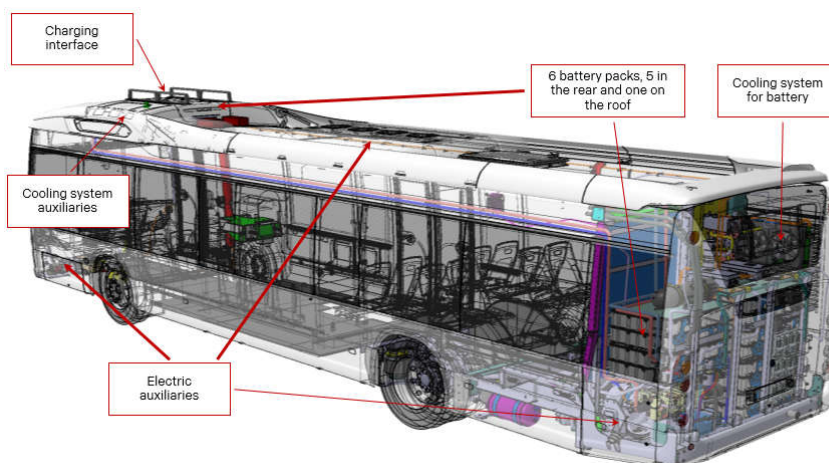




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Análise da Introdução de Sistemas de Propulsão Elétrica na Exploração e Manutenção de frotas de Veículos Pesados

RICARDO MANUEL FERNANDES LEMOS DE OLIVEIRA

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Manutenção

Orientadores:

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Professor Doutor Maria do Rosário Alves Calado

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Fevereiro 2020



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

**Análise da Introdução de Sistemas de Propulsão
Elétrica na Exploração e Manutenção de frotas de
Veículos Pesados**

RICARDO MANUEL FERNANDES LEMOS DE OLIVEIRA

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia de Manutenção

Orientadores:

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Professor Doutor Maria do Rosário Alves Calado

Professor Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Fevereiro 2020

“Somente quando a última árvore for cortada, o último rio for envenenado e o último peixe for pescado, nós vamos perceber que não podemos comer dinheiro.”

Pensamento Indígena Norte-Americano

Agradecimentos

Em primeiro lugar, a realização desta dissertação deve-se ao apoio incontornável e incondicional dos orientadores nas pessoas do Prof. Nuno Paulo Ferreira Henriques e Prof. Gonçalo Duarte, pela disponibilidade manifestada e utilidade dos conselhos dados para a execução da mesma, por terem partilhado o seu tão vasto conhecimento nesta área de estudo e me terem orientado ao longo do percurso. Foi um privilégio ter sido orientado por ambos.

Gostaria também de agradecer à minha família e a todos os meus colegas e amigos pela excelente camaradagem e bons momentos que proporcionaram e que contribuíram para o melhor desenrolar dos acontecimentos, e em particular aos Especialistas Eng^o Eduardo Nuno Ribeiro e Eng^o Paulo Pereira que sempre têm demonstrado o seu apoio incondicional na elaboração/colaboração e sugestões dadas neste trabalho.

A todos os familiares e amigos que acreditaram na realização da mesma, contribuindo com o apoio e compreensão para as constantes ausências.

A todos, um muito obrigado!

Resumo

O crescimento económico tem resultado num aumento mais que proporcional das emissões de gases com efeito estufa, resultando na degradação do meio ambiente. Com o intuito de reduzir o efeito de estufa, diversas medidas têm sido adotadas pelos governos de diferentes países, de entre as quais se destaca o incentivo à aquisição de veículos com emissões reduzidas. Os veículos elétricos, em particular, são apresentados como uma solução verde, amiga do ambiente, dado que durante a sua deslocação não têm emissões de gases nocivos para o ambiente. Estes veículos, nomeadamente os usados em transportes públicos e em circuitos urbanos, podem contribuir para reduzir esses impactos, devido ao seu desempenho energético e ambiental melhorado, quando comparados com os veículos convencionais com motor de combustão interna.

O objetivo desta dissertação prende-se com a análise da viabilidade da aquisição de veículos elétricos pesados em Portugal.

Para esta avaliação, foi decidido estabelecer uma comparação entre veículos existentes e em operação real, Diesel, GNC e elétricos, nas mesmas condições de operacionalidade.

Na análise do estudo, fez-se uma avaliação de diversos fatores tais como: desempenho de um veículo pesado de passageiros elétrico em condições reais de utilização, através de ensaios realizados a bordo do mesmo. Através da metodologia VSP obtiveram-se os perfis de consumo de energia e a consequente análise do custo dos combustíveis, custo da eletricidade, custo de aquisição e operação, entre outros.

Os resultados obtidos mostram que as condições de circulação e topografia influenciam pouco a eficiência do conjunto propulsor elétrico, tanto ao nível do fornecimento como da regeneração de energia, indicando que este veículo é ideal para circulação urbana.

Na dissertação conclui-se que, do ponto de vista económico, ainda é ténue a vantagem de adquirir um veículo pesado de passageiros elétrico, pelo fato de ser uma tecnologia que apresenta uma maturidade pequena, e os preços elevados associados às baterias e de aquisição dos veículos. As autonomias limitam a utilização contínua deste tipo de veículos, que são prova de que existe um longo caminho a percorrer.

Apesar de se estar a trabalhar no sentido de reduzir o nível de emissões de gases de efeito de estufa, urge a necessidade de se continuar a apostar em tecnologias amigas do

ambiente, como o veículo elétrico, sensibilizando a população, entidades governamentais e indústria para este tema que a todos diz respeito.

Palavras Chave: veículos elétricos; metodologia vehicle specific power; modelo económico; eficiência energética; ambiente; comparação de tecnologias; gases de efeito de estufa.

Abstract

Economic growth has resulted in a more than proportional increase in greenhouse gas emissions, resulting in degradation of the environment. In order to reduce the greenhouse effect, several measures have been adopted by the governments of different countries, among which the incentive to purchase vehicles with reduced emissions stands out. Electric vehicles, in particular, are presented as a green, environmentally friendly solution, as they do not emit harmful gases into the environment when travelling. Heavy electric passenger vehicles, namely those used in public transport and urban circuits can contribute to reduce these impacts, due to their improved energy and environmental performance when compared to conventional vehicles with an internal combustion engine.

The aim of this dissertation is to analyse the purchasing viability of electric vehicles in Portugal.

For this assessment, it was decided to establish a comparison between existing vehicles which are actually in operation, Diesel, GNC and electric ones, under the same operational conditions.

In the analysis of the study, an assessment was made of several factors such as: performance of a heavy electric passenger vehicle under real conditions of use, through tests performed on board. Through the VSP methodology, energy consumption profiles and the consequent analysis of fuel costs, electricity costs, acquisition and operation costs, among others, were obtained.

The results obtained show that the conditions of circulation and topography have little influence on the efficiency of the electric propulsion set, both in terms of supply and energy regeneration, indicating that this vehicle is ideal for urban circulation.

In the dissertation, it is concluded that, from an economic point of view, the advantage of purchasing a heavy electric passenger vehicle is still tenuous, due to the fact that it's a technology that has a small maturity, and the high prices associated with batteries and purchase of vehicles. Autonomies limit the continuous use of this type of vehicles, which are proof that there is a long way to go.

Although work is being done to reduce the level of greenhouse gas emissions, there is an urgent need to continue investing in environmentally friendly technologies, such as the electric vehicle, raising the awareness of the population, government entities and industry to this issue that concerns everyone.

Key words: electric vehicles; vehicle specific power methodology; economic model; environmental; energy efficiency; technology comparison; greenhouse gases.

Índice

Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Lista de abreviaturas, Siglas e Acrónimo	xv
Lista de símbolos	xvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. O paradigma da mobilidade urbana e dos pesados de passageiros	7
1.3. Objetivo	12
1.4. Estrutura da dissertação	12
2. Estado da arte	15
2.1. Classificação dos veículos pesados de passageiros pelo tipo de cadeia cinemática.....	15
2.2. Veículos pesados de passageiros elétricos.....	18
2.3. O veículo elétrico no Mundo	19
2.4. Tecnologia de baterias	21
2.5. Implementação de CSVE em operadores	25
2.6. Comparação de custos	28
3. Metodologia	31
3.1. Descrição geral do processo metodológico	31
3.2. Monitorização de veículo em operação.....	31

3.3. Metodologia Vehicle Specific Power	32
3.4. Distribuição modal VSP para estimar curvas de consumo de combustível.....	35
3.5. Procedimento experimental geral para recolha de dados dinâmicos de condução.....	37
3.6. Monitorização de rotas (recolha de dados dinâmicos).....	39
3.7. Análise comparativa das tecnologias de propulsão.....	40
4. Resultados.....	43
4.1. Validação do modelo.....	43
4.2. Aplicação do modelo desenvolvido a um caso de estudo.....	45
4.3. Análise energética e ambiental da operação de diferentes tecnologias de propulsão.....	49
4.4. Análise de viabilidade do veículo elétrico.....	57
4.4.1. Modelo económico.....	58
5. Conclusões e trabalho futuro.....	69
6. Bibliografia.....	73
7. Anexos	i

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Consumo de energia final, por setor, EU-28, em 2015. Percentagens das toneladas equivalentes de petróleo [2,3].....	2
Figura 1.2 – Consumo energético em Portugal por setor de atividade, fonte DGEG 2019 [4].....	2
Figura 1.3 – Número de passageiros por modo de transporte coletivo (Fonte INE 2018).....	3
Figura 1.4 – Consumo energético em Portugal, principais combustíveis, fonte DGEG 2019.....	3
Figura 1.5 – Comparação das emissões de CO ₂ , associadas ao meio de transporte, adaptado de (IMTT, 2010) [6].....	4
Figura 1.6 – CO ₂ Projetado – Emissões do transporte rodoviário na EU.....	6
Figura 1.7 – Evolução do número de passageiros-Km por modo de transporte coletivo (Fonte: INE, 2018).....	8
Figura 1.8 – Distribuição modal do transporte de passageiros, em Portugal e na UE-28 (Fonte: Eurostat, 2018).....	9
Figura 1.9 – Distribuição da quota estimada para o mercado de veículos pesados de passageiros em 2020 [10].....	10
Figura 1.10 – Matrículas de veículos pesados de passageiros 2018-2019 (ACAP).....	11
Figura 1.11 – Mercado em Portugal por tipo de energia em 2019 (ACAP).....	12
Figura 2.1 – Classificação por tipo de cadeia cinemática dos vários tipos de veículos pesados de passageiros disponíveis no mercado [21,22].....	15
Figura 2.2 – Esquema de um veículo pesado de passageiros híbrido em paralelo [21]..	17
Figura 2.3 – Esquema de um veículo pesado de passageiros híbrido em série [21].....	17
Figura 2.4 – Estimativa de vendas de EBuses (BEB) (vermelho) e Hidrogénio célula de combustível (FCEB) (laranja). Adaptado de [28].....	19
Figura 2.5 – Visão dos BEB (emissões zero) nos Países Nórdicos [28].....	20

Figura 2.6 – Desempenho das várias tecnologias de bateria em função da densidade energética [29].....	21
Figura 2.7 – Diagrama de rede dos vários tipos de baterias [29-32].....	22
Figura 2.8 – Energia específica típica de baterias à base de chumbo, níquel e lítio, atualização 2019-07-10 [29-32].....	23
Figura 2.9 – Funcionamento das baterias em função da temperatura.....	24
Figura 2.10 – Custo total de posse,TCO, para vários tipos de powertrain, em 2012 e previsão para 2030 [34]	29
Figura 3.1 –Exemplo do ajuste da dinâmica de duas viagens baseado em trajetos diferentes.....	35
Figura 3.2 - Exemplo da curva de consumo característica.....	36
Figura 3.3 – QSTARZ, utilizado para a recolha dos dados relativos à dinâmica e topografia.....	38
Figura 3.4 - GPSMap 76 CSx da Garmin, utilizado para a recolha dos dados relativos à dinâmica e topografia [41].....	38
Figura 3.5 - Informação recolhida através do Qstarz.....	39
Figura 3.6 – Rota 43 (Estação – Universidade) (mapa gerado através dos dados recolhidos).....	39
Figura 3.7 - Trajeto Funchal-Aeroporto (mapa gerado através dos dados recolhidos)..	39
Figura 4.1 – Distribuição temporal por modo VSP.....	43
Figura 4.2 – Curva de consumo com correção para o ralenti (por modo VSP).....	44
Figura 4.3 -Evolução da bateria ao longo da viagem no serviço Funchal Aeroporto.....	45
Figura 4.4 - Evolução da bateria ao longo das viagens do Centro – Monte.....	47
Figura 4.5 - Evolução da bateria ao longo das viagens da linha Ponta da Cruz– Centro.....	48
Figura 4.6 – Mix Produção 2019 – RAM (%).....	51
Figura 4.7 – Degradação média da bateria ao longo do tempo.....	56
Figura 4.8 - Custo Médio Comparativo [€/100km].....	56
Figura 4.9 - Consumo Médio Comparativo [kWh/100km].....	57
Figura 4.10 - Viabilidade económica sem subvenção.....	61
Figura 4.11 - Viabilidade económica com subvenção.....	64

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Mercado de veículos pesados de passageiros em Portugal (Fonte; CaetanoBus, SA).....	11
Tabela 2.1 – Comparação dos custos associados à posse e utilização de um veículo pesado de passageiros standard de 12 metros. dados de 2012[34].....	28
Tabela 3.1 – Características do veículo pesado de passageiros elétrico (BEB).....	31
Tabela 3.2 - Descrição dos termos presentes na equação que calcula o VSP.....	33
Tabela 3.3 – Características dos veículos.....	41
Tabela 4.1 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração no serviço Funchal-Aeroporto.....	46
Tabela 4.2 -Consumo estimado e desvio no serviço Funchal-Aeroporto.....	46
Tabela 4.3 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração da linha Centro – Monte.....	47
Tabela 4.4 - Consumo estimado e desvio no serviço Centro- Monte.....	47
Tabela 4.5 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração da linha Ponta da Cruz – Centro.....	49
Tabela 4.6 -Consumo estimado e desvio no serviço Ponta da Cruz – Centro.....	49
Tabela 4.7 – Emissões de GEE, para os percursos urbanos e interurbanos (Análise de emissões de CO ₂ , NO _x e PM), durante 16 anos.....	50
Tabela 4.8 - Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental do serviço Funchal – Aeroporto.....	52
Tabela 4.9 - Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental da linha Centro – Monte	52
Tabela 4.10 - Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental da linha Centro - Ponta da Cruz.....	53
Tabela 4.11 – Custos energéticos por tipo.....	54

Tabela 4.12 – Fatores de conversão de energia por tipo de powertrain (1 litro de Gasóleo=9,97 kWh=35,9 MJ).....	54
Tabela 4.13 – Valores médios de consumo e custo por quilómetro do elétrico, CNG e Diesel.....	54
Tabela 4.14 – Principais parâmetros de análise.....	58
Tabela 4.15 – Custo Comparativo da manutenção [€/100km].....	59
Tabela 4.16 -Custos acumulados durante 16 anos – elétricos (sem subvenção).....	60
Tabela 4.17 -Custos acumulados durante 16 anos – GNC (sem subvenção).....	60
Tabela 4.18 -Custos acumulados durante 16 anos – Diesel (sem subvenção).....	61
Tabela 4.19 -Custos acumulados durante 16 anos – elétricos (com subvenção).....	62
Tabela 4.20 -Custos acumulados durante 16 anos – GNC (com subvenção).....	63
Tabela 4.21 -Custos acumulados durante 16 anos – Diesel (com subvenção).....	63
Tabela 4.22 -Resultados da viabilidade do investimento – projeto 1 – VAL.....	66
Tabela 4.23 -Resultados da viabilidade do investimento – projeto 2 – VAL.....	67
Tabela 4.24 -Resultados da viabilidade do investimento – VAE.....	68

Lista de abreviaturas, Siglas e Acrónimo

- ACAP - Associação do Comércio Automóvel de Portugal;
- ACV - Avaliação do ciclo de vida;
- AML - Área metropolitana de Lisboa;
- AMP - Área metropolitana do Porto;
- B - Custo da bateria do veículo elétrico;
- BEB - do inglês Battery Electric Bus (autocarro elétrico a bateria);
- c - Quantidade de CO₂ presente numa unidade de kWh;
- CNG - do inglês Compressed Natural Gas (gás natural comprimido);
- CO₂ - Dióxido de Carbono;
- CPC - Custo de poluição associado ao veículo com motor de combustão;
- CS - Custo em excesso para a sociedade;
- CSVE - Custo do veículo elétrico para as empresas;
- CSVM - Custo do veículo com motor de combustão para as empresas;
- DB - do inglês Diesel Bus (autocarro a diesel);
- DC - do inglês DirectCurrent (motor de corrente direta);
- DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia;
- DHEB - do inglês Diesel Hybrid Electric Bus (autocarro gasóleo-elétrico híbrido);
- EUA - Estados Unidos da América;
- EU - União Europeia;
- EU-28 - União Europeia a 28 países;
- evm - quantidade de CO₂ por litro de gasóleo;
- FCEB - do inglês Fuel Cell Electric Bus (autocarro elétrico a célula de combustível);
- G - Ganhos em emissões de CO₂;
- GEE - Gases de Efeito de Estufa;
- GVE - Níveis de emissões do veículo elétrico;
- GVM - Níveis de emissões do veículo com motor de combustão;
- IM - do inglês Induction Motor (motor de indução);
- INE - Instituto Nacional de Estatística;
- ISP - Imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos;
- IVA - Imposto sobre o valor acrescentado;

