o *Handbook on External Costs of Transport* (2014), para calcular uma estimativa para a WTP de um problema ambiental, como as alterações climáticas,

utiliza-se a abordagem *Impact Pathway Approach* (IPA). Esta abordagem foi especialmente desenvolvida para estudos da poluição do ar, e considera diferentes situações de risco, onde inclui custos diretos e indiretos para diminuir e reparar o dano, e quando este não pode ser reparado, compensar (Korzhenevych et al. 2014). A metodologia utilizada para calcular os custos dos danos marginais por unidade de poluição atmosférica, está apresentada posteriormente no ponto 5.2.3.2.

Tabela 4: Metodologia de estimação de custos externos de externalidades ambientais – Poluição do ar (Fonte: Korzhenevych et al. 2014)

| Externalidade | Melhor metodologia de estimação de custo |
|-------------------------------------|--|
| Poluição do ar (Saúde) | IPA a fazer uso de WTP para valorizar a vida humana (baseada nos anos de vida perdidos). |
| Poluição do ar (Danos em Materiais) | IPA a usar custos de reparação. |
| Poluição do ar (Danos na Natureza) | IPA a usar custo de perdas. |

5.2.3- Diretiva Eurovinheta

Desta forma, para calcular o custo externo da poluição do ar do respetivo estudo, utiliza-se a emenda à *Diretiva 1999/62/CE do parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Junho de 1999*, também conhecida por Diretiva Eurovinheta, relativa à aplicação de imposições aos veículos pesados de mercadorias pela utilização de certas infraestruturas. Esta emenda, dada pela *Diretiva 2011/76/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Setembro de 2011* e elaborada através dos resultados do *Handbook on External Costs of Transport*, tem como objetivo minimizar o impacto do setor dos transportes nas alterações climáticas, o congestionamento, a poluição atmosférica e sonora, bem como integrar os requisitos de proteção do ambiente. Para isso, possui uma metodologia para calcular o custo externo de algumas externalidades. No caso do custo externo da poluição do ar, a metodologia sugerida baseia-se na *Equação (5.1)*, juntamente com certos valores limite apresentados no *Anexo I*.

Equação (5.1):

$$PCV_{i,j} = \sum_k (EF_{i,k} \times PC_{j,k})$$

Sendo, $PCV_{i,j}$ o custo da poluição atmosférica para um veículo da classe i e uma estrada do tipo j (euros/veículo.kilómetro); $EF_{i,k}$ o fator de emissão para um poluente k e um veículo da classe i (gramas/veículo.kilómetro); e $PC_{j,k}$ o custo para um poluente k e uma estrada do tipo j (euros/grama).

Para que seja possível aplicar a equação descrita anteriormente, e desta forma calcular o custo externo associado à poluição atmosférica PCV , é necessário desagrupar a equação em 2 partes. Nomeadamente:

5.2.3.1- Fator de Emissão – EF

Considera-se o fator de emissão, um valor representativo com o intuito de relacionar a quantidade de um poluente emitido para a atmosfera, com uma atividade associada à emissão desse poluente (EPA, 2016).

Tradicionalmente, a metodologia utilizada para calcular os fatores de emissão no setor dos transportes baseia-se no projeto ARTEMIS. Este é um projeto da Comissão Europeia que foi desenvolvido para criar um modelo de emissões afinado, fornecendo estimativas consistentes de emissões tanto a nível regional como nacional e internacional. Para calcular os fatores de emissão relacionados com veículos pesados, o projeto ARTEMIS utiliza o modelo PHEM que engloba: caracterização do veículo; ciclo de condução; mapa de emissão do motor e curva de carga total. No entanto encontra-se um grande entrave à medição deste tipo de veículos, pois não têm um número suficiente de medições a motores por cada segmento de frota dos mesmos (Rexeis et al. 2005).

Posto isto, para a realização deste estudo, opta-se por aceder aos dados da plataforma *on-line* HBEFA (*Handbook Emission Factors for Road Transport*), onde são fornecidos os fatores de emissão para todas as categorias de veículos atuais, incluindo os autocarros urbanos, conseguindo desta forma dividir a categoria do veículo e a

variedade de situação de trânsito. Nesta plataforma são fornecidos fatores de emissão por país (nomeadamente: Alemanha, Áustria, França, Noruega, Suécia e Suíça – países que fazem parte do projeto) para todos os poluentes regulamentados e não regulamentados mais importantes, lembrando que apenas os poluentes NOx e PM são abordados neste estudo, através da versão HBEFA 3.3, no ano de 2010 (HBEFA, 2017).

Tabela 5: Fatores de Emissão dos poluentes NOx e PM com a categoria de veículo Autocarro Urbano, no ano 2010 (Fonte: HBEFA, 2017)

| | Alemanha | Áustria | França | Noruega | Suécia | Suíça | Unidade |
|------------------------------|----------|---------|--------|---------|--------|-------|-----------|
| NOx | 8,431 | 9,005 | 9,272 | 7,484 | 9,022 | 9,034 | [g/Vehkm] |
| PM | 0,115 | 0,2 | 0,187 | 0,131 | 0,16 | 0,097 | [g/Vehkm] |
| Fator de Emissão - EF | | | | | | | |

5.2.3.2- Custo de um poluente – PC

Para esta última parte, foram assumidos os valores tabelados no estudo realizado por Brandt *et al.* (2010) sobre custos de danos marginais por unidade de poluição atmosférica, este estudo é baseado na abordagem IPA e utiliza o modelo EVA (*Economic Valuation of Air Pollution*). Este modelo apresenta valores monetários atribuídos a poluentes emitidos por diferentes setores, em que os resultados dizem respeito aos custos associados a vários impactos a que esse poluente dá origem, nomeadamente danos na saúde. A avaliação monetária realizada no modelo EVA é baseada em WTP (Brandt et al. 2010). Onde na seguinte tabela, são apresentados os custos por kg de emissão:

Tabela 6: Custos por kg de emissão para o tráfego rodoviário em 2010 (Fonte: Brandt et al. 2010)

| País | N [€/ kg] | PM [€/kg] |
|------|--------------|--------------|
| PT | 14,7 | 37,1 |

Para o custo por kg de emissão de NOx, o preço da tabela deverá ser dividido pelo seguinte fator de conversão:

- fator de conversão entre N (azoto) e NOx é $(14 + 2 * 16) / 14 = 3,2857$.