LGN - do inglês Liquefied Natural Gas (gás natural liquefeito);

Li-air - Bateria de lítio ar;

LiFePO₄ - Bateria de lítio ferro fosfato;

Li-ion - Bateria de íões de lítio;

LiPo - Bateria de polímero de lítio;

Li-S - Bateria de lítio enxofre;

LTO - Baterias de ânodos de lítio titanato;

Ni-Cd - Bateria de níquel cádmio;

Ni-MH - Bateria de níquel metal hidreto;

NMC - Baterias de níquel, manganês e óxido de cobalto;

N_{Ox} - Óxidos de azoto;

Pb-ácido - Bateria de chumbo ácido;

PC - Preço do combustível;

PE - Preço da eletricidade;

PMx - Partículas poluentes de pequena dimensão;

POSEUR - Programa operacional sustentabilidade e eficiência no uso de recursos;

PVE - Preço de venda do veículo elétrico;

PVM - Preço de venda do veículo com motor de combustão;

RM - do inglês Reluctance Motor (motor de relutância);

SOC - do inglês State of Charge (estado de carga);

SO₂ - Dióxido de enxofre;

SPM - do inglês Synchronous Permanent Magnet (motor síncrono de íman permanente);

TCO - do inglês Total Cost of Ownership (custo total da operacionalidade);

TTW - do inglês Tank to Wheel (do reservatório do veículo até às rodas);

UITP - União Internacional de Transportes Públicos;

VAE - Valores anuais equivalentes;

VAL - Valor atual líquido;

VSP - do inglês Vehicle Specific Power (força específica do veículo);

VMC - Veículo com motor de combustão;

WTW - do inglês Well to Wheel (da fonte de energia até às rodas do veículo);

Zn-air - Bateria de zinco ar;

Lista de símbolos

- $\%t(i)$ - Percentagem de tempo no modo VSP (i)
- $\%t(i,j)$ - Percentagem de tempo no modo VSP (i) no troço (j)
- $\%_{top.max}$ - Percentagem máxima de tempo que o veículo pode estar operacional
- P_{aux}^- - Potência média dos equipamentos auxiliares do autocarro
- $P_t^-(i)$ - Potência teórica média do modo VSP(i)
- $\bar{\eta}_{prop}$ - Eficiência média de propulsão
- $\bar{\eta}_{regen}$ - Eficiência média de regeneração
- $VSP^{\equiv}(i)$ - Valor médio da classe VSP(i)
- m^- - Massa média do autocarro
- μ_{ft} - Coeficiente de fricção dos travões
- a - Aceleração do autocarro
- A_f - Área frontal
- A_t - Área da superfície de travagem
- C_{bat} - Capacidade da bateria
- C_d - Coeficiente de atrito aerodinâmico
- E - Energia consumida
- E_T - Consumo total do autocarro (motor + auxiliares)
- g - Aceleração da gravidade
- m - Massa do veículo pesado de passageiros
- nc - Número de classes
- nf - Relação de transmissão final
- np - Número de pontos experimentais
- $np(i,c)$ - Número de pontos experimentais no modo VSP (i) na classe (c)
- $np(i,j)$ - Número de pontos experimentais no modo VSP (i) no troço (j)
- $np(j)$ - Número de pontos experimentais no troço (j)
- $n_{rpm.máx}$ - Velocidade de rotação máxima
- nt - Número de troços
- ω - Declive da estrada
- $P(i)$ - Potência do motor no modo VSP (i)

$P(i,c)$ - Potência do motor no modo VSP (i) na classe (c)
 $P(i,c,k)$ - Potência do motor no modo VSP (i) na classe (c) no ponto experimental (k)
 $P(i,j)$ - Potência do motor no modo VSP (i) no trecho (j)
 $P(i,j,k)$ - Potência do motor no modo VSP (i) no trecho (j) no ponto experimental (k)
 $P_{aux}(k)$ - Potência dos equipamentos auxiliares do autocarro no ponto experimental k
 P_t - Potência total do autocarro (motor + auxiliares)
 R_{bat} - Resistência interna da bateria
 r_d - Raio dinâmico do pneu
 r_e - Raio estático do pneu
 v - Velocidade do autocarro
 $V_{máx}$ - Tensão máxima
 $V_{mín}$ - Tensão mínima
 V_{nom} - Tensão nominal
 H - Eficiência
 t - Tempo

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Nos dias de hoje, vivemos uma verdadeira revolução tecnológica. Diariamente são anunciados novos desenvolvimentos, tecnologias revolucionárias e melhorias nas existentes. A par do momento que se vive há algumas décadas, o crescimento económico tem resultado num aumento mais que proporcional nas emissões de gases de efeito de estufa, resultando na degradação do meio ambiente.

O desenvolvimento da indústria, o aumento do número e da circulação de veículos e uma necessidade de os países em vias de desenvolvimento aumentarem o seu ritmo de crescimento, estão também associados ao aumento da poluição. A utilização massiva de recursos naturais fósseis, enquanto principal fonte de energia, tem implicações bastante severas no meio ambiente. No entanto, num passado recente é possível verificar que são bastantes os países que se começam a preocupar com esta temática, e a tomar várias ações contra a poluição. Um pouco por todo o mundo verifica-se que há uma tendência na aposta da utilização de energias verdes (limpas/renováveis), na exploração de novas tecnologias e na consciencialização da população para que adote comportamentos mais ecológicos.

A energia gasta pelo sector dos transportes, em valor absoluto, tem vindo a aumentar a um ritmo de 2% ao ano desde a viragem do milénio, fazendo com que este setor representasse, em 2016, cerca de 28% do consumo total de energia a nível mundial. Deste valor, cerca de 60% é devido ao transporte de passageiros, no qual estão incluídos os veículos pesados de passageiros [1]. Já ao nível da União Europeia a 28 países, EU-28, o setor dos transportes representa uma fatia ainda maior de consumo de energia total, com 33,1% (Figura 1.1) [2,3]. Em Portugal a tendência é semelhante, onde os Transportes e a Indústria são, juntamente com o setor electroprodutor, os setores de atividade com maior peso no consumo final de energia, como se observa na Figura 1.2[4].



Figura 1.1 – Consumo de energia final, por setor, EU-28, em 2015. Percentagens das toneladas equivalentes de petróleo [2,3]

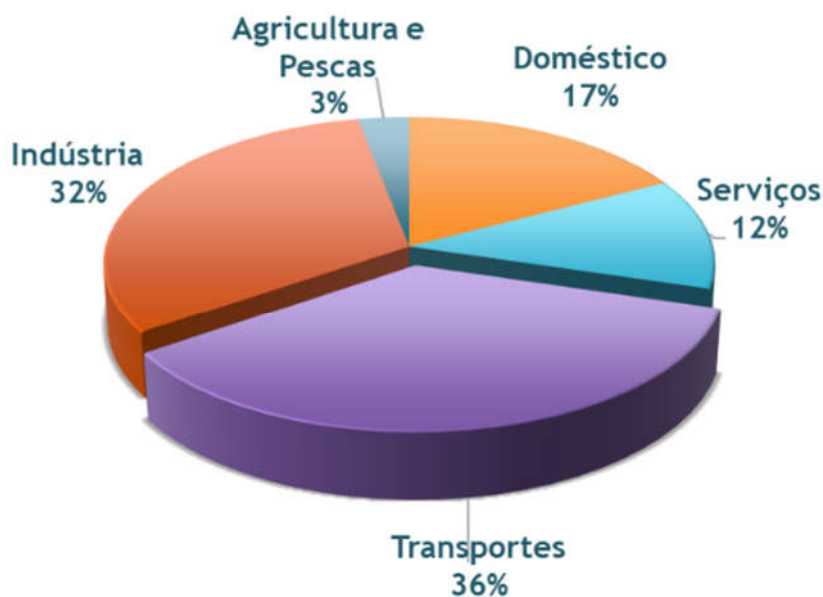


Figura 1.2 – Consumo energético em Portugal por setor de atividade, fonte DGEG 2019[4]

Em Portugal, os transportes representam uma parte importante do consumo de energia final, sendo o transporte rodoviário responsável pela quase totalidade desse consumo. Em 2017, de acordo com os dados das Estatísticas dos Transportes e Comunicações [5], a rodovia foi o modo de transporte utilizado por 514,8 milhões de passageiros no Continente, correspondendo a um aumento de 0,3% face ao ano anterior. No modo

ferroviário, deslocaram-se 375,9 milhões de passageiros, dos quais 141,9 milhões nos comboios urbanos/suburbanos, e 234,0 milhões nos três sistemas de metropolitano (Lisboa, Porto e Sul do Tejo), refletindo uma subida de 5,1%. Por via fluvial foram transportados 20,7 milhões de passageiros.

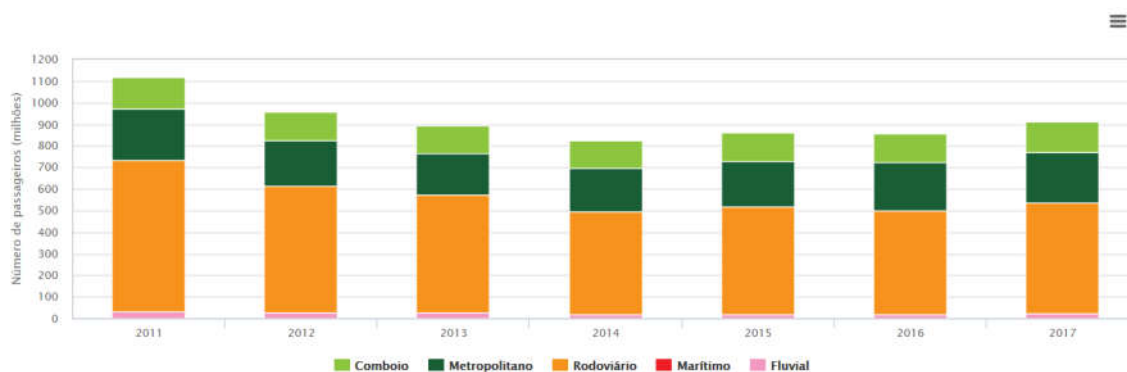


Figura 1.3 – Número de passageiros por modo de transporte coletivo

Notas: (1) Em 2014, os valores das travessias no rio Tejo foram atualizados de acordo com a metodologia de contabilização de passageiros com base na bilhética, tendo sido revistos os valores de 2013 de acordo com este mesmo critério. (2) A partir de 2015, o ITRP passou a abranger as Câmaras Municipais do Continente em geral, pelo que os resultados agora divulgados não permitem uma comparação direta com os dados anteriores (quebra de série).

Fonte: INE, 2018

A nível setorial, o setor dos Transportes (36%) continua a ser o principal consumidor de energia, sendo o diesel e a gasolina os principais combustíveis consumidos neste setor (+/- 90%), tal como se observa na Figura 1.4. Verifica-se ainda que os transportes terrestres são os maiores responsáveis pelo consumo de produtos petrolíferos para fins energéticos, contribuindo decisivamente para a dependência energética do País.

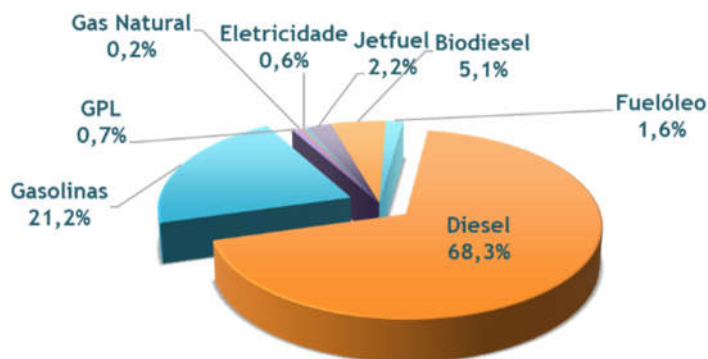


Figura 1.4 – Consumo energético em Portugal, principais combustíveis, fonte DGEG (2019)

Na Figura 1.5 é apresentada uma comparação das emissões de CO₂, numa análise Well to Wheel (WTW – ou do poço à roda), associadas a diferentes meios de transporte, em gramas por passageiro transportado e quilometro percorrido. Assim, podemos concluir que o automóvel (na versão de transporte individual – TI), dentro do setor dos transportes apresenta um peso significativo no que diz respeito à emissão de gases com efeito estufa.

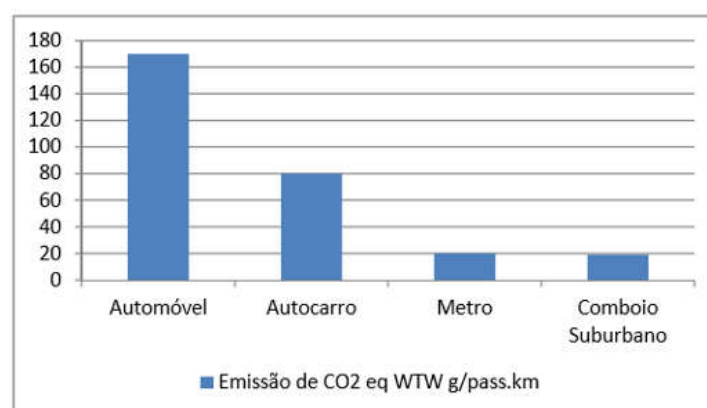


Figura 1.5 – Comparação das emissões de CO₂, associadas ao meio de transporte, adaptado de (IMTT, 2010) [6].

O sector dos transportes é, desta forma, uma das principais fontes de produção de gases com efeito de estufa (GEE) e também provoca elevados níveis de poluição do ar bem como de ruído, que podem prejudicar gravemente a saúde humana e os ecossistemas [7]. Quando se considera o impacto ambiental do transporte de passageiros, a repartição modal ganha especial importância devido às diferenças de desempenho ambiental, como o consumo de recursos, emissões de GEE e de poluentes, bem como de ruído, entre os diversos modos de transporte.

Ao nível do CO₂, e numa perspetiva de avaliação do ciclo de vida, ACV, e considerando as condições típicas de uso de um veículo automóvel em Portugal, existem análises que demonstram que um veículo elétrico pode representar uma redução de 23% nas emissões do GEE, quando comparado com um veículo a combustão. Além disso, é possível o veículo elétrico apresentar uma redução de 38% no consumo total de energia, quando comparado com o veículo a combustão [8]. As avaliações do tipo ACV têm em conta todo o impacto gerado pelo veículo desde a sua construção até ao seu

abate, passando pela utilização, tendo em conta fatores como o CO₂ emitido e a energia utilizada pelo mesmo.

Simultaneamente, entende-se necessária a mudança de paradigma na mobilidade urbana. A transferência do transporte individual para o transporte coletivo é um dos objetivos a longo prazo do **Plano Estratégico de Transportes e Infraestruturas** que reconhece o desequilíbrio modal no transporte de passageiros, com forte prevalência do transporte individual, e preconiza a oferta de serviços públicos de transporte de passageiros a nível local, regional e nacional que promova a migração do transporte individual para o transporte coletivo, com qualidade, níveis de oferta e de serviço adequadas à satisfação das necessidades das populações. O **Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020** estabelece um conjunto de metas, de entre as quais se destaca o aumento de 15% no número de passageiros x quilómetro (pkm) transportados nos serviços coletivos de transporte de passageiros, até 2020[9].

Em 2007, foi apresentado o Livro Verde “Por uma nova cultura de mobilidade urbana”, pretendendo introduzir uma discussão pública sobre importantes questões da mobilidade urbana e servir de plataforma para o que poderá vir a ser uma política europeia neste âmbito [10]. O Mobile Energy for Grids of Electricity é o principal projeto financiado pela União Europeia no que toca à investigação de redes de distribuição de energia para automóveis elétricos, que teve início em 2009[11].

Em abril de 2010, foi lançada “Uma estratégia europeia para veículos não poluentes e energeticamente eficientes”, com o objetivo de reduzir as emissões de carbono dos transportes rodoviário em 85-90% até ao ano de 2050[12]. Nesta iniciativa designam-se por veículos não poluentes os veículos que usam combustíveis alternativos, como os biocombustíveis líquidos (Etanol e Biodiesel) e combustíveis gasosos (Gás natural Liquefeito – LGN e Gás Natural Comprimido- CNG), os veículos elétricos e os veículos a células de combustível de hidrogénio [13].

O Compromisso para o Crescimento Verde identifica o sector da “Mobilidade e Transportes” como uma das dez áreas de intervenção para a transição verde em Portugal, e estabelece 14 objetivos quantificados para 2020 e 2030, entre os quais aumentar a utilização de transportes coletivos, por forma a atingir 12.528 milhões de pkm transportados nos serviços coletivos de transporte de passageiros em 2020 e 15.296 milhões em 2030.

Como referido, a nível comunitário existe também uma pressão para a redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa em comparação com os níveis de 1990. Em 2015, a quantidade de emissões de gases com efeito de estufa na EU diminuiu 22% em comparação com 1990. De acordo com as últimas projeções dos Estados-Membros em função das medidas existentes, a EU continuará no bom caminho para atingir as metas propostas, esperando-se que as emissões sejam 26% menores em 2020 do que em 1995 (figura 1.6).

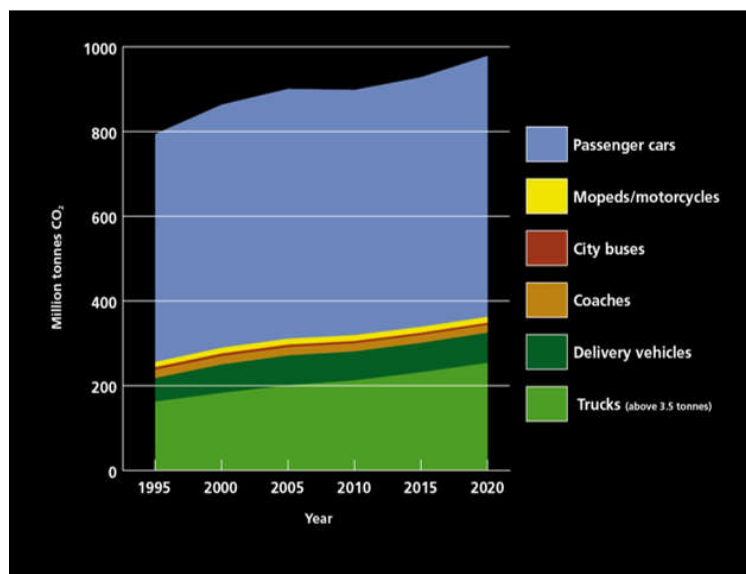


Figura 1.6 – CO₂ Projetado – Emissões do transporte rodoviário na EU

Tendo por base este contexto, existem caminhos paralelos com vista a atingir a redução das emissões de CO₂ e poluentes, que podem estar assentes na mudança de tecnologia de propulsão ou na alteração dos perfis de mobilidade. Pelas suas múltiplas implicações, em que se equaciona o conceito de desenvolvimento sustentável, a mobilidade urbana surge assim nos nossos dias como uma questão premente e de significativa importância. Assim, associar o qualificativo sustentável ao substantivo mobilidade, continua ainda hoje a apresentar-se como um importante desafio para todos nós.

Nesse sentido, este trabalho incide sobre estas duas áreas, através do estudo e análise da viabilidade de adoção de BEB, com vista à alteração do sistema de propulsão e respetivos impactes da sua utilização em meio urbano.

1.2. O paradigma da mobilidade urbana e dos pesados de passageiros

As cidades são territórios que, pela elevada e diversificada concentração de atividades, constituem um espaço privilegiado para as relações sociais, comerciais, de trabalho, de lazer, entre outras. São e sempre foram, acima de tudo, locais de troca, de movimento e de oportunidades [14].

O afastamento entre os locais de residência e os de trabalho, a diversificação dos destinos das deslocações (que cada vez menos se confinam aos tradicionais movimentos pendulares, casa-trabalho) e, finalmente, a necessidade de fugir ao frenesim urbano na procura da tranquilidade, são exemplos da complexa teia de decisões individuais que dificultam o entendimento do coletivo e dos padrões de organização do território [14].

Para a Agência Portuguesa do Ambiente, a mobilidade urbana é o modo e a frequência com que as pessoas se deslocam para satisfazer todo o tipo de necessidades, sejam elas obrigatórias (associadas ao trabalho, escola e o abastecimento das famílias) ou as opcionais como por exemplo lazer, social, etc. [15].

Em resultado de todos estes fatores, a população urbana tem hoje de realizar mais deslocações e, sobretudo, viagens mais longas para satisfazer as suas necessidades diárias, havendo assim uma maior taxa de motorização individual e um menor uso dos transportes públicos. Em parte justificadas pelas deficiências em termos de ordenamento do território, à falta de planeamento e à fraca oferta ou inexistência de uma rede de transportes públicos que acompanhe este crescimento periférico [16].

O tempo de viagem é uma variável fundamental de decisão para os sectores mais numerosos da população, a não ser que a diferença preço ou comodidade sejam muito significativas, e as pessoas escolhem geralmente o meio de transporte cuja viagem é mais rápida [17]. Nesse sentido, os transportes públicos estão sujeitos a horários, paragens e percursos mais ou menos rigorosos, que podem atrasar o tempo de viagem e obrigar a transbordos. Para que possa haver alguma concorrência com o automóvel, a rede de transportes públicos tem de ganhar tempo ao automóvel, tendo por isso que praticar velocidades mais elevadas numa parte do percurso [17].

Contudo a mobilidade urbana, muitas vezes considerada como um direito adquirido, pelo menos nas sociedades de matriz cultural ocidental, acarreta custos económicos, sociais e ambientais inoportáveis para o próprio funcionamento dessas sociedades

[14]. O aumento continuado das emissões de gases com efeito de estufa associado ao sector dos transportes, os crescentes congestionamentos de tráfego e a destruição ou desvalorização dos espaços públicos, com a consequente deterioração da qualidade do ambiente urbano, tornam cada vez mais evidente a insustentabilidade do modo como essa mobilidade se exerce na atualidade; e apontam para a imperiosa necessidade de se encontrarem soluções que, sem porem em causa esse direito, o condicionem às suas consequências ambientais e económicas [14].

A solução para a gestão da mobilidade não passa pela sua redução, pois isso seria regredir no processo de desenvolvimento das cidades e das sociedades e, também porque é cada vez mais entendida socialmente como um direito adquirido [16]. No entanto, é urgente repensar a forma de gerir a mobilidade, sobretudo nas grandes metrópoles.

A dependência do transporte rodoviário de passageiros em Portugal, encontra-se patente na Figuras 1.7, representando a maioria das viagens, demonstrado pela unidade funcional passageiros-km. Contudo, em 2017, verificou-se um aumento ligeiro da utilização do comboio (+5,9%) e do metropolitano (+5,6%) e da utilização do modo rodoviário (+2,6%), face ao ano anterior.

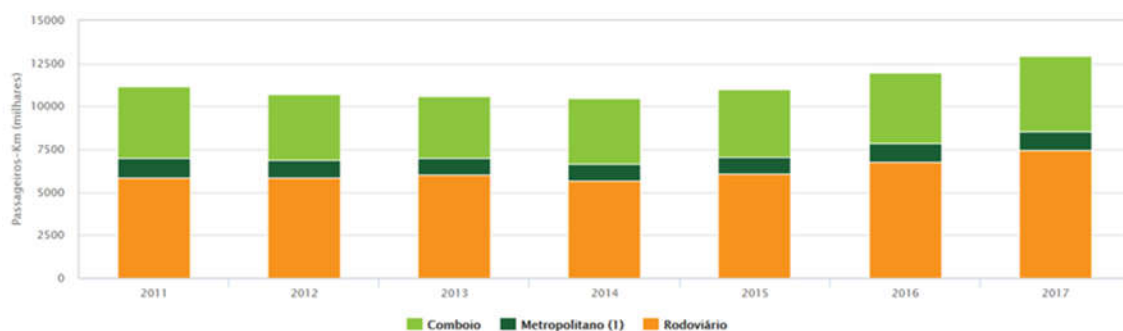


Figura 1.7 – Evolução do número de passageiros-Km por modo de transporte coletivo (Fonte: INE, 2018)

No que respeita ao paradigma atual da mobilidade, a distribuição modal do transporte de passageiros, demonstra, tanto em Portugal como na EU-28, uma hegemonia dos veículos ligeiros de passageiros (transporte individual), cuja utilização tem sido crescente, traduzida num peso de 89,1%, em 2016, face a 81,7% em 2000. No seio da UE-28, a preferência pelos veículos ligeiros de passageiros é igualmente clara, ainda que ligeiramente menos expressiva (82,9% em 2016) do que em Portugal, mas o peso

de utilização do transporte ferroviário é mais significativo, representando 7,7% em 2016, ao passo que em Portugal ronda os 4,2%.

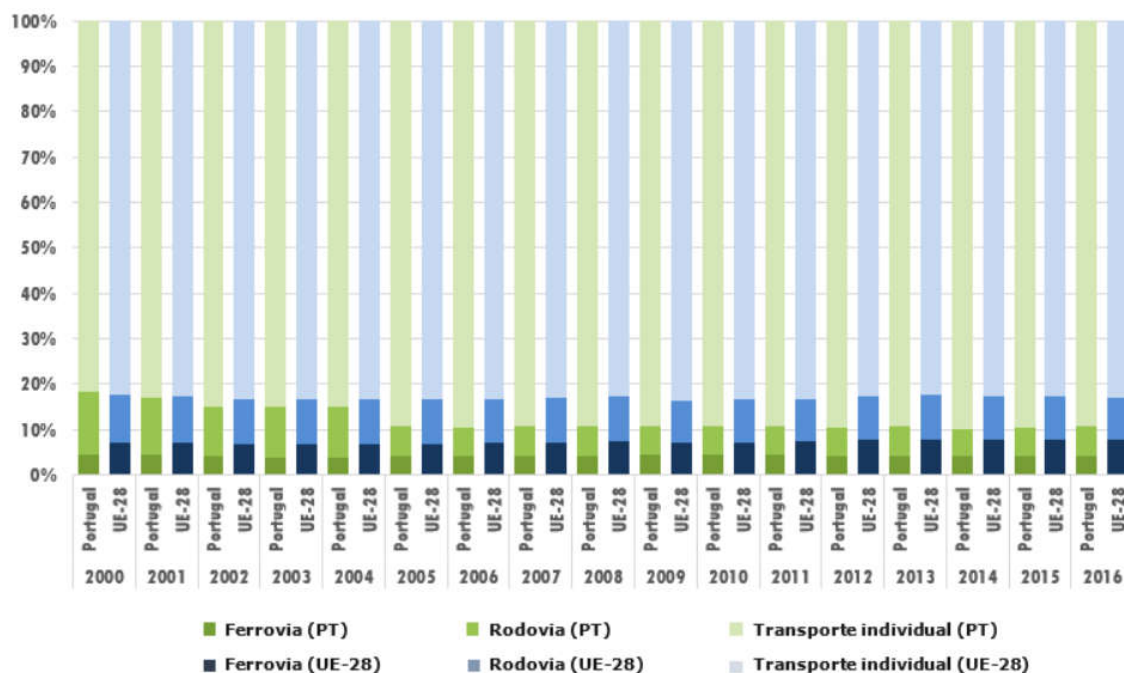


Figura 1.8 – Distribuição modal do transporte de passageiros, em Portugal e na UE-28 (Fonte: Eurostat, 2018)

Os resultados definitivos, recentemente publicados, do Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas de Lisboa e Porto (IMob 2017), levado a cabo pelo INE entre Outubro e Dezembro de 2017, vieram confirmar o automóvel como o principal meio de transporte usado nas deslocações dos residentes nas áreas metropolitanas, de forma mais marcante na AMP (67,6% das deslocações) do que na AML (58,9%). A taxa de ocupação do automóvel foi de 1,56 pessoas na AMP e de 1,60 na AML. As deslocações por modos suaves (pedonal ou de bicicleta) surgem como a segunda forma de locomoção mais expressiva no total das deslocações, registando um peso conjunto de 18,9% na AMP (apenas 0,4% utilizando bicicleta) e de 23,5% na AML (0,5% relativos à bicicleta). Os transportes públicos e/ou coletivos, como principal meio de transporte, representaram 11,1% das deslocações na AMP e 15,8% na AML.

Uma vez que, de acordo com metas estabelecidas pela comissão Europeia, o setor dos transportes necessita de reduzir as emissões de GEE até 2050 em pelo menos 60%, em relação aos níveis de 1990, um dos maiores desafios atuais será o desenvolvimento de veículos com emissões nulas ou mais baixas possível [18,-20].

A eletrificação dos meios de transporte, com especial relevância nos BEB, é uma abordagem bastante promissora num futuro próximo [18]. Na gama dos veículos

pesados de passageiros eletrificados, além dos que podem ser alimentados por um pack de baterias ou por uma célula de combustível, existem as chamadas configurações híbridas, nas quais motores elétricos assistem os motores a combustão convencionais em determinadas situações de condução. Estas configurações híbridas podem resultar em economia de até 30% no consumo de combustível, e uma diminuição das emissões poluentes [19]. As configurações híbridas são um passo intermédio no caminho da eletrificação, porque não conseguem atingir os objetivos propostos ao nível da redução de GEE e de consumo de energia [21].

As principais vantagens dos BEB a bateria em relação aos convencionais DB a CNG ou LGN residem nos baixos custos de manutenção e no facto de a energia elétrica possuir um preço mais estável e reduzido do que o dos combustíveis fósseis. Isto faz com que os custos operacionais dos BEB a baterias apresentem uma redução de cerca de 80% em relação aos DB ou cerca de 70% quando comparados com os DHEB[21].

A distribuição geográfica e o número e tipo de autocarros vendidos no mundo em 2012 e o valor esperado de unidades a serem vendidas em 2020 (Figura 1.9).

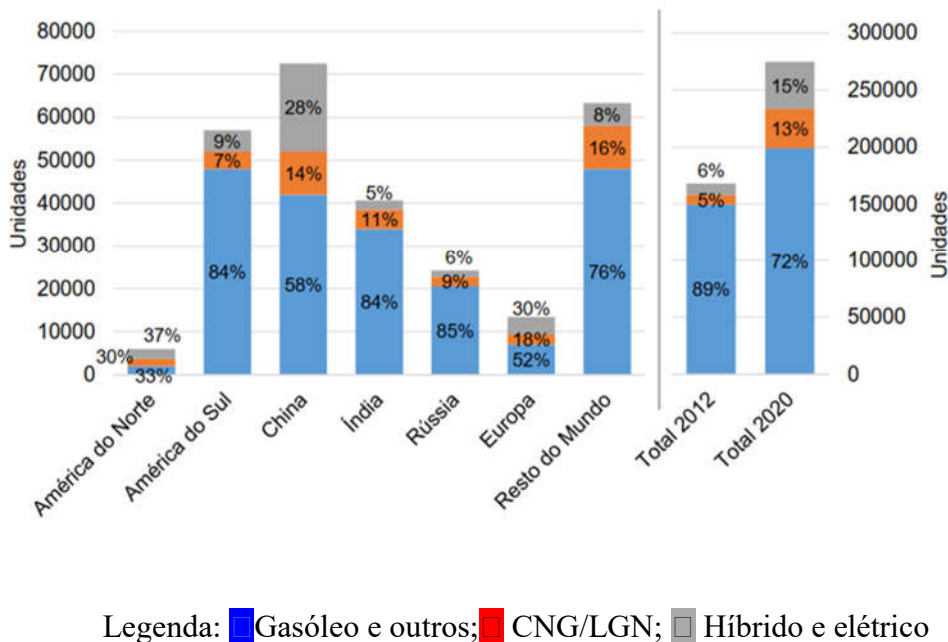


Figura 1.9– Distribuição da quota estimada para o mercado veículos pesados passageiros em 2020 [10].

Numa abordagem ao gráfico da Figura 1.9, a China apresenta-se como o atual líder em termos de novas aquisições para a sua frota de DHEB e BEB. É estimado que em 2020 a percentagem de novos veículos pesados de passageiros híbridos ou elétricos seja de

15% [21]. Em Portugal ainda se encontram em circulação uma percentagem reduzida de BEB, no entanto, recentemente, os vários operadores de transportes públicos ao abrigo do programa do POSEUR têm lançado concursos para aquisição deste tipo de veículos [23]. A tabela 1.1 e as figuras 1.10 e 1.11 apresentam um resumo do panorama de vendas de BEB em Portugal, verificando-se em 2019 que o parque automóvel de Pesados de Passageiros de BEB cresceu de um total de 8 veículos em 2018 (1,57%) para 16 veículos no ano passado, o que corresponde a 2,66% do mercado total.