Este modelo utiliza a localização da estrada “j” (interurbana, suburbana ou autoestrada) para diferenciar um custo monetário do poluente, no entanto para Portugal os valores indicados para NOx e PM não alteram em função da estrada “j”. Desta forma, adaptada ao presente estudo, a variável $PC_{j,k}$ da *Equação (5.1)* pode ser descrita apenas como PC_k (Silva, 2014). Onde os dados utilizados por poluente terão de ser convertidos de €/kg para €/g.

5.3- Avaliação, em termos económicos e ambientais da viabilidade da substituição da atual frota de autocarros de Lousada, considerando as alternativas: convencional e elétrica

A viabilidade do projeto de investimento será avaliada através do VAL – Valor Atual Líquido. Entende-se como valor atual, o valor hoje de um determinado montante a alcançar no futuro. Este critério de avaliação implica o cálculo do valor atual de todos os *cash-flows* relacionados com o projeto. Estes *cash-flows* apenas surgem no futuro, o que é necessário atualiza-los a uma taxa, que se designa por taxa de desconto, para depois compará-los com o valor do investimento inicial (Soares et al. 2015). De seguida, será apresentada a equação para a execução do VAL:

Equação (5.2):

$$VAL = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i}$$

Onde:

I₀ = Investimento em Capital Fixo

CF = Cash-Flow Operacional

K = Taxa de desconto

Neste caso é feita uma análise comparativa apenas em termos de custos, já que não se prevê qualquer alteração das componentes relativas às receitas.

Capítulo 6. Resultados e Discussão

Como anteriormente referido, para a realização deste estudo foi feita a seleção de uma frota já existente, concretamente a frota do Município de Lousada, que apresenta 11 autocarros urbanos disponíveis para deslocações no município, perfazendo um total de 90kms percorridos diariamente por autocarro.

Utilizou-se a metodologia de avaliação através do VAL, para determinar a viabilidade da substituição da atual frota de autocarros, considerando as alternativas convencional (a diesel) e elétrica, dando assim resposta à questão de investigação do presente estudo. Onde este, se baseia na diferença apurada para o investimento inicial e na diferença dos *cash-flows* gerados em cada uma das alternativas.

Para tal, foram tidas em conta variações do consumo de energia, das despesas de manutenção e dos custos de poluição atmosférica. Como se trata de uma avaliação do diferencial de custos - já que as receitas são assumidas pelos Serviços urbanos de Lousada como inalteráveis - tais variações são designadas por *cash-flows* operacionais, que são apresentadas e analisadas no decorrer do presente capítulo. Desta forma, pretende-se averiguar se o acréscimo no Investimento Inicial (superior na alternativa elétrica) é compensado pelos *cash-flows* gerados ao longo do período de análise.

Inicialmente realizou-se o cálculo da variação do consumo de energia, que teve por base os elementos apresentados no ponto 5.1.1 do anterior capítulo. Na *Tabela 7* são apresentados os resultados do mesmo:

Tabela 7: Variação do consumo de combustível entre autocarros convencionais e elétricos, em função da frota do Município de Lousada

| Cálculo da Variação do Consumo de Energia | |
|--|----------------|
| Variação do Consumo Anual = (H – D) x 12 meses x 21 dias x 11 | - 112 891,36 € |
| Custo Energia Consumida por dia: Convencional = (D) | 50,82 € |
| Custo Energia Consumida por dia: Elétrico = (H) | 10,09 € |
| Nº de autocarros urbanos | 11 |

A despesa diária de combustível por autocarro, que a Câmara de Lousada acarreta com o uso de autocarros convencionais, tem um valor bastante superior ao que poderia gastar. Diariamente, existiria uma poupança de 448,03€ no consumo de energia, caso a totalidade da frota fosse substituída por autocarros elétricos, perfazendo um valor anual de poupança em gastos de combustível de 112 891,36 €. Isto deve-se, ao facto do gasóleo ser bastante mais caro do que a eletricidade (PORDATA 2016a, 2016b). No entanto, esta diferença de valores poderia ainda ser maior, se o preço do carregamento dos autocarros fosse utilizado ao exato valor do mesmo. Para a realização deste estudo, foi usado o preço de eletricidade aplicado aos utilizadores industriais, que apesar de ser mais barato que o preço aplicado aos utilizadores domésticos acaba por ser mais caro do que o preço exercido para carregamento de viaturas. Devido à falta de dados dos preços de carregamento de eletricidade para autocarros, apenas existem dados fornecidos pela EDP para carregamento de viaturas ligeiras (EDP 2016), assumiu-se o preço da eletricidade ajustado aos utilizadores industriais.

Desta forma, pode-se verificar que a variação do consumo anual de energia é uma variável com notória representatividade na formação dos *cash-flows* operacionais. Sendo a variação do consumo de energia negativa quando comparadas as duas alternativas, pois os custos de consumo de energia por parte dos autocarros elétricos são bastante inferiores. No entanto, o valor da variação do consumo de energia (- 112

891,36 €) entra como um *cash-flow* positivo no que diz respeito à realização do cálculo do VAL.

Em seguida serão apresentados e analisados os cálculos relacionados com as despesas de manutenção, tendo por base os elementos apresentados no ponto 5.1.2 do anterior capítulo, expressos pela seguinte tabela:

Tabela 8: Variação da despesa de manutenção, entre autocarros convencionais e elétricos

| Cálculo da Variação da Despesa de Manutenção | |
|--|------------|
| Variação da Despesa Anual de Manutenção = (K x 12 meses x 11) | 7 920,00 € |
| Despesa Média de Manutenção Mensal – Convencional = (I) | 250,00 € |
| Despesa Média de Manutenção Mensal – Elétrico = (J) | 310,00 € |
| Nº de autocarros urbanos | 11 |

Ao utilizar autocarros convencionais na sua frota, a Câmara de Lousada incorre em despesas anuais de manutenção de 33 000€. Por sua vez, as despesas anuais de manutenção dos autocarros elétricos seriam um pouco superiores, sendo de 40 920€.

Seria de esperar que as despesas de manutenção dos autocarros elétricos fossem inferiores às dos autocarros convencionais, devido ao facto da máquina elétrica ser de baixa manutenção, exercer um menor esforço de travagem e não necessitar de mudanças de óleo (Rothgang et al. 2015). No entanto, apresentam-se despesas superiores derivadas da substituição das baterias, pois a vida útil destas poderá ser, mais ou menos, limitada consoante a sua correta utilização (carregamentos em excesso e descargas completas das baterias dos veículos elétricos, são exemplos de má utilização) (Noel e McCormack, 2014).