Tabela 1.1– Mercado de veículos pesados de passageiros em Portugal (Fonte; CaetanoBus, SA)

VE(PT)	Matrículas 2016	Matrículas 2017	Matrículas 2018	Matrículas 2019
25	1	0	8	16

MATRICULAS DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS										
ROM - Representantes Oficiais de Marca										
	Dezembro					Janeiro - Dezembro				
	Unidades		%	% no Mercado		Unidades		%	% no Mercado	
	2019	2018	Var.	2019	2018	2019	2018	Var.	2019	2018
MAN	8	26	-69,2	40,00	78,79	276	209	32,1	45,92	40,98
Mercedes-Benz	1	6	-83,3	5,00	18,18	94	112	-16,1	15,64	21,96
Iveco	1	0	---	5,00	0,00	60	56	7,1	9,98	10,98
Atomic	7	0	---	35,00	0,00	49	0	---	8,15	0,00
Scania	0	0	---	0,00	0,00	44	35	25,7	7,32	6,86
Volvo	0	0	---	0,00	0,00	28	26	7,7	4,66	5,10
Renault	0	1	-100,0	0,00	3,03	19	40	-52,5	3,16	7,84
Caetano	0	0	---	0,00	0,00	16	8	100,0	2,66	1,57
Ford	1	0	---	5,00	0,00	6	8	-25,0	1,00	1,57
Opel	0	0	---	0,00	0,00	4	3	33,3	0,67	0,59
Setra	2	0	---	10,00	0,00	4	1	300,0	0,67	0,20
Ferqui	0	0	---	0,00	0,00	1	1	0,0	0,17	0,20
Neoplan	0	0	---	0,00	0,00	0	10	-100,0	0,00	1,96
Fiat	0	0	---	0,00	0,00	0	1	-100,0	0,00	0,20
Total	20	33	-39,4	100,00	100,00	601	510	17,8	100,00	100,00

Origem: IMT (2018) e AT (2019).
Fonte: ACAP

Figura 1.10– Matrículas de veículos pesados de passageiros 2018-2019 [ACAP] [24].

Mercado por tipo de combustível

Mercado Automóvel em Portugal
Por Tipo de Energia em 2019

	Dezembro 2019				Janeiro a Dezembro 2019			
	Ligeiros Passageiros	Ligeiros Mercadorias	Pesados Mercadorias	Pesados Passageiros	Ligeiros Passageiros	Ligeiros Mercadorias	Pesados Mercadorias	Pesados Passageiros
Gasolina	8 280	4			119 125	90		
% Gasolina	46,7%	0,1%			49,2%	0,2%		
Gasóleo	7 136	4 501	412	15	89 417	38 116	4 905	368
% Gasóleo	40,6%	99,2%	99,8%	75,0%	40,0%	99,1%	98,6%	61,2%
Elétrico	664	28		0	6 883	213		17
% Elétrico	3,7%	0,6%		0,0%	3,1%	0,6%		2,8%
Elétrico/Gasolina	536				4 653			
% Elétrico/Gasolina	3,0%				3,1%			
Elétrico/Gasóleo	154				1 145			
% Elétrico/Gasóleo	0,9%				0,5%			
Gasolina/Híbrido	654				8 545			
% Gasolina/Híbrido	3,7%				3,8%			
Híbridos								
Gasóleo/Híbrido	191	2			879	4	9	10
% Gasóleo/Híbrido	1,1%	0,0%			0,4%	0,0%	0,2%	1,7%
Gasolina/GNC								
% Gasolina/GNC								
Gasolina/GNL								
% Gasolina/GNL								
Híbridos Não Elétricos								
Gasolina/GPL	43				2 111	1		
% Gasolina/GPL	0,2%				0,9%	0,0%		
Gasóleo/GNL								3
% Gasóleo/GNL								0,1%
GNC	8	4	1	5	41	22	38	206
% GNC	0,0%	0,1%	0,2%	25,0%	0,0%	0,1%	0,8%	34,3%
GNL								19
% GNL								0,4%
Total	17 726	4 539	413	20	223 799	38 454	4 974	601

Figura 1.11– Mercado em Portugal por tipo de energia em 2019[ACAP] [24].

1.3. Objetivo

De acordo com o enquadramento anterior, o objetivo desta dissertação consiste no estudo dos impactes da introdução de BEB, a nível energético, ambiental e económico, num contexto real de operação.

Nesse sentido foi efetuada uma interação com vários operadores que serviram de base para a recolha de dados reais dinâmicos e de consumo de energia, carregamento, manutenção e operacionalidade.

Pretende-se que este trabalho sirva de base para o desenvolvimento de métricas de apoio para os responsáveis das empresas de transportes de passageiros na tomada de decisões, através da antecipação dos potenciais resultados (em termos de consumo de energia e emissões) que as suas decisões irão ter junto dos seus Conselhos de Administração. Por exemplo, permitirá auxiliar na decisão de quais as viaturas a adquirir tendo em conta o serviço para o qual vão ser utilizadas, nomeadamente ao nível dos impactes da alocação cuidada das viaturas a utilizar em cada serviço e da aquisição de BEB.

1.4. Estrutura da dissertação

O trabalho de investigação desenvolve-se ao longo de 5 capítulos, sendo o capítulo “1 - introdutório”, onde é feito um enquadramento geral do trabalho, explicando a sua importância no contexto atual. Ainda neste capítulo é feita uma breve descrição da história dos veículos elétricos, um resumo dos desafios que o setor dos transportes

enfrenta atualmente e também é apresentada a situação atual no que diz respeito ao mercado dos veículos pesados de passageiros.

No capítulo “2” - O “Estado da arte” é apresentado o panorama do conhecimento e tecnologias atuais, nomeadamente tecnologias utilizadas para a redução dos consumos e emissões em veículos pesados de passageiros, métodos de análise dos mesmos e resultados obtidos em estudos similares.

No capítulo “3” - Metodologia” é apresentado o caso de estudo e é descrito o procedimento experimental desenvolvido para a recolha e processamento dos dados necessários para a realização desta dissertação. É apresentada ainda a metodologia de base usada para a caracterização das viaturas em estudo. De seguida é abordada a metodologia VSP, essencial à realização deste trabalho. Por fim são abordadas as metodologias de tratamento dos dados recolhidos de forma a caracterizar o BEB e os vários percursos recolhidos, bem como as formas de comparar o BEB, com o veículo a CNG e o DB.

O capítulo “4” - “Resultados e aplicação do modelo desenvolvido a um caso de estudo”. Estudo comparativo de consumos de veículos elétricos, gás natural e diesel, “Comparação e resultados” são apresentados os resultados obtidos para a validação da metodologia desenvolvida, relativo à mobilidade elétrica, sendo esta apresentada como alternativa para uma mobilidade sustentável.

O capítulo “5” - “Conclusão e trabalho futuro” é reservado às conclusões resultantes da realização desta dissertação. Apresentam-se conclusões relativamente ao caso de estudo, nomeadamente da aplicabilidade do modelo em situação real nos concelhos de Braga e Funchal. Por fim, tecem-se considerações relativamente a desenvolvimentos futuros. Na verdade, considera-se também de elevada importância não descurar qual o papel que as entidades governamentais, as marcas e a própria sociedade poderão ter no futuro desta tecnologia.



2. Estado da Arte

O setor dos transportes desempenha um papel significativo no cumprimento dos compromissos assumidos pela União Europeia. Para que possam ser alcançadas as metas acordadas no Protocolo de Quioto, é essencial a implementação de novas medidas penalizadoras do uso do transporte individual, bem como o recurso a transportes alternativos mais verdes, mais acessíveis e a criação de uma cultura de mobilidade mais sustentável. O primeiro tratado jurídico internacional com enfoque na situação ambiental do planeta data de 1997, e nele se definiram mecanismos para limitar as emissões de GEE nos países desenvolvidos [15].

Tendo estes aspetos em consideração, serão analisadas as alternativas ao DB convencional Diesel, assim como os seus impactes ao nível da operação.

2.1. Classificação dos veículos pesados de passageiros pelo tipo de cadeia cinemática

Os autocarros existentes atualmente no mercado podem ser divididos, no que diz respeito à tecnologia ao nível da cadeia cinemática, em três categorias: convencionais, híbridos e elétricos (Figura 2.1) [21,22].

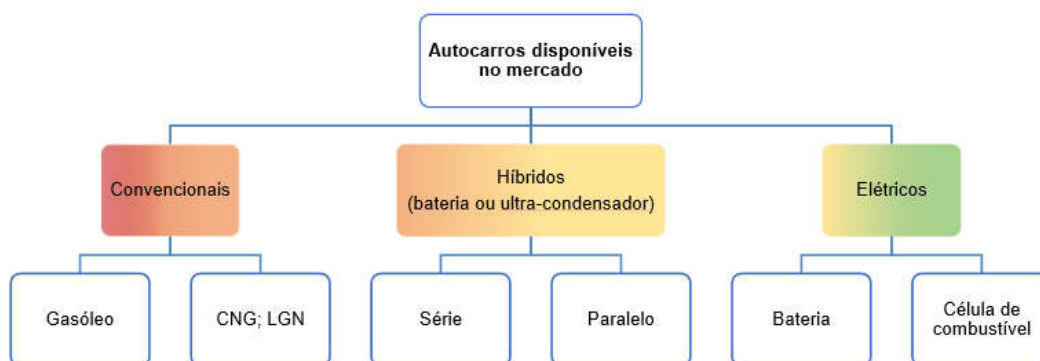


Figura 2.1– Classificação por tipo de cadeia cinemática dos vários tipos de veículos pesados de passageiros disponíveis no mercado [21,22].

Nos convencionais estão incluídos os DB que recorrem apenas a um motor de combustão interna para gerar energia mecânica, sendo esta enviada às rodas sem nenhum armazenamento intermédio. Estão incluídos nesta categoria os DB e a CNG e/ou LNG, como alternativas eficazes na redução de emissões, em que no caso do

Biodiesel será entre 50 a 90% de redução de CO₂ e no Biogás/gás natural a redução de CO₂ é de até 90%. No caso dos veículos Diesel, a utilização de biocombustíveis, (100% biodiesel ou apenas numa percentagem) revelou-se também bastante interessante, tendo como consequência que em março de 2007, os Estados-Membros da EU reunidos em Conselho adotassem um objetivo vinculativo de utilização de até 7% de biodiesel, nos combustíveis utilizados no sector dos transportes. Este limite máximo de incorporação nos combustíveis comercializados nos postos em Portugal, garante a não alteração das características do Diesel. Os valores fixados estão inscritos no Decreto-Lei nº 89/2008, de 30 de maio, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº 142/2010, de 31 de dezembro, e pelo Decreto-Lei nº 214-E/2015 de 30 de setembro [25].

Dentro das tecnologias alternativas de propulsão podem enumerar-se os veículos híbridos (DHEB) (com diferentes graus de eletrificação) e veículos totalmente elétricos, (BEB).

Veículos híbridos: são veículos que se caracterizam pela utilização simultânea de um motor a combustão interna e um motor elétrico. Nestes casos, a bateria é carregada através do motor de combustão interna e da travagem regenerativa;

Veículos híbridos plug-in: são veículos que combinam no mesmo equipamento uma bateria que pode armazenar a energia elétrica e restituí-la ao motor elétrico e um reservatório de combustível que alimenta um motor térmico que pode acionar diretamente as rodas ou fornecer energia mecânica a um gerador elétrico. Distinguem-se dos anteriores dado que possibilitam uma determinada autonomia em modo totalmente elétrico (a velocidades baixas). A bateria pode ser carregada através do motor de combustão interna e da travagem regenerativa e pode também ser ligada a corrente elétrica.

Existem duas variantes principais dos DHEB, os híbridos em paralelo e os híbridos em série. Nos híbridos em paralelo, Figura 2.2, o motor de combustão interna está continuamente ligado às rodas motrizes através da transmissão e por isso funciona numa ampla gama de regimes de rotação. Este é assistido por um motor elétrico que fornece ou regenera energia consoante as necessidades da dinâmica do veículo (aceleração, travagem, etc.).

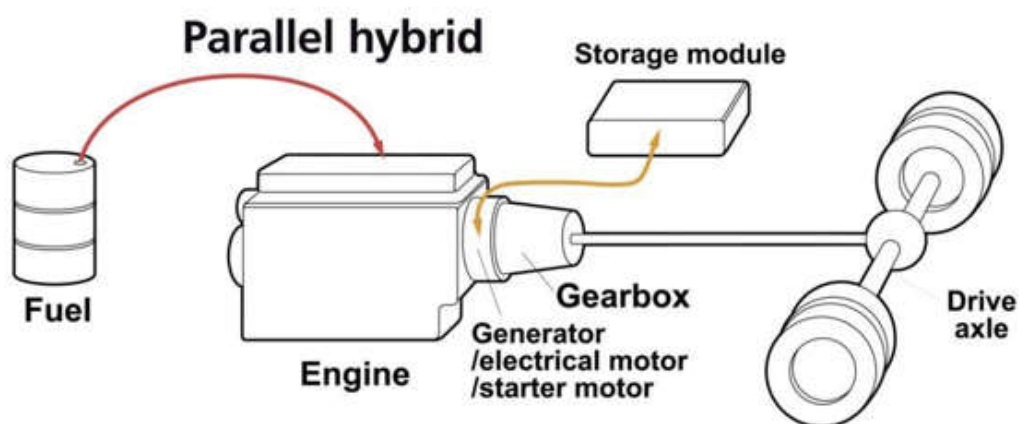


Figura 2.2– Esquema de um veículo pesado de passageiros híbrido em paralelo [21].

Já nos híbridos em série, Figura 2.3, o motor a combustão é usado para acionar um gerador elétrico, podendo assim ser projetado e utilizado num regime de rotação e carga que proporcione alta eficiência. A energia elétrica gerada é então armazenada para posteriormente ser usada pelo motor elétrico que irá fazer mover o veículo.

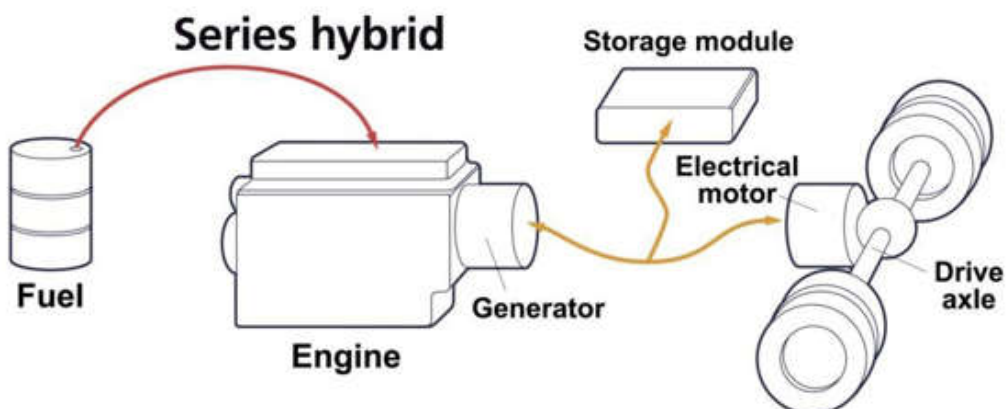


Figura 2.3– Esquema de um veículo pesado de passageiros híbrido em série [21].

Quanto aos BEB, os dois principais tipos a considerar, são os seguintes:

Veículos elétricos puros: são veículos que possuem um motor elétrico, cuja bateria é recarregada através da energia elétrica proveniente da rede de distribuição pública, existindo um reaproveitamento da energia despendida na travagem.

Veículos elétricos a hidrogénio: são os veículos pesados de passageiros que recorrem a hidrogénio armazenado num depósito e a uma célula de combustível, FCEB, para gerar eletricidade. Nos veículos a célula de combustível, esta tem de converter o hidrogénio a bordo em eletricidade que será usada diretamente pelo motor elétrico ou armazenada

numa bateria para posterior utilização, uma vez que as células de combustível têm outputs de potência mínimos, estando sempre a gerar alguma eletricidade, mesmo quando o motor não necessita. Este sistema tem normalmente eficiências globais inferiores aos veículos a bateria.

2.2. Veículos pesados de passageiros elétricos (BEB)

Nos veículos pesados de passageiros a bateria, tem-se a menor complexidade entre os dois tipos de veículos elétricos. A energia elétrica proveniente da bateria transita para o motor, ou vice-versa, consoante a dinâmica do veículo assim o solicite, dando origem a um sistema simples e com a potencialidade de ser altamente eficiente. Este tipo de veículo pesado de passageiros é ainda subdividido em duas categorias tendo em conta a capacidade das baterias e conseqüente autonomia. Resultam desta subdivisão os chamados opportunity Battery Electric Bus (BEB), com pequenas baterias e uma autonomia de 20/30 km que pode ser conseguida em 5 minutos de carregamento e os overnight BEB, com baterias relativamente grandes, que podem proporcionar autonomias de aproximadamente 300 km, e com aproximadamente 4 km de autonomia por cada 5 minutos de carregamento [21].