Assim sendo, verifica-se que a variação da despesa de manutenção é positiva quando comparadas as duas alternativas, pois os custos de manutenção dos autocarros elétricos

são superiores. No entanto o valor da variação da despesa de manutenção (7 920,00€) entra como um *cash-flow* negativo no que diz respeito à realização do cálculo do VAL. Contudo, devido à reduzida representatividade desta componente, por si só não terá impacte significativo no cálculo do mesmo.

Para finalizar o cálculo dos *cash-flows* utilizados no estudo, será apresentada na *Tabela 9* a variação dos custos de poluição atmosférica.

Tabela 9: Variação do custo de poluição atmosférica entre autocarros convencionais e elétricos, em função da frota do Município de Lousada

| Cálculo da Variação do Custo da Poluição Atmosférica | |
|---|---------------|
| Varição do Custo de Poluição Atmosférica Anual = (0 – PCV) x12 meses x 21 dias x 11 x 90 | - 12 079,82 € |
| PCV por autocarro convencional/ km = (EF_NOx x PC_NOx) + (EF_PM x PC_PM) | 0,0484 €/km |
| EF_NOx | 9,2720 g/km |
| EF_PM | 0,1870g/km |
| PC_NOx | 0,0045 €/g |
| PC_PM | 0,0371 €/g |
| Nº de autocarros urbanos | 11 |
| kms percorridos por dia/autocarro | 90 |

Para efetuar o cálculo do custo da poluição, tal como referido no ponto 5.2.3 do anterior capítulo, foi utilizada a metodologia de cálculo do custo externo da poluição atmosférica apresentada na Diretiva Eurovinheta – *Diretiva 2011/76/EU*. Visto que, no setor do transporte rodoviário ao serem pagas portagens já estão a ser calculadas despesas relacionadas com a utilização de infraestrutura, é possível incorporar nessa

taxa de utilização os custos externos baseados no custo da poluição atmosférica. Onde a taxa de externalidade deverá variar consoante o tipo de estrada e a categoria do veículo. Através da fórmula da Diretiva Eurovinheta (apesar de ser uma Diretiva relacionada com veículos pesados de mercadorias) descrita anteriormente, foi possível calcular o custo da poluição atmosférica da frota em estudo, pois esta tem em atenção o tipo de estrada e categoria do veículo. Não sendo utilizada nem referida, segundo o IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2017), uma Diretiva com a mesma funcionalidade da anterior, que aborde especialmente os veículos pesados de passageiros.

Contudo, para a obtenção das variáveis necessárias para a execução da fórmula utilizada na Diretiva Eurovinheta, foi necessário adaptar alguns dados ao presente estudo. Nomeadamente, dados relacionados com a variável Fator de Emissão – EF, visto que a plataforma consultada para a obtenção dos dados relacionados com os mesmos, não possuía informações sobre Portugal, foram assumidos os fatores de emissão da França. Devido à média de idades dos autocarros da frota de Lousada (mais de 7 anos), assumiu-se o país com maior índice nos fatores de emissão.

A variável Custo de um poluente – PC, foi o fator decisivo para a escolha dos poluentes estudados e para o ano de referência (2010) da avaliação do custo dos poluentes atmosféricos. Devido à metodologia utilizada para determinar o Custo de um poluente – PC (a metodologia utilizada por Brandt et al. 2010, baseado na abordagem IPA e modelo EVA), foi encontrada uma limitação ao presente estudo. Pois, esta só nos fornece dados do custo monetário das emissões do tráfego rodoviário dos poluentes S (enxofre), N e PM (conversão de N para NO_x), sendo escolhidos para este estudo, o cálculo do custo dos poluentes NO_x e PM. Não sendo, desta forma possível avaliar os custos da poluição causada pelos óxidos de carbono (CO e CO₂), sendo estes os poluentes emitidos com maior representatividade no setor dos transportes (CE, 2011d).

Mesmo consultando várias fontes, como o caso da organização VTPI – Victoria Transport Policy Institute (2017), não foi possível obter dados suficientes ou semelhantes para comparar com o respetivo estudo, que fossem exequíveis de avaliar o CO ou o CO₂ como um custo de poluente.

Posto isto, seguidamente serão analisados os resultados dos cálculos dos custos externos da poluição atmosférica. Onde, ao comparar-se a contribuição detalhada de cada um dos poluentes em estudo, para o cálculo do PCV da referida frota (11 autocarros), constata-se que o poluente NOx tem uma maior contribuição em comparação com as PM. O custo diário da externalidade poluição para o poluente NOx é de 41,283€ e para as PM é de 6,831€, perfazendo um total diário do PCV de 48,114€. Apesar do custo de poluição das PM ser maior do que o do NOx, tal acontece, pelo facto do fator de emissão do NOx ser muito superior ao fator de emissão das PM.

Ao analisar as variações dos custos da poluição atmosférica, assume-se que os autocarros elétricos não apresentam qualquer emissão referente aos poluentes em estudo, bem como em relação aos outros poluentes existentes, tal como representa a *Tabela 2*, sobre os dados fornecidos pelo concessionário de transportes públicos. Assim sendo, a Câmara Municipal de Lousada ao usar autocarros convencionais acartaria com custos externos de poluição anual para NOx e PM de 12 079,82€.

Assumindo-se que os autocarros elétricos não produzem qualquer tipo de poluição, a variação de custos externos anuais associados à poluição de NOx e PM, é apresentado como valor negativo de -12 079,82€. Desta forma a melhor opção seria a frota elétrica, visto que a redução dos custos externos representa uma componente positiva para a formação dos *cash-flows* do projeto.

Analisadas todas as componentes que formam os *cash-flows* incrementais do projeto, segue-se a respetiva análise do VAL, em termos do ponto 5.3 do capítulo anterior. Para o auxílio da elaboração da análise financeira e ambiental da viabilidade do presente estudo, foram utilizados os seguintes pressupostos:

- Considera-se que o valor residual da atual frota de autocarros de Lousada é de 0%. Ou seja, o investimento inicial para qualquer uma das alternativas de mobilidade (seja convencional ou elétrica), neste estudo é total;
- Não foi considerado o efeito da inflação no cálculo dos *cash-flows*, isto significa que a análise seja a preços contantes;
- A taxa de desconto utilizada foi a Taxa de Obrigações do Tesouro a 10 anos, de 2%. Tal como vigorou a Fevereiro de 2015 pelo leilão de emissão de bilhetes de

Tesouro (IGPC 2015). Não foi considerado prémio de risco associado à taxa de desconto, porque se assume que está implícito e também porque o projeto é referente à prestação de um serviço público, não havendo por isso priorização do objetivo de retorno do investimento.

- Assume-se que o valor residual de ambos os autocarros é zero, uma vez que a incerteza das alterações tecnológicas futuras, provoca incerteza do valor de cada tipo de autocarro no final da sua vida útil, tal como refere Laizans (2016). Esta é uma forma de assumir uma posição adversa ao risco;
- Utiliza-se como referência temporal, 21 dias. Visto que a frota de autocarros de Lousada só funciona em dias úteis.

Através dos *cash-flows* anteriormente analisados e dos pressupostos apresentados, é feita então a análise comparativa das duas alternativas de mobilidade, para a frota do Município de Lousada. Na seguinte tabela, são apresentadas detalhadamente as variáveis utilizadas para o cálculo do VAL.

Tabela 10: Descrição das variáveis utilizadas no cálculo do VAL

| Descrição das variáveis | Montante |
|--|------------------|
| Investimento em Capital Fixo (194.000€ – 500.000€) x 11 | - 3 366 000,00 € |
| Cash-Flow Operacional (a+b+c) | 117 051,19 € |
| a) Variação Consumo Energia | 112 891,36 € |
| b) Variação Despesa de Manutenção | -7 920,00 € |
| c) Variação Custo Poluição Atmosférica | 12 079,82 € |
| Taxa de Desconto | 2% |
| Período de Análise | 15 anos |

Através das variáveis expostas anteriormente, é possível analisar a viabilidade da substituição da atual frota, tendo em conta as alternativas autocarros convencional e autocarro elétrico, executada segundo a metodologia VAL. Para tal, o *cash-flow operacional* (117 051,19€) é atualizado à taxa de desconto aplicada e avaliado num período de 15 anos. Na seguinte tabela são apresentados os resultados obtidos do *cash-flow operacional* atualizado ao ano 1, 5, 10 e 15 (onde os restantes anos serão apresentados no *Anexo II*):

Tabela 11: *Cash-flow* operacional atualizado ao ano 1, 5, 10 e 15

| Ano | 1 | 5 | 10 | 15 |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------|
| <i>Cash-flow operacional atualizado</i> | 114 756,064€ | 106 016,865€ | 96 022,741€ | 86 970,755€ |

Ao analisar esta tabela, pode-se compreender que de ano para ano os valores de retorno do *cash-flow* operacional, vão desvalorizando. Atingindo uma diferença de 27 785,309€ do primeiro ano para o último.

Na seguinte tabela, é apresentado o VAL associado à viabilidade da substituição da frota de autocarros convencionais por elétricos:

Tabela 12: Cálculo do VAL

| | |
|----------------------------|------------------------|
| ΔI_0 | -3 366 000,00€ |
| Total Cash-flow atualizado | 1 504 021,52€ |
| VAL | - 1 861 978,48€ |

Como se pode verificar, o VAL deste projeto de investimento é de **- 1 861 978,48€**, não apresentando desta forma viabilidade do ponto de vista económico-financeiro, visto que o VAL é ≤ 0 . Ou seja, nem num prazo de 15 anos a substituição de autocarros

convencionais por elétricos da frota de autocarros do Município de Lousada seria rentável.

É notório que a introdução de autocarros elétricos na frota de Lousada, representa uma diminuição do custo do consumo de energia e uma obtenção de benefícios pelos aspetos ambientais, mas o retorno do investimento continua a ser insuficiente.

As principais causas para este estudo apresentar rentabilidades negativas, estão fortemente relacionadas com o valor do investimento inicial dos autocarros elétricos. Estes apresentam um investimento inicial bastante elevado em comparação com o do autocarro convencional, sendo um investimento quase 3 vezes superior. Laizans et al. (2016) apresentam conclusões semelhantes ao apurado neste estudo, onde identifica que a principal razão para que a substituição de autocarros convencionais por elétricos não seja rentável, é devido ao elevado investimento inicial que se encontra associado a custos relacionados com as baterias.

No entanto, existem outras causas que podem justificar as rentabilidades negativas obtidas. Tais, encontram-se relacionadas com as limitações metodológicas encontradas ao longo deste estudo.

O facto de não se considerar os cálculos dos preços dos poluentes associados aos óxidos de carbono (CO e CO₂), sendo estes os poluentes emitidos em maior número na combustão de combustíveis fósseis, poderá explicar os valores negativos obtidos do VAL. Pois ao considerar estes poluentes, o custo associado com a poluição atmosférica iria aumentar, levando a um maior abatimento na variação do investimento inicial entre os autocarros.

Outra limitação metodológica encontrada ao longo do estudo, que poderia interferir com o valor negativo do VAL tornando-o positivo, foi o uso inapropriado do preço da eletricidade para carregamento do autocarro. Como anteriormente referido, foi utilizado o preço de eletricidade aplicado aos utilizadores industriais da mesma, no entanto, se o preço fosse ajustado ao exato valor aplicado ao carregamento de autocarros elétricos, já se encontraria outra situação. Variações de custo de consumo de energia mais elevadas do que as apuradas neste estudo, levariam à obtenção de valores mais elevados dos *cash-flows* operacionais.

Por outro lado, a justificação para um VAL negativo pode ser dada pela distância percorrida pelas viaturas. Ou seja, para um investimento nesta ordem de grandeza a distância percorrida teria de ser maior, de forma a rentabilizar o mesmo.

Posto isto, de seguida é apresentado um cenário alternativo considerando uma variação na distância percorrida por dia, por cada viatura de 90 kms para 225 kms.

Tabela 13: Descrição das variáveis utilizadas no cálculo do VAL – Cenário alternativo

| Descrição variáveis | Montante |
|--|-----------------|
| Investimento em Capital Fixo (194.000€ - 550.000€) x 11 | -3 366 000,00 € |
| Cash-Flow Operacional (a+b+c) | 304 507,96 € |
| a) Variação Consumo Energia | 282 228,41 € |
| b) Variação Despesa de Manutenção | -7 920,00 € |
| c) Variação Custo Poluição Atmosférica | 30 199,56 € |
| Taxa de Desconto | 2% |
| Período de Análise | 15 anos |

Simulando o aumento do número de kms percorridos para pouco mais do dobro, tal como seria de esperar os valores dos *cash-flows* dependentes da constante kms percorridos, também aumentaram. Ou seja, houve uma alteração da variação do consumo de energia e da variação da poluição atmosférica entre os autocarros convencional e elétrico.