Atualmente os principais fatores limitativos da adoção em massa de autocarros elétricos a bateria são o elevado custo inicial de aquisição, a questão da autonomia e dos tempos de carregamento e ainda o facto de a infraestrutura destinada a suprir as necessidades deste tipo de veículos estar muito pouco estabelecida ao nível do espaço disponível em parque [22,26,27].

Tendo em conta os elevados custos de aquisição que caracterizam os veículos elétricos, prevê-se que os subsídios e apoios governamentais tenham um papel preponderante no nível de atratividade destes veículos. No entanto, apesar de se prever que em 2020 os veículos com motor de combustão ainda sejam predominantes, os veículos com tecnologias alternativas (nos quais se incluem os veículos híbridos e os elétricos) poderão atingir, em conjunto, uma cota de mercado interessante.

Desta forma, os governos locais têm um papel preponderante na medida em que precisam de garantir uma continuidade nas suas políticas “verdes”, assegurando que as suas políticas de curto prazo predominam no longo prazo. Os fabricantes de baterias deverão assegurar acordos com fornecedores de todas as matérias-primas necessárias para a construção das baterias visto que, num futuro próximo, irão passar de

fornecedores de baterias a parte integrante e essencial do processo, sendo requerido que consigam sempre cumprir os compromissos de produção.

2.3. O Veículo Elétrico no Mundo

Globalmente a ideia de que o veículo elétrico é benéfico para a população tem-se espalhado, causando diferentes níveis de impacto. A importância deste tipo de veículos tem vindo a ser reconhecida, registando-se, a cada dia que passa, um maior número de veículos elétricos em circulação. No entanto, pelos factos já anteriormente referidos, entre os quais o preço de aquisição elevado e a baixa autonomia, a sua disseminação está ainda longe do que se pretende atingir.

Através de um levantamento das principais medidas que têm sido adotadas por vários países para estimular ou incentivar o uso do veículo elétrico, procura-se efetuar uma comparação entre as várias realidades, contrapondo países dos mais desenvolvidos do mundo, como os EUA, e países manifestamente afetados por uma severa crise económica, como é o caso português. Até à data, são vários os registos de investimentos por parte de um grande número de países, sendo que estes têm vindo a diminuir com o agravar da situação económica.

No caso da Alemanha, verificou-se em 2018 um aumento de BEB, sendo quase desprezável a introdução do FCEB.

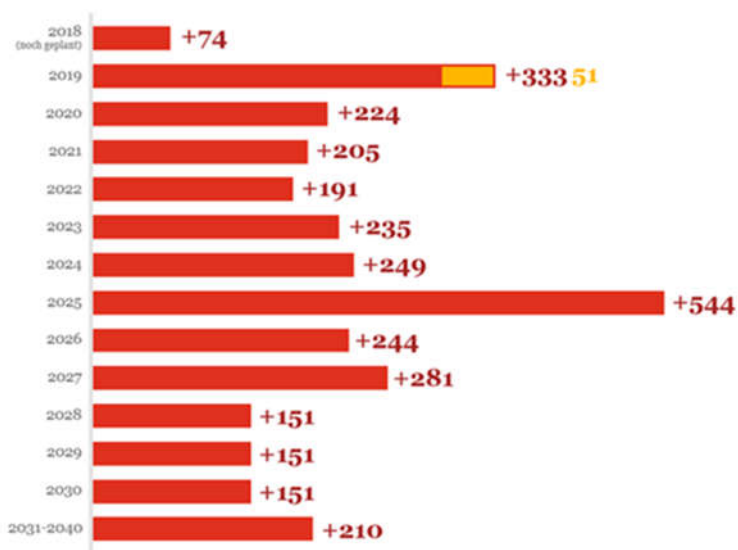


Figura 2.4 –Estimativa de vendas de EBus (BEB) (vermelho) e Hidrogénio célula de combustível (FCEB) (laranja).

Adaptado de [28]

No entanto e de acordo com a Figura 2.4, verificamos que entre o ano 2018 a 2022, a aquisição é de cerca de 1000 BEB e foram estimados também a compra de 51 FCEB, durante o mesmo período. No geral, existe atualmente planos para a aquisição total de 3243 BEB, com o objetivo de contribuir para as metas ambientais traçadas pela EU, na redução de 60% os GEE até 2050.

A Figura 2.5 apresenta uma visão geral dos BEB com emissão zero nos países nórdicos, até o final de 2019, nomeadamente Noruega, Suécia, Finlândia, Islândia e Dinamarca. Verifica-se, por exemplo na Suécia, de dimensão populacional semelhante a Portugal, cerca de 10 vezes mais BEB do que em Portugal. A mesma tendência é observada na Noruega, Dinamarca e Finlândia, com cerca de 5 Milhões de habitantes.

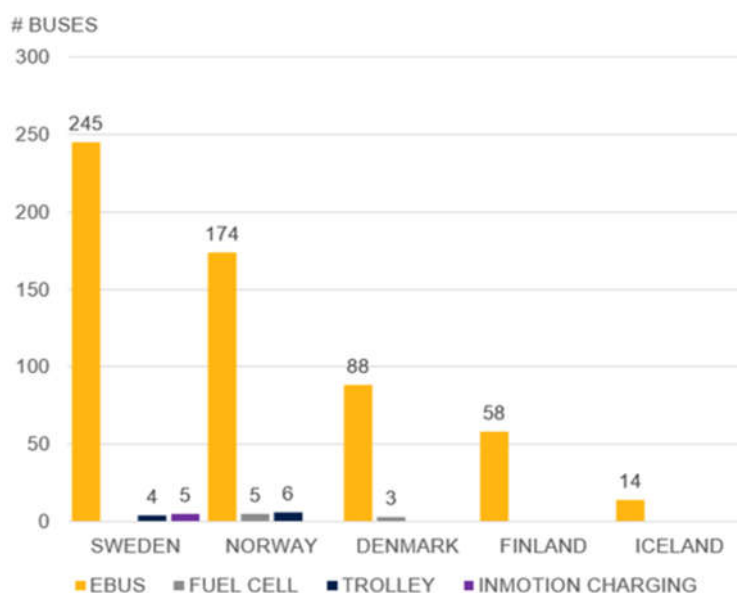


Figura 2.5 - Visão dos BEB (Emissões zero) nos Países Nórdicos [28]

Como referido, no Sul da Europa, em Portugal, a situação que se encontra é bastante diferente das analisadas até agora. Com o início do Programa da Mobilidade Elétrica em Portugal seria expectável contrariar a tendência mundial do aumento da dependência energética do país face aos combustíveis fósseis. A política de mobilidade elétrica tinha como objetivos incentivar a aquisição e utilização de veículos pesados de passageiros elétricos, e garantir a existência de uma rede de carregamento dentro das próprias instalações para as respetivas frotas. Para isso, foram definidos dois subsídios de apoio à aquisição destes veículos.

2.4. Tecnologias de baterias

O tipo de meio de armazenamento de energia elétrica a ser utilizado em cada situação pode ser determinado, numa primeira análise, através da sua capacidade de fornecer energia e potência por unidade de massa. Isto é feito através da análise da densidade energética e da densidade de potência dos meios de armazenamento disponíveis.

Atualmente, as baterias mais usadas nos veículos pesados de passageiros elétricos e híbridos são as de hidretos metálicos de níquel (NiMH) e de íões de Lítio (Li-Ion). Particularmente nestas últimas, têm sido obtidos aumentos consideráveis nos valores da densidade de energia (de momento apresentam valores muito superiores aos restantes tipos de baterias). O tamanho e volume das baterias condicionam o projeto da estrutura mecânica do veículo, bem como o seu preço. Há uma clara tendência para a sua integração com supercondensados, aproveitando os elevados valores de densidade de potência destes últimos. Pode ver-se, através da Figura 2.6, cujos eixos se encontram em escala logarítmica, que existem dois extremos no que toca aos parâmetros anteriormente descritos. Na zona mais à direita da figura estão os condensadores e os supercondensadores. Estes exibem baixas densidades energéticas, mas altas densidades de potência.

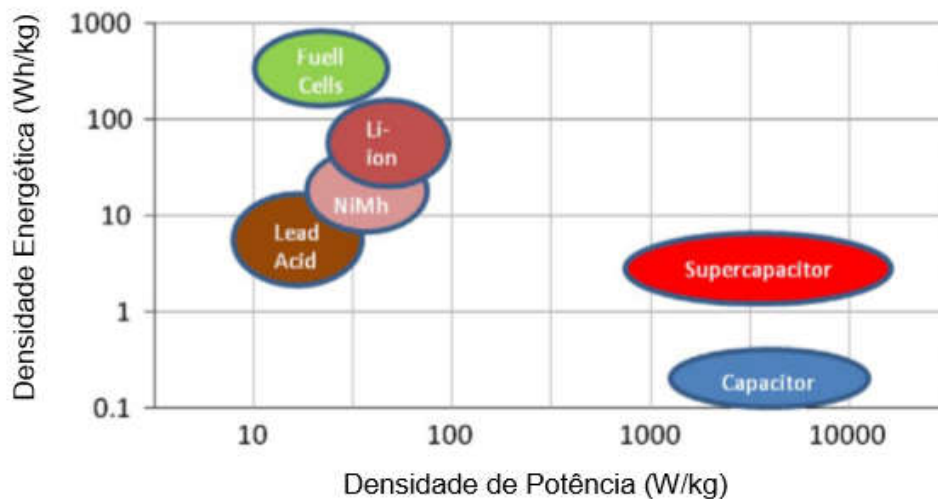


Figura 2.6– Desempenho das várias tecnologias de bateria em função da densidade energética [29].

A tecnologia de baterias encontra-se em constante evolução e estudo, apresentando-se algumas alternativas, como baterias LFP (LithiumIronPhosphate - LiFePO_4), cujo cátodo Li-Phosphate melhora a performance da bateria LFP em relação aos sistemas de

Lithium-ion, permitindo um longo ciclo de vida e boa estabilidade térmica. Outras tecnologias incluem baterias NMC (NickelManganeseCobalt Oxide), cujo cátodo é uma combinação de níquel, manganês e óxido de cobalto em partes iguais, também com boa estabilidade térmica e a um preço favorável [29-32]. As baterias de ânodos de Lítio titanato LTO em relação às baterias de íões de Lítio permitem recargas muito mais rápidas e um aumento da vida útil das baterias. A Figura 2.7 apresenta como exemplo da multiplicidade de tipos de baterias e das suas diferentes aplicabilidades e pontos fortes.

Futuramente, é expectável encontrar novas tecnologias, como:

- Li-ion de estado sólido: alta energia específica, mas carga e segurança baixas.
- Lítio-enxofre: energia específica alta, mas ciclo de vida curto e carga baixa
- Ar de lítio: alta energia específica, mas pouca carga, precisa de ar limpo para respirar e tem vida útil curta.

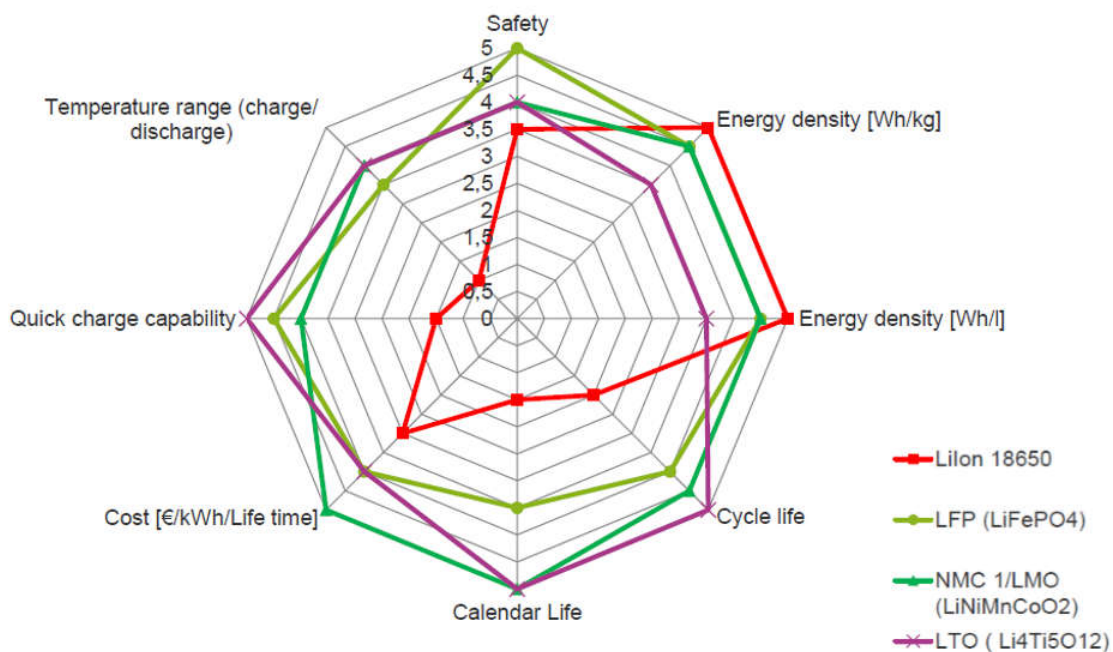


Figura 2.7– Diagrama de rede dos vários tipos de baterias [29-32].

A Figura 2.8 compara a energia específica de sistemas baseados em chumbo, níquel e lítio. Embora o Li-alumínio (NCA) possua mais capacidade de armazenamento do que outros sistemas, isso aplica-se apenas a energia específica. Em termos de potência

específica e estabilidade térmica, o Li-manganês (LMO) e o Li-fosfato (LFP) são superiores. O titanato de lítio (LTO) pode ter baixa capacidade, mas essa química sobrevive à maioria das outras baterias em termos de vida útil e também possui o melhor desempenho de temperatura baixa. Avançando para o motor elétrico, a segurança e a vida útil do ciclo ganharão domínio sobre a capacidade [29-32].

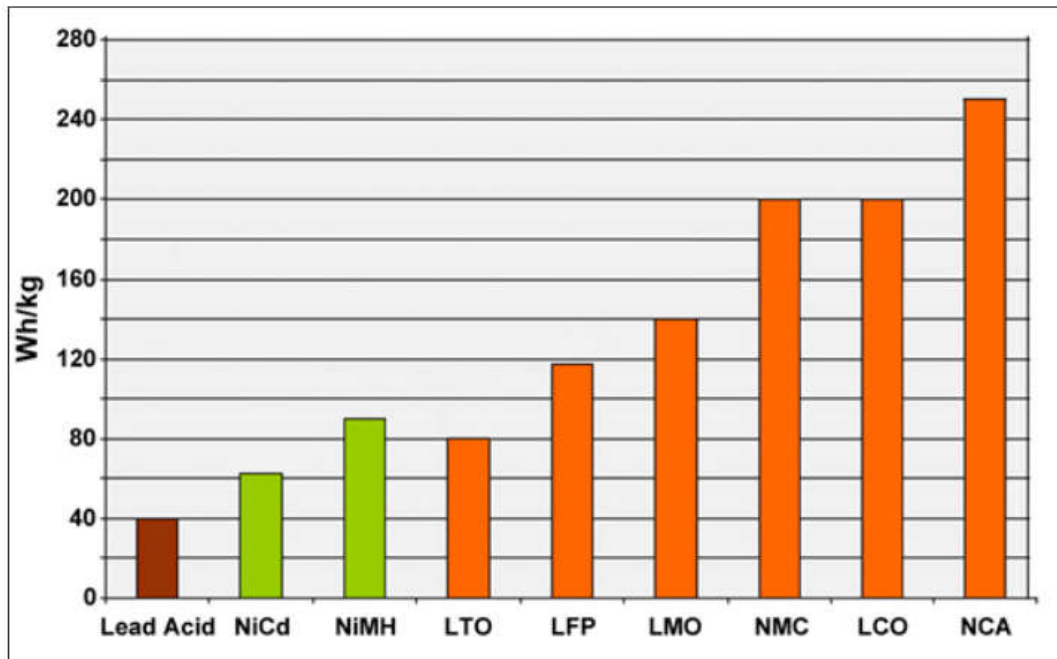


Figura 2.8 - Energia específica típica de baterias à base de chumbo, níquel e lítio, atualização 2019-07-10 [29-32].

No sector dos transportes, as baterias tendem a permitir uma autonomia na ordem dos 200 a 250 km, em condições favoráveis poderá chegar aos 300km, assumindo desta forma que a capacidade das baterias varia entre 250 e 350 kW, com consequentes impactos ao nível da massa e volume ocupado.