Na *Tabela 14*, é apresentado o VAL associado à viabilidade da substituição da frota de autocarros convencionais por elétricos, considerando o cenário alternativo – 90kms para 225kms.

Tabela 14: Cálculo do VAL – Cenário alternativo

| | |
|----------------------------|--------------------|
| ΔI_0 | -3 366 000,00€ |
| Total Cash-flow atualizado | 3 912 703,06€ |
| VAL | 549 703,06€ |

Como se pode verificar, perante este cenário alternativo o VAL é de **546 703,06€**, sendo desta forma um investimento viável do ponto de vista económico-financeiro, dado que $VAL \geq 0$.

Desta forma, compreende-se que a substituição de autocarros convencionais por elétricos, considerando o cenário alternativo de aumento da distância percorrida de 90kms para 225kms, começaria a ser viável a um prazo de 13 anos (ver *Anexo 3*). Ou seja, num prazo de 13 anos não seria rentável devido aos altos custos de investimento inicial dos autocarros elétricos, mas tornar-se-ia mais barato do que um autocarro convencional nos anos seguintes, devido aos altos custos do gasóleo em comparação com a eletricidade e aos custos externos aplicados à poluição atmosférica. Tendo em conta que os autocarros quer elétrico quer convencional tem uma média de vida de 15 anos, o prazo de benefícios monetários seria apenas de 2 anos. No entanto, como se trata de um serviço público que tem como objetivo apenas servir a população e não o objetivo de retirar receitas, este cenário continuaria a ser viável.

Capítulo 7. Conclusão

A emergente necessidade de reduzir a dependência do setor dos transportes em relação aos combustíveis fósseis e consequentemente conduzir a reduções de emissões de poluentes para a atmosfera, fez com que surgissem alternativas ao convencional sistema de mobilidade.

O presente estudo optou por seleccionar a alternativa elétrica, e direcioná-la para os transportes públicos, nomeadamente o transporte rodoviário realizado através de autocarros urbanos. Desta forma, o estudo teve como principal objetivo compreender a viabilidade da substituição da atual frota de autocarros do Município de Lousada, tendo em conta as alternativas autocarros convencionais e autocarros elétricos.

Posto isto, hipoteticamente pode-se concluir que a nível ambiental a implementação de autocarros elétricos na frota de Lousada, traria consigo adjacentes, importantes considerações. Visto que, ao efetuar a troca de autocarros, monetariamente existiria uma poupança anual de 12 079,82€ em relação à emissão de NOx e PM. Ou seja, ao funcionarem os autocarros elétricos ao invés dos convencionais a gásóleo existiria uma significativa redução de emissões, estando estas representadas neste estudo em custos externos.

Por outro lado, a nível económico-financeiro o projeto de investimento para a substituição da atual frota de autocarros de Lousada por autocarros elétricos, não é viável, apresentando rentabilidades negativas. No entanto, se a atual frota de autocarros registasse um desenvolvimento dos seus serviços, aumentando o número de kms percorridos, conseguindo assim servir todas as freguesias do concelho e aumentando o número de viagens diárias, a substituição de autocarros urbanos convencionais para elétricos já seria viável do ponto de vista económico-financeiro.

A possível solução para tornar esta substituição possível e viável tanto em termos financeiro-económicos como ambientais em função da rota apresentada, seria o apoio governamental à compra de autocarros elétricos. No entanto, atualmente a UE não tem ainda objetivos de eletrificação relacionados com os transportes públicos e consequentemente não padece de apoio financeiro para os mesmos.

Dada a falta de apoio direto por parte de políticas europeias quanto a objetivos de eletrificação, o POSEUR – Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (2016) associado ao programa de fundos comunitários Portugal 2020, poderia vir a ser a solução mais plausível para auxiliar o eventual projeto de investimento em autocarros elétricos por parte do Município de Lousada. Visto que este programa apoia a implementação de medidas de eficiência energética em termos de transportes públicos de passageiros para todos os tipos de territórios.

Durante a elaboração deste trabalho, como anteriormente referidas foram encontradas algumas limitações, tais como: o uso inapropriado do preço da eletricidade para carregamento de autocarros e a ausência do cálculo do custo externo de poluição do ar dos óxidos de carbono (CO e CO₂). Estas limitações registaram-se devido à falta de informação e apoio bibliográfico, podendo ter sido estas decisivas para os resultados obtidos serem positivos quanto a viabilidade da substituição.

Quanto a trabalhos futuros, seria importante que estes conseguissem superar as limitações encontradas neste estudo, para assim, poderem obter resultados mais concretos e assertivos. E seria interessante de um ponto de vista ambiental e económico, que estudos futuros incluíssem os custos externos originados pelo ruído provocado pelos transportes públicos.

Referências bibliográficas

AEA – Agência Europeia do Ambiente (2015a), *Size of the vehicle fleet*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/size-of-the-vehicle-fleet/size-of-the-vehicle-fleet-7>. Acedido em 27- 1- 2017

AEA – Agência Europeia do Ambiente (2015b), *Nitrogen oxides (NOx) emissions*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-nitrogen-oxides-nox-emissions-1>. Acedido em: 20-5-2017

AEA – Agência Europeia do Ambiente (2015c), *Emissions of primary PM_{2,5} and PM₁₀ particulate matter*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-primary-particles-and-5/assessment-3>. Acedido em: 20-5-2017.

AEA – Agência Europeia do Ambiente (2016a) *Transitions towards a more sustainable mobility system*, TERM (2016) 1050, Copenhagen.

Agência Europeia do Ambiente (2016b), *Final energy consumption by mode of transport*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-6>. Acedido em 3-2-2017

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2015), *O Ruído e a Cidade*. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf, Acedido em: 14.1.2017

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2017a), *QualAr – Base de Dados Online sobre a Qualidade do Ar*. Disponível em: <http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=1>. Acedido em 15-5-2017.

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2017b), *QualAr – Base de Dados Online sobre a Qualidade do Ar - Medições*. Disponível em: <http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=2>. Acedido em 15-5-2017.

Alvez Fabiano, M. L. (2013), “A importância do investimento e do planeamento em infraestrutura de transportes”, *Revista de Economia Mackenzie*. Vol. 11, Nº 3, pp.10-27.

Beirão, G. e J. A. S. Cabral, (2007), “Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study”, *Transport Policy*, Vol.14, pp. 478–489.

Berglund, B., T. Lindvall e D. Schwela, (1999), *Guidelines for Community Noise*. Genova : World Health Organization.

Borén, S., L. Nurhadi, H. Ny K. Robèrt, G. Broman e L. Trygg, (2017), “A strategic approach to sustainable transport system development e Part 2: the case of a vision for electric vehicle systems in southeast Sweden”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, pp.62-71.

Brandt, J., J. D. Silver, A. Gross e J. H. Christensen, (2010) “Marginal damage costs per unit of air pollution emissions”. *National Environmental Research Institute, Aarhus University*.

CE – Comissão Europeia (2011a), *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Roteiro para a Energia 2050*, COM (2011) 885, Bruxelas.

CE – Comissão Europeia (2011b) *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050*, COM (2011) 112, Bruxelas.

CE – Comissão Europeia. (2011c). *Síntese da avaliação de impacto. Documento de acompanhamento do Livro Branco. Roteiro do espaço único europeu dos transportes – Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos* Bruxelas, 28/3/2011. SEC(2011) 359 final.

CE – Comissão Europeia (2011d), *WHITE PAPER: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*, Brussels.

CE – Comissão Europeia (2014a), *Road Transport: Reducing CO2 Emissions from Vehicles*.

Disponível em http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm. Acedido em:

4.1.2017.

CE – Comissão Europeia (2014b) *Compreender as políticas da União Europeia: Transportes*, Bruxelas.

CE – Comissão Europeia (2016), *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions - A European Strategy for Low-Emission Mobility*. Brussels, 20/7/2016 SWD(2016) 244 final.

CML – Câmara Municipal de Lousada (2014), *Plano Estratégico de Desenvolvimento Intermunicipal*. Disponível em: <http://www.cm-lousada.pt/pt/plano-estrategico-municipal>. Acedido em 12-5-2017.

CML – Câmara Municipal de Lousada (2016), *Relatório de Sustentabilidade do Município*. Disponível em: <http://www.cm-lousada.pt/pt/relatorio-de-sustentabilidade-do-municipio>. Acedido em 10-5-2017.

CML – Câmara Municipal de Lousada (2017a), *Transportes Públicos*. Disponível em: <http://www.cm-lousada.pt/pt/transportes-publicos>. Acedido em 10-5-2017.

CML – Câmara Municipal de Lousada (2017b), *Plano Municipal de Ambiente*. Disponível em: <http://www.cm-lousada.pt/pt/plano-municipal-de-ambiente>. Acedido em 12-5-2017.

CMP – Câmara Municipal de Paredes (2016), *Mensagem do Presidente*. Disponível em: <http://www.cm-paredes.pt/pages/330>. Acedido em 7-6-2017.

CMPF – Câmara Municipal de Paços de Ferreira (2016), *Diagnóstico Social*. Disponível em: http://www.cm-pacosdeferreira.pt/files/diag_social.pdf. Acedido em 7-6-2017.

CMST – Câmara Municipal de Santo Tirso (2017), *Município*. Disponível em: <https://www.cm-stirso.pt/pages/106>. Acedido em: 7-6-2017.

Cruz S. I. e T. Katz-Gerro, (2016), “Urban public transport companies and strategies to promote sustainable consumption practices”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 123, pp. 28-33.

CUE – Conselho da União Europeia (2006), *Reapreciação da Estratégia da UE para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) – Nova estratégia*. Bruxelas.

den Boer, L. C. e A. Schrotten, (2007), “Traffic noise reduction in Europe: health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise.” *CE Delft*.

Duarte, G., C. Rolim e B. Baptista, (2016), “How battery electric vehicles can contribute to sustainable urban logistics: A real-world application in Lisbon, Portugal”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 15, pp. 71-78.

EDP (2016), O future da mobilidade é elétrico – simples eficiente e sustentável. Disponível em: <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/mobilidade-eletrica/#vantagens>. Acedido em 25-7-2017.

Eibel D. e C. P. Chu (2013), “The future of sustainable transport system for Europe”, *AI & Society- Springer*, Vol. 29, pp.387-402.

EPA – Environmental Protection Agency (2016), *Air Emissions Factors and Quantification*. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification#AboutEmissionsFactors>. Acedido em 20-6-2017.

Eurostat (2016), *Greenhouse gas emissions from transport – million tonnes of CO2 equivalent*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&pcode=tsdtr410&language=en> Acedido em 15-6-2017.

Eurostat (2017), *Passenger cars in the EU*. Disponível em: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_cars_in_the_EU. Acedido em 15-6-2017.

Faria, R., P. Marques, P. Moura, F. Freire, J. Delgado e A. Almeida, (2013), “Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24, pp. 271-287.

Glantz-Richter, M. e H. Koch, (2016), “Electrification of Public Transport in Cities (Horizon 2020 ELIPTIC Project)”, *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, pp. 2614-2619.

Gonçalves, T. A. (2012), Recensão do livro “Cidade em Transição. Nobilitação Urbana. Estilos de Vida e Reurbanização em Lisboa”, *Cidades, Comunidades e Territórios*, pp.88-93.

Gopinath, M. e P. M. Upadhyay, (2002), "Human Capital, Technology, and Specialization: A Comparison of Developed and Developing Countries”, *Journal of Economics*, Vol. 75, Nº2, pp. 161-179.

Greene, D. L. e M. Wegener, (1997), “Sustainable transport”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 5, pp. 177–190.

Graurs, I., A. Vizulis, A. Rubenis e A. Laizāns, (2014), “Wireless energy supply to public transport units with hybrid drive – trends and challenges”, *Transport and Telecommunication*, Vol. 15, no 1, pp.67–76.

HBEFA – Handbook Emission Factors for Road Transport (2017), *HBEFA – Introduction*, Disponível em: <http://www.hbefa.net/e/index.html>. Acedido em 5-6-2017.

IGPC - Agência de Gestão da Tesouraria e da Dívida Pública (2015), *Obrigações do Tesouro – Leilões de obrigações de Tesouro*. Disponível em: <https://www.igcp.pt/pt/menu-lateral/leiloes/obrigacoes-do-tesouro/>. Acedido em 27-7-2017.

IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2017), *Regulamentação da Atividade / Licenciamento de Empresas de Transporte de Passageiros em Autocarro*. Disponível em: <http://www.imtip.pt/sites/IMTT/Portugues/Legislacao/Nacional/TransporteRodoviar/TranspPassageirosVe%C3%ADculosPesados/Paginas/TransportePassageirosVeiculosPesados.aspx>. Acedido em 23-7-2017.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2016 a), *Retorno de Informação Personalizada dos Municípios*. Disponível em: <https://www.ine.pt/documentos/municipios/1305.pdf>. Acedido em 11-5-2017.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2016b), *Anuário Estatístico da Região Norte – 2015*. Disponível em:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOSp_ub_boui=277107132&PUBLICACOESmodo=2. Acedido em 11-5-2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), *Climate Change 2014 – Synthesis Report*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acedido em 10.1.2017.