Ao nível operacional, a duração da recarga depende da capacidade da bateria e da potência do carregador, que variam de 150kW a 500kW e o tempo médio de recarga lenta é de 5 a 6 horas [29-32]. A gestão do carregamento e o tipo de utilização influenciam também a vida útil da bateria, onde, tipicamente, potências elevadas de carregamento significam tempo de paragem mais curto, mas reduzem a vida da bateria, e para otimizar a duração da vida da bateria esta deve ser recarregada a 30% da sua capacidade. A vida útil da bateria é de cerca de 8 anos ou 3.000 ciclos completos para NMC, exceto LTO, com 12 anos ou 20.000 ciclos (o que acontecer primeiro) [29-32].

O comportamento das baterias é também bastante suscetível à temperatura, quer seja ao nível das condições atmosféricas, como das temperaturas de operação, implicando, por vezes a necessidade de refrigeração. As baterias de lítio em termos de temperatura de funcionamento, possuem uma gama de operação desejável entre os 15 e 35 °C, tal como exemplificado na Figura 2.9.

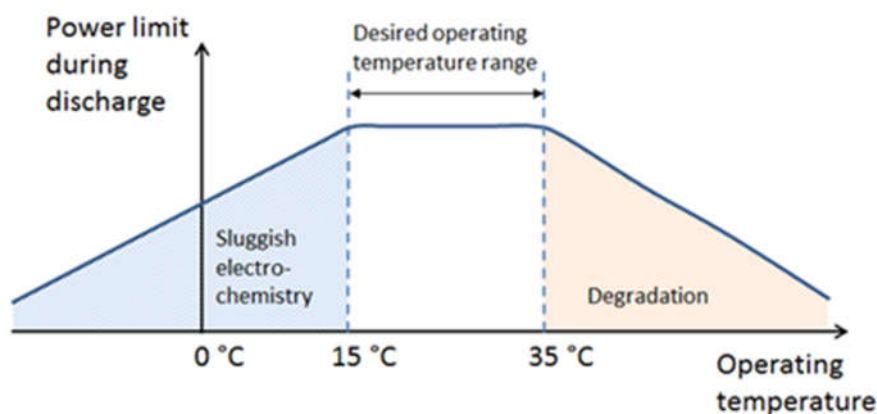


Figura 2.9 – Funcionamento das baterias em função da temperatura

Posteriormente à utilização, a reciclagem das baterias é um processo complexo, desejável e necessário. Existe uma segunda vida para as baterias de lítio, na utilização de baterias para casa, ou então para serviços auxiliares na rede elétrica, permitindo aproximadamente mais 5 anos de serviço [29-32].

Este tema tem tomado contornos bastante significativos. Fruto da consciencialização previamente referida, da aposta das marcas nesta tecnologia e dos incentivos governamentais que começam a aparecer em todo o mundo, o veículo elétrico é, cada vez mais, visto como o veículo do futuro.

Os processos comerciais para reciclagem podem ser classificados como processos físicos ou químicos. Os processos físicos envolvem o desmantelamento da bateria e a separação dos seus componentes. Os processos químicos incluem lixiviação, precipitação, refino e pirometalurgia.

2.5. Implementação de CSVE em operadores

O Futuro da Mobilidade

Para garantir uma mobilidade segura, eficiente e sustentável, destaca-se o papel dos veículos pesados de passageiros como uma maneira essencial e universal de facilitar e garantir a mobilidade dos cidadãos.

Os veículos pesados de passageiros são um ator fundamental na promoção de uma mobilidade mais segura e sustentável, que espalha a sociedade e conecta milhares de pessoas e colabora na redução das emissões de CO₂, como uma alternativa ao veículo particular [33]. Assim, é essencial continuar a impulsionar a competitividade de um setor estratégico para a sociedade e a economia de um país, e os eixos que surgem no debate diário são:

- zero emissões;
- zero acidentes de viação;
- zero barreiras.

São os pilares fundamentais para continuar a melhorar e a construir-se entre todos os veículos pesados de passageiros exigidos pela população do século XXI.

Desta forma ficou claro que a mobilidade do futuro, é muito mais responsável e sustentável principalmente em torno do transporte em veículos pesados de passageiros.

Existe o compromisso da União Internacional dos Transportes Públicos (UITP) para veículos de transporte limpos. Em relação à Lei de Acessibilidade Europeia, a UITP está comprometida com um texto realista que não comprometa a eficácia do transporte público, uma vez que já possui um alto grau de acessibilidade, graças a investimentos recentes cujo objetivo do órgão para 2050 é que 50% dos veículos sejam de zero emissões.

Também é importante realçar que “a solução para o problema da mobilidade não está apenas nos veículos, mas também na mudança de comportamento das pessoas”. O futuro reserva-nos um desafio que será a descarbonização do transporte público por meio do uso de energia elétrica; nesse sentido, "o nosso país é petrodependente", uma

vez que "94% do combustível usado no setor é de origem fóssil". No entanto é de destacar o trabalho de algumas empresas na eletrificação de sistemas de transporte comercial para reduzir significativamente essa percentagem ao nível do impacto ambiental das emissões de CO₂, especialmente nas grandes cidades. Esse trabalho, prova que “em Portugal” está a ser feito um forte investimento em termos de eletrificação do transporte, adotando um ritmo de crescimento sustentável da aplicação desta tecnologia, pelos prestadores de serviços de transporte.

As tecnologias convencionais existentes de baixa emissão, tal como o gás natural é descrito de momento como a opção mais vantajosa.

O gás natural surge como uma alternativa eficaz para reduzir a dependência do petróleo, além de ser uma fonte menos agressiva ao meio ambiente. A utilização desse combustível reduz em 65% a emissão de gases poluentes (sobretudo o dióxido de carbono) responsáveis pela intensificação do efeito estufa.

Como o gás natural pode ser considerado uma mistura formada predominantemente de metano (CH₄), as suas propriedades físicas e químicas podem ser determinadas tendo como base apenas este hidrocarboneto.

Assim, baseando-se neste princípio, a seguir são apresentadas algumas características e propriedades do gás natural:

- Densidade inferior à do ar;
- Baixo ponto de vaporização;
- Altos limites de inflamabilidade;
- Dificil explosividade
- Qualidade de produtos e processos;
- Origem diversificada.

O gás natural pode ser considerado o combustível fóssil que proporciona o menor impacto negativo sobre o meio ambiente. Por ser gasoso nas condições normais e ter densidade menor que o ar, dissipa-se rapidamente para a atmosfera sem causar danos aos organismos vivos. Devido a baixa concentração de compostos de enxofre na sua composição, a queima de GN tem reduzida emissão de dióxido de enxofre (SO₂). O GN

também possui uma combustão mais completa em relação aos demais combustíveis, o que reduz a emissão de monóxido de carbono (CO), que é tóxico e asfixiante, e o dióxido de carbono (CO₂), um dos que contribui para o aquecimento global.

A solução elétrica progredirá, mas ainda não fornece uma solução para todas as necessidades. Portanto, o gás natural, que facilita a mesma autonomia e capacidade de gestão dos combustíveis tradicionais, não deve ser descartado.

Os resultados da utilização de veículos híbridos com um modo totalmente elétrico nos centros das cidades são positivos. Assim, faz sentido começar a utilizar veículos totalmente elétricos a bateria no transporte urbano. Com a tecnologia de bateria atualmente disponível, os veículos elétricos com baterias necessitam de percorrer distâncias menores para poderem recarregar as mesmas.

A longo prazo, a eletrificação será fundamental para alcançar um sistema de transporte sustentável também para os veículos pesados. Entretanto, é mais importante do que nunca trabalhar no desenvolvimento junto dos operadores para compreender o impacto em todas as suas operações, garantindo não apenas que uma solução técnica funciona, mas também que a energia elétrica que carrega as baterias é proveniente de fontes renováveis.

Existem marcas a investir e a desenvolver soluções eletrificadas, e num futuro próximo alcançaremos um ponto de viragem onde a eletrificação para o transporte pesado se tornará num sólido investimento independente para os operadores. Porém, ainda não chegamos lá até ao momento. Algumas marcas têm desempenhado um papel ativo no desenvolvimento de baterias e células de baterias na sua própria pesquisa, através de parcerias e com operadores. Trata-se de uma área onde existirá um progresso significativo nos próximos anos, incluindo melhorias que darão resposta a tarefas de transporte diversificadas, tendo em consideração o custo total de propriedade para os operadores.

Como sempre, o trabalho baseia-se numa abordagem modular. A eletrificação envolve a pesquisa e o desenvolvimento de um amplo leque de soluções. Isto inclui diferentes tipos de tecnologias híbridas (DHEB) a biocombustível, bem como os totalmente elétricos (BEB). Os BEB podem ser carregados de diferentes formas, desde o

carregamento plug-in até ao carregamento por pantógrafo (carga de oportunidade), com o veículo parado ou em movimento através de estradas eletrificadas, ou ao carregamento por células de combustível alimentadas a hidrogénio (FCEB).

2.6. Comparação de custos

Analisando os dados presentes na Tabela 2.1, provenientes de uma análise feita pela FCH-JU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) [34], podem-se retirar conclusões acerca dos vários componentes que constituem o custo total de posse (TCO) de um veículo pesado de passageiros standard de 12 metros, com diferentes tipos de powertrain. Estes resultados, que têm por base o estudo da realidade europeia, consideram que os veículos pesados de passageiros percorrem cerca de 100 000 km por ano e têm uma vida útil de 12 anos.

Tabela 2.1 - Comparação dos custos associados à posse e utilização de um veículo pesado de passageiros standard de 12 metros. Dados de 2012 [34].

Powertrain	Preço unitário (€)	Custo de manutenção (€/km)	Custo de funcionamento (energia) (€/km)	Custos de infraestruturas (€/km)	TCO (€/km)
ICE - Diesel	224 000	0,30	0,64	0,03	2,10
HEB - Série	328 000	0,19	0,54	0,03	2,40
HEB - Paralelo	356 000	0,21	0,61	0,03	2,30
FCEB	1 600 000	0,96	0,42	0,13	4,60
BEB - Overnight	472 000	0,16	0,12	0,12	5,50
BEB - Opportunity	424 000	0,16	0,12	0,21	3,20

O preço inicial de aquisição tem a mesma ordem de grandeza para todos os veículos pesados de passageiros, exceto para os FCEB, que custam cerca de 7 vezes mais que um DB. Os BEB têm um preço que ronda o dobro dos DB, com os DHEB, em série ou paralelo, a apresentarem um preço intermédio.

Quanto ao custo de manutenção, os BEB a bateria são os mais económicos, pois têm uma complexidade mecânica baixa com poucas peças móveis ou de desgaste, e os FCEB são novamente os mais caros.

Analisando os custos de energia, os BEB movidos a bateria têm novamente um custo por quilómetro percorrido mais baixo que a concorrência, sendo cerca de 5 vezes inferior a um DB. A eletricidade é uma forma de energia com um preço muito mais

estável (PE) e previsível que o diesel, o que permite uma estimativa bastante boa dos custos de funcionamento de veículos que a utilizem.

Os custos de infraestrutura são mais penalizadores para os FCEB e BEB, pois os primeiros necessitam de uma rede de abastecimento de hidrogénio que praticamente não existe e os segundos necessitam de uma rede de carregadores. A complexidade desta rede varia consoante o tipo de BEB que suportam, carga de oportunidade ou carga noturna, sendo mais complexa e consequentemente mais cara para os primeiros. Isto porque enquanto que os BEB do tipo carga noturna apenas necessitam de carregadores nos locais onde estacionam quando não estão a ser utilizados, os BEB do tipo carga de oportunidade necessitam de estações de recarregamento ao longo dos percursos que efetuam.

Analisando o custo total de posse, TCO, obtido somando todas as componentes descritas anteriormente, pode ver-se que os BEB ainda não são uma alternativa economicamente viável em relação aos DB ou DHEB. No entanto, olhando para os dados da Figura 2.10, provenientes de uma análise feita pela FCH-JU, pode-se concluir que é esperado que no final da próxima década os BEB a bateria, especialmente os do tipo carga de oportunidade, consigam competir diretamente com os DB e DHEB em termos de TCO [34].

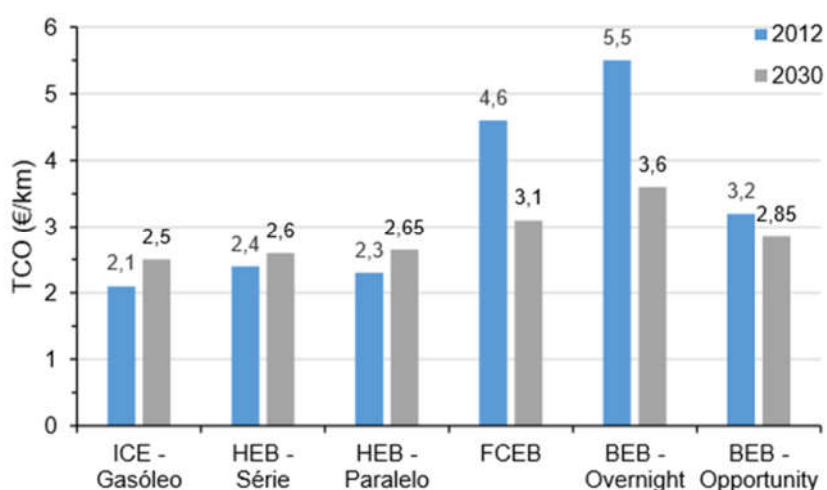


Figura 2.10 – Custo total de posse, TCO, para vários tipos de powertrain, em 2012 e previsão para 2030 [34].

Numa análise feita por Lajunen, os autores concluem que na atualidade, e para as realidades da Finlândia e da Califórnia, a opção mais eficiente em termos de TCO é a configuração diesel-híbrido (DHEB), e que além disso, e quando possível a escolha, o

BEB a bateria do tipo carga de oportunidade é mais eficiente em termos de custos do que o do tipo carga noturna [26].

Num outro estudo, também tendo em conta a realidade da Finlândia, os autores afirmam que os (BEB) podem ser vistos como os primeiros veículos elétricos, dentro dos veículos rodoviários, que fazem sentido tanto do ponto de vista económico como do ponto de vista ambiental [35]. Isto é suportado pelo argumento de que os custos de operação reduzidos dos BEB, aliados à sua alta eficiência energética, fazem com que o TCO seja inferior ao dos DB, principalmente para o caso de BEB com baterias de pequena autonomia, mas com elevada potência.

3. Metodologia

3.1 - Descrição geral do processo metodológico

Em termos genéricos, o objetivo principal desta dissertação consiste em estimar o impacto do crescimento do número de veículos pesados de passageiros elétricos na exploração e manutenção de frotas em Portugal. O trabalho realizado decorreu com o suporte de operadores nas regiões de Lisboa, Braga e Funchal. Paralelamente, procura-se também com a presente investigação avaliar quais os principais riscos e oportunidades que os BEB representam para o mercado Português.

Neste sentido, o processo metodológico iniciou-se com uma análise qualitativa a documentos de política energética, dados estatísticos, nacionais e internacionais, e a estudos científicos já existentes, de forma a obter uma base teórica do atual contexto nacional e a identificação clara dos principais fatores críticos de sucesso dos BEB no mercado Português.

3.2- Monitorização de veículo em operação

O ensaio foi feito com o objetivo de analisar a performance do veículo BEB, em condições reais de utilização. A viatura possui as seguintes características gerais, apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características do veículo pesado de passageiros elétrico (BEB)

Estrutura e dimensões	
Chassis	Low-floor
Peso bruto [kg]	19000
Peso vazio [kg]	12300
Comprimento [mm]	11995
Largura [mm]	2500
Altura [mm]	3058
Lotação	35 lugares ; 53 de pé
Motor	
Tipo	Síncrono
Potência nominal [kW] [rpm]	160 1500
Binário nominal [Nm] [A]	1500 210
Binário máximo [Nm] [A]	2500 350
Velocidade máxima [rpm]	3500
Baterias	
Capacidade [kW]	85
Tipo de bateria	Lítio de fosfato de ferro
Carregamento	AC trifásico a bordo DC 150 externo
Ar condicionado	
Potência [kW]	12

O veículo pesado de passageiros possui ainda um sistema de travagem regenerativa, em que a energia elétrica gerada é armazenada nas baterias. Este veículo elétrico tem um baixo nível de ruído e não tem emissões poluentes em ambiente urbano, pelo que se considera que apresenta um impacto positivo ao nível da qualidade ambiental nos centros urbanos, pois a poluição é feita a montante na produção de energia elétrica.

3.3- Metodologia Vehicle Specific Power

A metodologia VSP permite caracterizar experimentalmente o consumo energético e emissões de gases de veículos, em função de um determinado regime ou condição de utilização.