Korzhenevych, A., N. Dehnen, J. Bröcker, M. Holtkamp, H. Meier, G. Gibson, A. Varma e V. Cox, (2014), “Update of the Handbook on External Costs of Transport – Final Report”, *DG Mobility and Transport*.

Krawiec, S., G. Karoń, R. Janecki, G. Sierpiński, K. Krawiec e S. Markusik, (2016), “Economic conditions to introduce the battery drive to busses in the urban public transport”, *Transportation Research Procedia*, Vol. 4, pp. 2630-2639.

Laizans, A., I. Graurs, A. Rubenis e G. Utehin, (2016), “Economic Viability of Electric Public Buses: Regional Perspective”, *Procedia Engineering*, Vol. 134, pp. 316-321.

Lozano, R., (2008), “Developing collaborative and sustainable organizations”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, pp. 499-509.

Majumdar, D., B. K. Majhi, A. Dutta, R. Mandal e T. Jash, (2015), “Study on possible economic and environmental impacts of electric vehicle infrastructure in public road transport in Kolkata”, *Clean Techn Environ Policy*, Vol. 17, pp. 1093-1101.

Nanaki, A. e J. Koroneos, (2013) “Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles - the case study of Greece”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 53, pp. 261-266.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2012), *NOAA, partners: Earth’s oceans and ecosystems still absorbing about half the greenhouse gases emitted by people*. Disponível em:

http://www.noaanews.noaa.gov/stories2012/20120801_esrlcarbonstudy.html. Acedido em 5.1.2017.

Noel, L. e R. McCormack, (2014), “A cost benefit analysis of a V2G-capable electric school bus compared to a traditional diesel school bus”, *Applied Energy*, Vol. 126, pp. 246-255.

Nurhadi, L., S. Borén e H. Ny, (2014), “Advancing from Efficiency to Sustainability in Swedish Medium-sized Cities: An Approach for Recommending Powertrains and Energy Carriers for Public Bus Transport Systems”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 111, pp.586-595.

OCDE (2002) *Glossary Stat Terms*. Disponível em: http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/coded_files/OECD_glossary_stat_terms.pdf Acedido em 4-6-2017.

Orban, E., K. McDonald, R. Sutcliffe, B. Hoffmann, K. B. Fuks, N. Dragano, A. Viehmann, R. Erbel, K. Jöckel, N. Pundt e S. Moebus, (2016) “Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study.”, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 124, nº 5, pp. 578-585.

Perrotta, D., J. Macedo, R. Rossetti, J. Sousa, Z. Kokkinogenis, B. Ribeiro e J. Afonso, (2014), “Route planning for electric buses: a case study in Oporto”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 111, pp. 1004-1014.

PORDATA (2016a), *Preços médios de venda ao público dos combustíveis líquidos e gasosos – Continente – Portugal*. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Pre%C3%A7os+m%C3%A9dios+de+venda+ao+p%C3%BAblico+dos+combust%C3%ADveis+l%C3%ADquidos+e+gasosos+%E2%80%93+Continente-1265> Acedido em 23-6-2017.

PORDATA (2016b), *Preços da eletricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU) – Europa*. Disponível em: [https://www.pordata.pt/Site/MicroPage.aspx?DatabaseName=Europa&MicroName=Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)&MicroURL=1477&](https://www.pordata.pt/Site/MicroPage.aspx?DatabaseName=Europa&MicroName=Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+(Euro+ECU)&MicroURL=1477&) Acedido em 26-6-2017.

PORDATA (2017a), *Consumo de energia final: total e por tipo de sector consumidor – Europa*. Disponível em:

<http://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+total+e+por+tipo+de+sector+consumidor-1397-211952>. Acedido em 15-6-2017.

PORDATA (2017b), *Emissão de gases com efeito de estufa (potencial de aquecimento global): por alguns sectores de emissão de gases (%) – Europa*. Disponível em:

[http://www.pordata.pt/Europa/Emiss%C3%A3o+de+gases+com+efeito+de+estufa+\(potencial+de+aquecimento+global\)+por+alguns+sectores+de+emiss%C3%A3o+de+gases+\(percentagem\)-1724-205338](http://www.pordata.pt/Europa/Emiss%C3%A3o+de+gases+com+efeito+de+estufa+(potencial+de+aquecimento+global)+por+alguns+sectores+de+emiss%C3%A3o+de+gases+(percentagem)-1724-205338) Acedido em 15-6-2017.

POSEUR (2016), *Aviso-Concurso destinado à Promoção da eficiência energética nos transportes públicos coletivos de passageiros incumbidos de missões de serviço público*. Disponível em:

<https://poseur.portugal2020.pt/pt/candidaturas/avisos/poseur-07-2016-71-promo%C3%A7%C3%A3o-da-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-nos-transportes-p%C3%BAblicos-coletivos-de-passageiros-incumbidos-de-miss%C3%B5es-de-servi%C3%A7o-p%C3%BAblico/>. Acedido em 1-8-2017.

Rexeis M., S. Hausberger, I. Riemersma, L. Tartakovsky, Y. Zvirin, M. V. Poppel e E. Cornelis, (2005), “Heavy duty vehicle emissions -Final Report for ARTEMIS WP 400”.

Rizzi, L. I. e C. De La Maza, (2017), “The external costs of private versus public road transport in the Metropolitan Area of Santiago, Chile”, *Transportation Research*, Vol. 98, pp. 123-140.

Robert, K.H., S. Bor, H. Ny e G. Broman, (2016), “A strategic approach to sustainable transport system development e part 1: attempting a generic community planning process model”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, pp. 53-61.

Rogge, M., S. Wollny e D. U. Sauer, (2015), “Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements”, *Energies*, Vol. 8, pp. 4587-4606.

Rosenzweig, C, W. Solecki, S. A. Hammer e S. Mehrotra, (2010), “Cities lead the way in climate-change action. Scientists should do the research to help mayors prepare for a warming world, say”, *Nature*, Vol. 467, pp. 909-911.

- Rothgang, S., M. Rogge, J. Becker e D. U. Sauer, (2015), “Battery Design for Successful Electrification in Public Transport”, *Energies*, Vol. 8, pp. 6715-6737.
- Schill, Wolf-Peter (2011), “Electric Vehicles in imperfect electricity markets: The case of Germany”, *Energy Policy*, Vol. 39, pp. 6178-6189.
- Silva, A. (2014), *Quantificação de custos externos ambientais no sector dos transportes rodoviários: aplicação a veículos pesados de mercadorias*. Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Soares, I., J. Couto, J. Moreira e C. Pinho (2015), “*Decisões de Investimento – Análise financeira de projetos*”, Portugal: Edições Sílabo.
- Stern, N. (2006), *Stern Review: The economics of Climate Change*.
- Skrzypek, M., M. Kowalska, E. M. Czech, E. Niewiadomska e J. E. Zejda, (2017) “Impact of road traffic noise on sleep disturbances and attention disorders amongst school children living in upper Silesian industrial zone, Poland”, *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, Vol. 30, nº 3, pp.511-520.
- Tietge, U., P. Mock, N. Lutsey e A. Campestrini, (2016) “Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe”, *International Council on Clean Transportation, Berlin*.
- Tzeng, G., C. Lion e S. Opricovic, (2005), “Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation”, *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 1373-1383.
- UITP (2009), *Buses today and tomorrow*. Disponível em <http://www.uitp.org/buses-today-and-tomorrow>. Acedido em 26-1-2017.
- UITP (2016), *Activity Report 2014 & 2015*. Disponível em: http://www.uitp.org/sites/default/files/About_UITP/ActivityReport/UITP_Activity%20Report_2014_2015_LR.pdf . Acedido em: 6.1.2017.
- UE - União Europeia (2014) *Política de transportes da UE*. Disponível em: https://europa.eu/european-union/topics/transport_pt . Acedido em: 6.1.2017.
- van Essen, H. P., B. H. Boon, A. Schrotten e M. Otten, (2008), “Internalisation measures and policy for the external cost of transport” *CE Delft*.

VTPI (2017), “Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs”, *Victoria Transport Policy Institute*, Canada.

Xylia, M., S. Leduc, P. Patrizio, F. Kraxner e S. Silveira, (2017), “Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm”, *Transportation Research Part C*, Vol.78, pp. 183–200.

Wallington, T. J., J. L. Sullivan e M. D. Hurley, (2008), “Emissions of CO₂, CO, NO_x, HC, PM, HFC-134a, N₂O and CH₄ from the global light duty vehicle fleet”, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 17, N° 2, pp. 109-116.

Wang, X. e J. González, (2013), “Assessing Feasibility of Electric Buses in Small and Medium-Sized Communities”, *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 7, N° 6, pp. 431-448.

WCED – World Commission on Environment and Development (1987). Our common future. World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission); Oxford University Press (ed.), Oxford.

World Bank (2011) “The China New Energy Vehicles Program: challenges and opportunities, Technical Report.” *PRTM – Management Consultants, Inc.*, Beijing.

WRI – World Resources Institute (2012), *EMBARQ – Exhaust Emissions of transit buses: sustainable urban transportation fuels and vehicles*. Disponível em: <http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf>. Acedido em 23-5-2017

Legislação:

Decreto-Lei 9/2007 de 17 de Janeiro – Regulamento geral do ruído.

Decreto-Lei 102/2010 de 23 de Setembro – Regime da Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar Ambiente.

Diretiva 1999/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Junho de 1999 – Aplicação de imposições aos veículos pesados de mercadorias pela utilização de certas infraestruturas – Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Diretiva 2009/33/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de maio de 2009 – Promoção de veículos de transporte rodoviário não poluentes e energeticamente eficientes – Jornal Oficial da União Europeia.

Diretiva 2010/40/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 7 de Julho de 2010 – Estabelece um quadro para a implantação de sistemas de transporte inteligentes no transporte rodoviário, inclusive nas interfaces com outros modos de transporte – Jornal Oficial da União Europeia.

Diretiva 2011/76/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Setembro de 2011 – Altera a Diretiva 1999/62/CE relativa à aplicação de imposições aos veículos pesados de mercadorias pela utilização de certas infraestruturas – Jornal Oficial da União Europeia.

Anexos

Anexo I: Custo máximo da poluição atmosférica originada pelo tráfego. (Fonte: Diretiva 2011/76/UE)

| Cêntimos/ Veículo. km | Estradas Suburbanas | Estradas Interurbanas |
|---|----------------------------|------------------------------|
| Euro 0 | 16 | 12 |
| Euro I | 11 | 8 |
| Euro II | 9 | 7 |
| Euro III | 7 | 6 |
| Euro IV | 4 | 3 |
| Euro V Após 31 Dezembro de 2013 | 0 3 | 0 2 |
| Euro VI Após 31 Dezembro de 2017 | 0 2 | 0 1 |
| Menos poluentes que Euro VI | 0 | 0 |

Anexo II: *Cash-flow* atualizado no período de amortização de 15 anos

| Ano | <i>Cash-flow</i> operacional atualizado |
|--------------|--|
| 1 | 114756,064€ |
| 2 | 112505,945€ |
| 3 | 110299,946€ |
| 4 | 108137,202€ |
| 5 | 106016,865€ |
| 6 | 103938,103€ |
| 7 | 101900,101€ |
| 8 | 99902,060€ |
| 9 | 97943,196€ |
| 10 | 96022,741€ |
| 11 | 94139,942€ |
| 12 | 92294,061€ |
| 13 | 90484,373€ |
| 14 | 88710,170€ |
| 15 | 86970,755€ |
| Total | 1.504.021,52 € |
| ΔI_0 | -3.366.000,00 € |
| VAL | -1.861.978,48 € |

**Anexo III: *Cash-flow* atualizado no período de amortização de 15 anos –
Cenário Alternativo**

| Ano | <i>Cash-flow</i> operacional atualizado |
|--------------|--|
| 1 | 298537,2189€ |
| 2 | 292683,548€ |
| 3 | 286944,6549€ |
| 4 | 281318,2891€ |
| 5 | 275802,2442€ |
| 6 | 270394,3571€ |
| 7 | 265092,5069€ |
| 8 | 259894,6146€ |
| 9 | 254798,6418€ |
| 10 | 249802,59€ |
| 11 | 244904,5€ |
| 12 | 240102,451€ |
| 13 | 235394,559€ |
| 14 | 230778,980€ |
| 15 | 226253,9021€ |
| Total | 3.912.703,06 € |
| ΔI_0 | -3.366.000,00 € |
| VAL | 546.703,06 € |

Nota: Ao 13º ano a total da amortização dos *cash-flows* já supera o valor do investimento inicial, sendo de **3 455 670,178€**.