Para se procurar caracterizar a viatura com grande detalhe ao nível energético, por exemplo tendo por base rotas específicas, foi necessário desenvolver uma metodologia de análise apropriada, assente em torno das especificidades deste estudo. Esta análise do consumo de viaturas em ambiente real de condução foi desenhada tendo por base uma medição dos consumos globais de eletricidade consumida, e registada no carregador e monitorização segundo a segundo das dinâmicas de condução (topografia e velocidade) associadas a tais consumos. A principal vantagem desta abordagem é a estimativa de consumo de eletricidade recorrendo apenas a dados dinâmicos de rotas específicas.

Assim, concluiu-se que a metodologia a desenvolver poderia contar apenas com a dinâmica do veículo recolhida com um sistema de GPS, com altímetro barométrico, e com o consumo total realizado, medido no momento do abastecimento do veículo, no final de cada turno de trabalho. Durante os testes, o veículo pesado de passageiros carregou a bateria sempre nas estações dos operadores, através de um carregador de 11 kW, ligado a um contador de energia elétrica.

Para cada um dos testes nas várias linhas operadas, o veículo saiu com bateria completamente carregada, e durante as viagens realizadas ao longo de uma carga completa, foram recolhidos dados do estado de carga da bateria, em percentagem de carga disponível na bateria, quilómetros realizados (leitura no painel de instrumentos, com uma incerteza associada de +/- 0,5 km) e altitude, em determinados pontos ao longo do trajeto.

Assim, foi decidido usar a metodologia VSP, do inglês Vehicle Specific Power, bastante utilizada para estimar os consumos de energia de veículos DB que fazem serviços de curta distância (urbanos). Esta metodologia VSP foi selecionada precisamente por se encaixar no contexto do problema, requerendo apenas o registo dos dados da dinâmica e da topografia percorrida para descrever a potência usada pelo veículo ao longo de uma viagem, ambos possíveis de obter com um sistema GPS com altímetro barométrico [36-39].

A metodologia VSP resulta da aplicação da segunda lei de Newton à dinâmica do veículo em estudo e é definida como a potência de tração do mesmo por unidade de massa (W/kg). Assim sendo, o VSP é uma função da velocidade do veículo, da aceleração e do gradiente da estrada tendo em consideração a resistência aerodinâmica e a resistência ao rolamento provocada pelos pneus [40].

Para os veículos pesados de passageiros urbanos o VSP é estimado através da equação (1). O significado de cada um dos termos está explicado a seguir à mesma na Tabela 3.2. As constantes apresentadas para o termo de resistência de rolamento e de resistência aerodinâmica representam valores típicos para este tipo de veículo pesado de passageiros, valores estes obtidos empiricamente [36].

$$VSP (W/kg) = v \times (a + g \times \sin(\omega) + 0,092) + 0,00021 \times v^3 \quad (1)$$

Tabela 3.2 - Descrição dos termos presentes na equação que calcula o VSP.

<i>v</i>	Velocidade do autocarro (m/s)
<i>a</i>	Aceleração do autocarro (m/s ²)
<i>g</i>	Aceleração da gravidade (m/s ²)
<i>ω</i>	Inclinação da via (rad)
0,092	Termo da resistência de rolamento (m/s ²)
0,00021	Termo da resistência aerodinâmica (m ⁻¹)

Através dos valores de VSP obtidos são definidos os modos VSP a utilizar. Estes podem ser divididos em três grupos distintos, os que contêm valores negativos, nulos e positivos, que apresenta a distribuição modal de VSP definida para a análise dos dados recolhidos neste trabalho.

O objetivo de fazer esta distribuição é o de atribuir a cada modo VSP um dado valor médio de potência consumida pelo veículo pesado de passageiros, determinada através dos dados recolhidos. Sabendo o valor de potência consumida que corresponde a cada modo VSP, a percentagem de tempo que o veículo passa em cada um dos modos num dado percurso e o tempo que esse percurso demorou a ser percorrido, pode então calcular-se para esse mesmo percurso a energia total requerida pelo veículo às baterias.

A metodologia de avaliação do ciclo de condução, como usado, por exemplo, no modelo EPA MOVES ou como descrito em [41], é possível estimar o uso e as emissões totais de combustível combinando o uso modal de combustível do veículo e as emissões obtidas na estrada para cada veículo com a distribuição de tempo do VSP de um determinado ciclo de condução, (equação (2))

$$EC = \sum_{i=1}^{12} EC_i \times t_i \quad (2)$$

Temos:

EC: Consumo total de combustível para um determinado ciclo de direção;

EC_i: Taxa de consumo de energia para o modo VSP i para um determinado veículo;

t_i: tempo gasto no modo VSP para um determinado ciclo de condução.

Os modos -12 a -1 correspondem a situações em que a dinâmica do veículo exige que seja retirada energia cinética ao mesmo, quer seja através da atuação dos travões, ou no caso do veículo pesado de passageiros elétrico em estudo, através da utilização do modo de regeneração de energia do motor elétrico de tração. Estas situações ocorrem por exemplo em eventos de desaceleração ou quando o veículo percorre uma estrada com inclinação negativa. O modo 0 (zero) corresponde a uma situação em que não é necessário retirar nem fornecer energia cinética ao veículo, como por exemplo numa situação em que o declive da estrada permita que o termo da energia potencial gravítica compense a energia dissipada pelos termos de atrito, ou num caso mais comum, quando o veículo está parado. Por último, os modos compreendidos entre 1 e 12 correspondem às situações que exigem que o motor elétrico forneça energia cinética ao veículo, como em eventos de aceleração ou quando este está a percorrer uma estrada com inclinação positiva.

3.4-Distribuição modal de VSP para estimar curvas de consumo de combustível

Para proceder ao cálculo da curva de consumo de uma viatura em função da potência, é necessário reduzir os ciclos de velocidade de cada viagem registada a uma distribuição do tipo modal da sua potência ao longo de cada ciclo. A Figura 3.1 apresenta um exemplo da distribuição modal temporal de VSP para duas viagens baseado em trajetos diferentes.

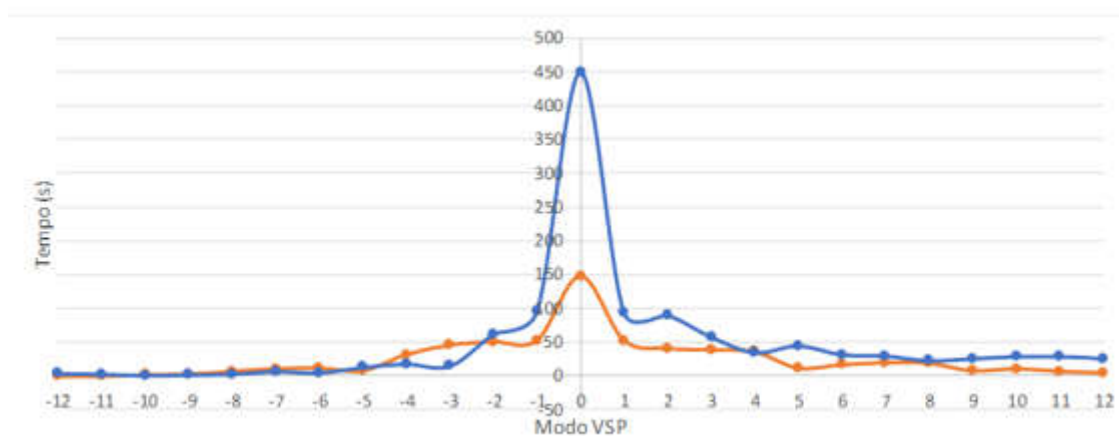


Figura 3.1 – Exemplo do ajuste da dinâmica de duas viagens baseado em trajetos diferentes

Após obtenção das distribuições modais para os ciclos de velocidade, é possível usá-las em simultâneo com os consumos globais medidos, para obter curvas de consumo características de cada viatura. A curva de consumo típica deste tipo de viaturas apresenta uma forma conforme indicado (Figura 3.2).

Desta forma, a curva de consumo característica, é composta por 3 comportamentos distintos:

- Para potências positivas, o consumo evolui de forma linear com a potência;
- Para potências em torno de zero (positivas e negativas), o consumo varia quadraticamente com a variação da potência;
- Para potências negativas o consumo apresenta um valor constante, o que quer dizer que o consumo não varia com a potência.

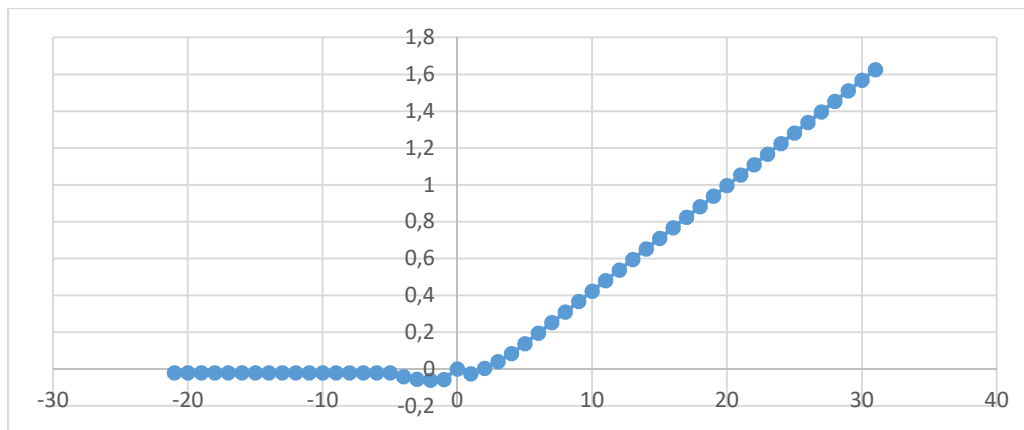


Figura 3.2- Exemplo da curva de consumo característica

Para esta aplicação concreta, e dada a inexistência de literatura que relacione o consumo instantâneo com a distribuição modal, foi importante proceder a um processo matemático de tentativa e erro para encontrar os pontos de continuidade entre as equações que descrevem a curva de consumo.

A curva de consumo em função da potência específica de um veículo pode ser definida por 5 equações distintas, relativas a 3 regiões já definidas. No entanto, é ainda necessário definir constrangimentos dessas mesmas curvas, de tal forma a representarem o mais próximo da realidade a curva de consumo de um BEB, nomeadamente em:

Continuidade – todas as fronteiras das equações aqui indicadas, deverão ser contínuas, e, portanto, deverão entrar como um constrangimento no sistema de equações a resolver pela metodologia VSP.

Continuidade da derivada – As fronteiras entre a equação quadrática e linear, do lado positivo e negativo, ou seja, têm uma derivada aproximadamente contínua, portanto são também condições fronteira dos sistemas de equações a resolver.

Durante o desenvolvimento desta metodologia, concluiu-se que são necessárias pelo menos 2 viagens (nos dois sentidos e trajetos diferentes), que serão utilizadas para definir a curva de consumo em função da potência específica. São ainda necessárias viagens adicionais para validação do modelo.

De modo a definir a curva de consumo em função da potência específica, são necessárias 5 equações, para 5 domínios diferentes, sendo que duas destas equações são lineares e as restantes 3 são quadráticas:

Assim, definindo o sistema de equações do qual resultam os valores das variáveis a, b, c, d, e e f tem-se:

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo}_{\text{viagem1}} &= \sum_{VSP=-12}^{-6} a \times t_{VSP} + \sum_{VSP=-5}^{-1} (b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP} + \delta \left((b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP=0} \right) + \sum_{VSP=1}^5 (b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP} + \sum_{VSP=6}^{12} (e \times VSP + f) t_{VSP} \\
 \text{Consumo}_{\text{viagem2}} &= \sum_{VSP=-12}^{-6} a \times t_{VSP} + \sum_{VSP=-5}^{-1} (b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP} + \delta \left((b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP=0} \right) + \sum_{VSP=1}^5 (b \times VSP^2 + c \times VSP + d) t_{VSP} + \sum_{VSP=6}^{12} (e \times VSP + f) t_{VSP} \quad (3) \\
 a &= 25b - c + d \text{ (continuidade em } VSP=-5) \\
 25b + 5c + d &= 5e + f \text{ (continuidade em } VSP=5) \\
 2 \times 5b + c &= e \text{ (continuidade derivada em } VSP=5)
 \end{aligned}$$

De notar que o valor de a foi imposto como a regeneração máxima possível, tendo sido fixado a 74 kW, de acordo com dados do operador. Concluiu-se ainda que os equipamentos auxiliares do BEB, como a iluminação, o computador de bordo, a climatização e os equipamentos pneumáticos que suportam a travagem mecânica do mesmo consumiram em média uma potência de 3 kW ao longo da duração de testes realizados em situação de operação regular na linha, tendo sido este o valor utilizado para consumo ao ralenti.

3.5 – Procedimento experimental geral para recolha de dados de dinâmica de condução

Os dados relativos à dinâmica e à topografia foram recolhidos com um instrumento de GPS, modelo Qstarz (Figura 3.3), e modelo GPS Map 76CSx da Garmin (Figura 3.4) cuja medição da altitude, velocidade é muito precisa [42].

Com base nos dados de latitude e longitude e sabendo que o tempo de entre medições é de 1 Hz torna-se possível calcular a velocidade a cada segundo. Com a variação da posição longitudinal e com a variação de elevação torna-se possível saber o declive do terreno em que o veículo circulou.



Figura 3.3 – QSTARZ, utilizado para a recolha dos dados relativos à dinâmica e topografia.



Figura 3.4 - GPSMap 76 CSx da Garmin, utilizado para a recolha dos dados relativos à dinâmica e topografia [41]

Para a recolha de todos os dados necessários foi desenvolvido e utilizado o seguinte procedimento experimental:

1. O início da viagem, começa no ponto de partida daquele percurso.
2. Durante a viagem são assinaladas as paragens existentes no percurso, independentemente da sua imobilização, através do premir o botão do GPS QSTARZ.
3. A viagem prossegue cumprindo o itinerário do percurso em questão e o GPS QSTARZ é mantido ligado sempre até ao *términus* do percurso. No momento em que o condutor desliga o veículo neste local, o GPS QSTARZ é também desligado e a viagem é dada como terminada.

4. Após o final da viagem, verifica-se no painel de instrumentos o consumo efetuado e a carga da bateria.
5. Os dados foram recolhidos, tal como pode ser visto na Figura 3.5

LOCAL TIME	MS	VALID	LATITUDE	N/S	LONGITUDE	E/W	HEIGHT	SPEED
15:02:26	0	SPS	32.6464864500	N	-16.9109055182	W	64	0.325
15:02:27	0	SPS	32.6465298352	N	-16.9109397144	W	66	0.372
15:02:28	0	SPS	32.6465175168	N	-16.9109498969	W	57	2.560
15:02:29	0	SPS	32.6464972266	N	-16.9109137319	W	56	7.162
15:02:30	0	SPS	32.6464532539	N	-16.9109069698	W	44	11.188
15:02:31	0	SPS	32.6464811512	N	-16.9108583387	W	45	13.107

Figura 3.5 - Informação recolhida através do Qstarz

3.6 - Monitorização de rotas (recolha de dados dinâmicos)

Os dados utilizados para a caracterização do comportamento do BEB a operar em rotas urbanas foram recolhidos numa situação de utilização real do mesmo enquanto este se encontrava ao serviço, a fazer linhas na região de Braga e Funchal. As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam exemplos de linhas monitorizadas em cada uma destas áreas.

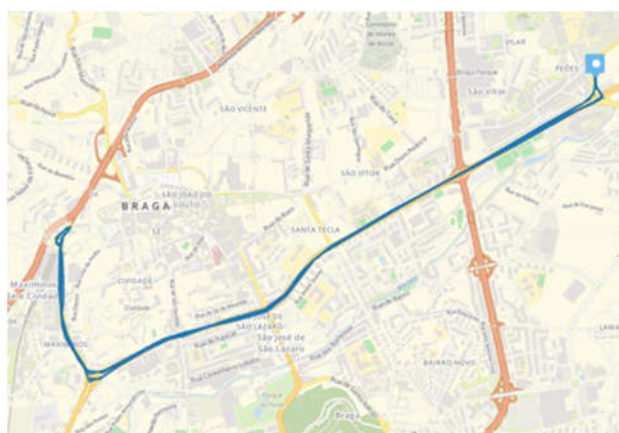


Figura 3.6 – Rota 43 (Estação – Universidade) (mapa gerado através dos dados recolhidos).



Figura 3.7 - Trajeto Funchal - Aeroporto (mapa gerado através dos dados recolhidos).

As rotas referidas anteriormente foram escolhidas para a recolha de dados, porque são as linhas exclusivas dos veículos pesados de passageiros elétricos e por incluírem vários tipos de topografia de terreno, partes com secções planas e outras com declives médios e velocidades de circulação variadas. Deste modo, é possível utilizá-las para testar através de metodologias adequadas o BEB em estudo num leque relativamente abrangente de situações de circulação urbana reais, com o intuito de concluir acerca do potencial de utilização deste como substituto direto de um DB e/ou CNG, em modo de urbanos.

3.7 – Análise comparativa de tecnologias de propulsão

O desempenho do veículo pesado de passageiros elétrico, em cada um dos percursos testados, foi comparado com um veículo idêntico DB e um outro a gás natural, (CNG) com características similares e a operar nas mesmas condições. Pretende-se desta forma, comparar o BEB com a tecnologia atualmente com maior presença que é o DB (Diesel) e com a principal alternativa com motor térmico (CNG), com a finalidade de fornecer elementos para as posteriores tomadas de decisão.

Para efetuar a análise comparativa dos indicadores de desempenho energético, económico e ambiental, entre as tecnologias Elétrica, Diesel e CNG, foram considerados os pressupostos apresentados no Anexo II.

O objetivo desta análise baseia-se num documento produzido com base em registos de operação na Região Autónoma da Madeira, complementados pela recolha de dados efetuados no âmbito do presente trabalho com operadores da região de Lisboa [42]. No caso de Lisboa, a metodologia consistiu na utilização de três veículos pesados de passageiros em serviço público, numa linha específica, com registo diário dos dados referentes ao seu abastecimento, ou seja, quilómetros e consumo energético (kWh, Nm³ e litros, consoante o tipo de veículo, BEB, CNG e DB)[43].

Procurou-se que os veículos pesados de passageiros utilizados tivessem características próximas, tal como se verifica na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características dos veículos

Estrutura e dimensões			
	Elétrico	Diesel	CNG
Chassis:	Low-floor	Low-floor	Low-floor
Peso bruto [kg]	19000	19000	19000
Peso vazio [kg]	12300	11622	13190
Motor			
	Elétrico	Diesel	CNG
Tipo/Cilindrada [cm3]	Síncrono	6871	12816
Potência nominal [kW] [rpm]	160 / 1500	206 / 2400	228 / 2000
Binário máximo [nm] [A]	2500 / 350	1100 1400-1700	1250 1000-1700
Energia			
	Elétrico	Diesel	CNG
Capacidade [kW]	85	Gasóleo	Gás natural
Tipo de bateria/Capacidade [l]	Lítio de fosfato de ferro	300	1330 (279Nm3 @ 220 bar)
Ar condicionado			
	Elétrico	Diesel	CNG
Potência [kW]	12	32,5	32



4. Resultados

Tendo em vista uma análise da introdução de BEB e da sua viabilidade em termos operacionais, é neste ponto o foco, onde se irá analisar a validade e dificuldades associadas à elaboração de um modelo de previsão de consumo para rotas específicas. Seguidamente, este modelo será aplicado e comparado com dados reais de operação num contexto distinto com maior incidência de declives acentuados e especificidades na produção de eletricidade, como é o caso da Região Autónoma da Madeira.

Com base nesta informação e na recolha de dados dos operadores, será efetuada uma análise comparativa dos impactos energéticos, ambientais e de custos associados à operação do BEB face às convencionais tecnologias a Diesel e Gás Natural. Finalmente, a análise de viabilidade utiliza os dados dos casos de estudo anteriores, assim como da manutenção para fazer uma previsão a 16 anos da operacionalidade de cada uma destas tecnologias. Salienta-se que, apesar de testado em regiões diferentes, o BEB é sempre o mesmo modelo e do mesmo fabricante, mantendo as suas características inalteráveis.

4.1 Validação modelo

Com base em dados recolhidos em condições reais de operação (em estrada) na região de Braga, com um GPS e de acordo com a metodologia apresentada no capítulo 3, apresentam-se os resultados para a validação do modelo. Esta análise permite elevado detalhe, uma vez que é possível uma rota específica, com perfis de condução detalhados.

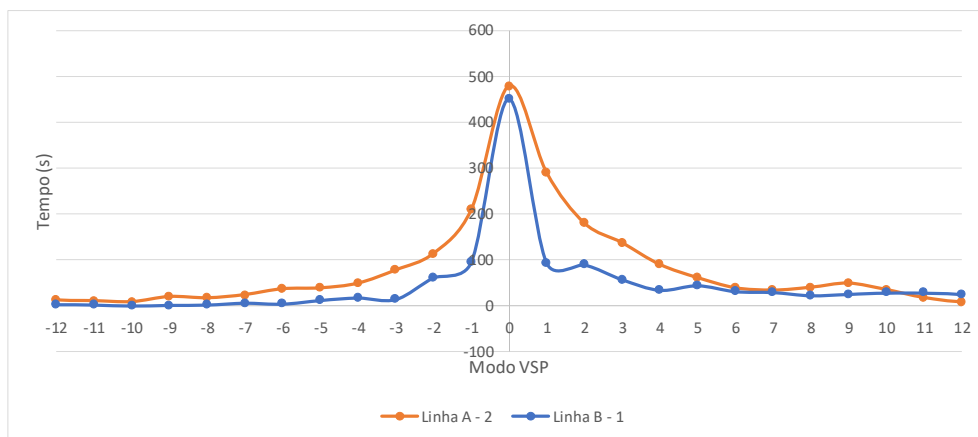


Figura 4.1 – Distribuição temporal por modo VSP

A Figura 4.1 mostra a distribuição temporal de 2 das viagens monitorizadas, em função do modo VSP.

Estando este indicador associado à potência à roda requerida a cada segundo de condução, verifica-se que cerca de 31% do tempo das viagens monitorizadas se encontra em gamas de baixa potência (entre 1 e 5 W/kg), sendo que cerca de 30% do tempo é em modo VSP 0, ou seja, parado. Esta informação é consistente com a operação típica de veículos pesados de passageiros. Gamas de maior potência ocorrem essencialmente devido a declives mais acentuados, por exemplo.

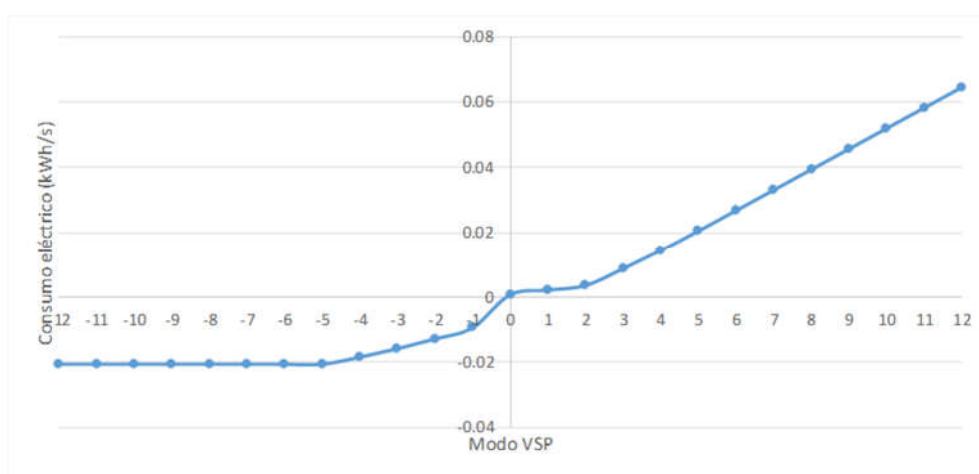


Figura 4.2 – Curva de consumo com correção para o ralenti (por modo VSP)

Tendo por base a distribuição VSP de 2 viagens monitorizadas e o consumo global associado a essas viagens, foi possível obter uma curva de consumo, com um nível de detalhe semelhante ao que se poderia obter com recurso a equipamentos de medição das correntes e tensões envolvidas na bateria, segundo a segundo, em estrada.

Verifica-se que o modelo tem em conta a regeneração, o consumo imposto ao ralenti, assim como uma linearidade entre a dinâmica e o consumo, típico em BEB. No presente caso, constata-se que entre o modo -1 e -12 existe regeneração. Esta é uma particularidade do conjunto de viagens escolhidas para caracterização do veículo. Outros pares de viagens usados como input do modelo permitiriam obter regeneração em todos os modos negativos (tipicamente desaceleração), contudo, globalmente apresentavam erros maiores.

No caso da recolha de dados do GPS definem-se as condições dinâmicas impostas ao veículo, sobre a forma de potência específica (VSP) num determinado instante.

Contudo, o sinal de GPS (velocidade) possui algumas limitações, tais como perda de sinal e/ou zonas de cobertura de satélite mais fracas.

Para verificação da aplicabilidade e robustez desta métrica, a curva de consumo obtida será utilizada em medições de dinâmica efetuadas na Madeira, recorrendo a um veículo Diesel, de características semelhantes ao elétrico.

4.2 Aplicação do modelo desenvolvido a um caso de estudo

O modelo desenvolvido foi aplicado a viagens cujo contexto de operação é realizado na região de Braga. Na região Autónoma da Madeira foram monitorizados os dados dinâmicos de várias viagens, com diferentes tipos de topografia, para averiguar a aplicabilidade do modelo. Salienta-se que neste caso, os dados globais de consumo provêm de um estudo efetuado na região, enquanto os dados dinâmicos provêm da monitorização das linhas em causa e foram realizados no âmbito deste trabalho [44].

A Figura 4.3 apresenta os dados do estado de carga da bateria (em percentagem de carga disponível na bateria), quilómetros realizados e altitude, recolhidos em determinados pontos ao longo do percurso do veículo pesado de passageiros, após uma carga completa, ao serviço da linha Aerobus, que liga a Praia Formosa ao Aeroporto.

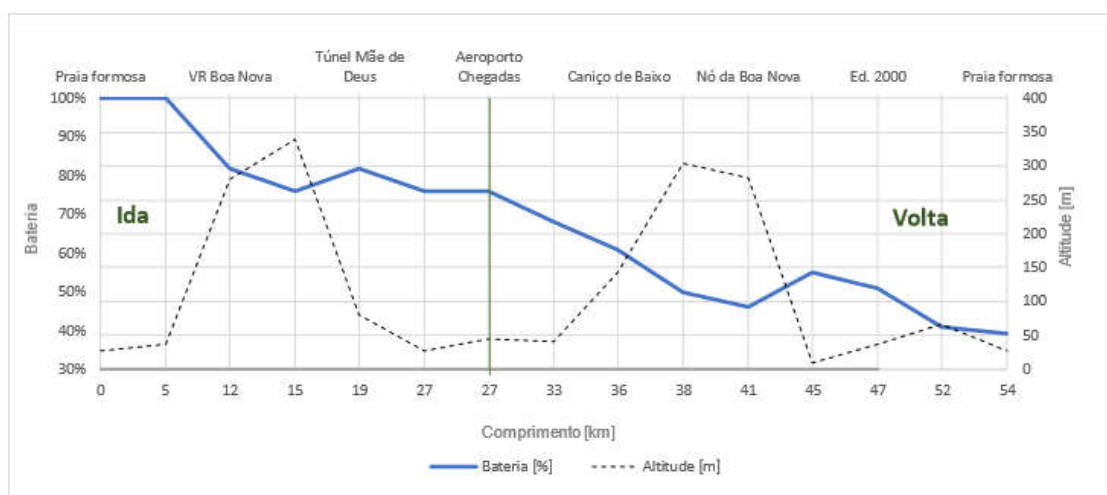


Figura 4.3 - Evolução da bateria ao longo da viagem no serviço Funchal - Aeroporto [44]

Verificou-se que, com esta bateria, o veículo pesado de passageiros realiza apenas uma viagem de ida e volta ao Aeroporto, terminando na Praia Formosa com 39% de carga. No regresso à estação, a cerca de 2 km de distância, consome mais 12%, chegando com

27% de carga à estação. A tabela a seguir apresenta o resumo do consumo de energia no percurso e a regeneração de energia elétrica através do sistema de travagem.

Tabela 4.1 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração no serviço Funchal - Aeroporto

Viagem		Estado da bateria à chegada	Regeneração	Consumo final (kWh)	Consumo específico (kWh/km)
P.Formosa - Aeroporto		76%	6%	55,18	1,02
Aeroporto - P.Formosa		39%	9%		
Vazio	Estação - P.Formosa	100%		10,86	2,71
	P.Formosa - Estação	27%			

Tabela 4.2 - Consumo estimado e desvio no serviço Funchal - Aeroporto

Viagem	Consumo estimado [kWh]	Desvio [%]
P.Formosa - Aeroporto	51,44	6,8
Aeroporto - P.Formosa		

Uma viagem completa, ida e volta (54 km) do serviço Funchal - Aeroporto tem uma estimativa de consumo com base na curva da Figura 4.2 e recolha de dados de GPS para construção de curvas de distribuição tempo por modo VSP de 51,44 kWh. Durante a viagem, há regeneração de energia em dois troços, que permite o aumento da sua autonomia em 15%. O desvio obtido do consumo estimado em relação ao consumo final é de aproximadamente 6,8%.

A Figura 4.4 apresenta os dados do estado de carga da bateria (em percentagem de carga disponível na bateria), quilómetros realizados e altitude, recolhidos em determinados pontos ao longo do percurso do veículo, após uma carga completa, ao serviço da linha Centro - Monte, que liga a Praça da Autonomia, no centro do Funchal, ao Largo da Fonte.

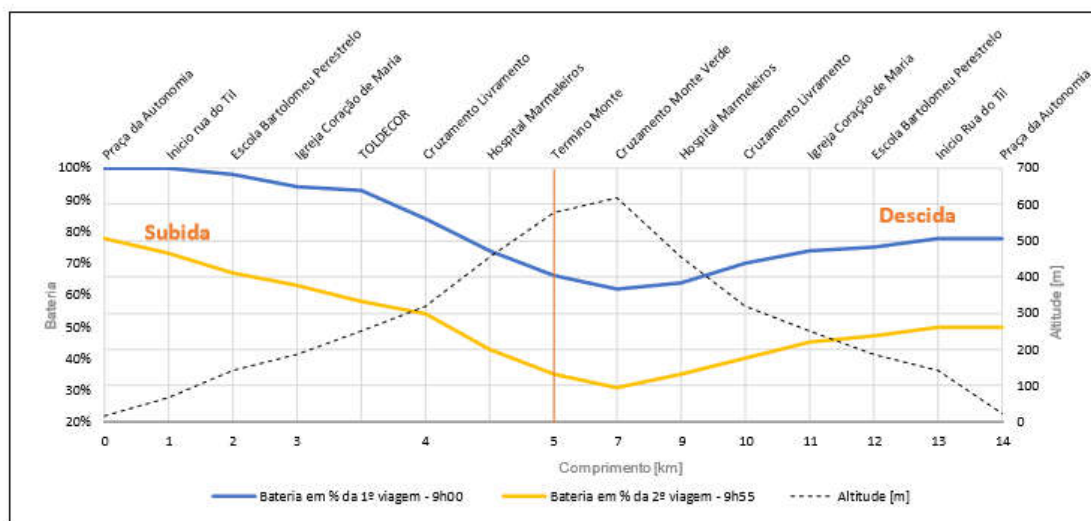


Figura 4.4 - Evolução da bateria ao longo das viagens do Centro - Monte [44]

Verificou-se que, com esta bateria, o veículo pesado de passageiros realizou duas viagens completas de ida e volta ao Largo da Fonte, de aproximadamente 14 km cada, terminando na Praça da Autonomia com 50% de carga. No regresso à estação, a aproximadamente 4 km de distância, consome mais 12%, chegando com 38% de carga. A tabela a seguir apresenta o resumo do consumo de energia no percurso e a regeneração de energia elétrica através do sistema de travagem.

Tabela 4.3 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração no serviço Centro - Monte

Viagem	Sentido	Estado da Bateria à chegada	Regeneração	Consumo final (kWh)	Consumo específico (kWh/km)
1ª Viagem	Centro - Monte	66%		38,71	1,43
	Monte - Centro	78%	12%		
2ª Viagem	Centro - Monte	35%			
	Monte - Centro	50%	15%		
Vazio	Estação - Centro	100%		9,29	1,33
	Centro - Estação	38%			

Tabela 4.4 - Consumo estimado e desvio no serviço Centro - Monte

Viagem	Consumo estimado [kWh]	Desvio [%]
Centro - Monte	20,13	4
Monte - Centro		

Uma viagem completa de ida e volta na linha Centro - Monte tem uma estimativa de consumo com base na curva da Figura 4.2, por modo VSP de 20,13 kWh. Durante a viagem, há regeneração de energia elétrica na viagem no sentido Monte - Centro, o que permite o aumento da autonomia em 27%. O desvio obtido neste troço é de 4%.

O gráfico da Figura 4.5 apresenta os dados do estado de carga da bateria (em percentagem de carga disponível na bateria), quilómetros realizados e altitude, recolhidos em determinados pontos ao longo do percurso do veículo pesado de passageiros, durante uma carga completa, ao serviço da linha Ponta da Cruz - Centro, que liga a Empresa de Eletricidade da Madeira, no centro do Funchal, à Praça Assicom.

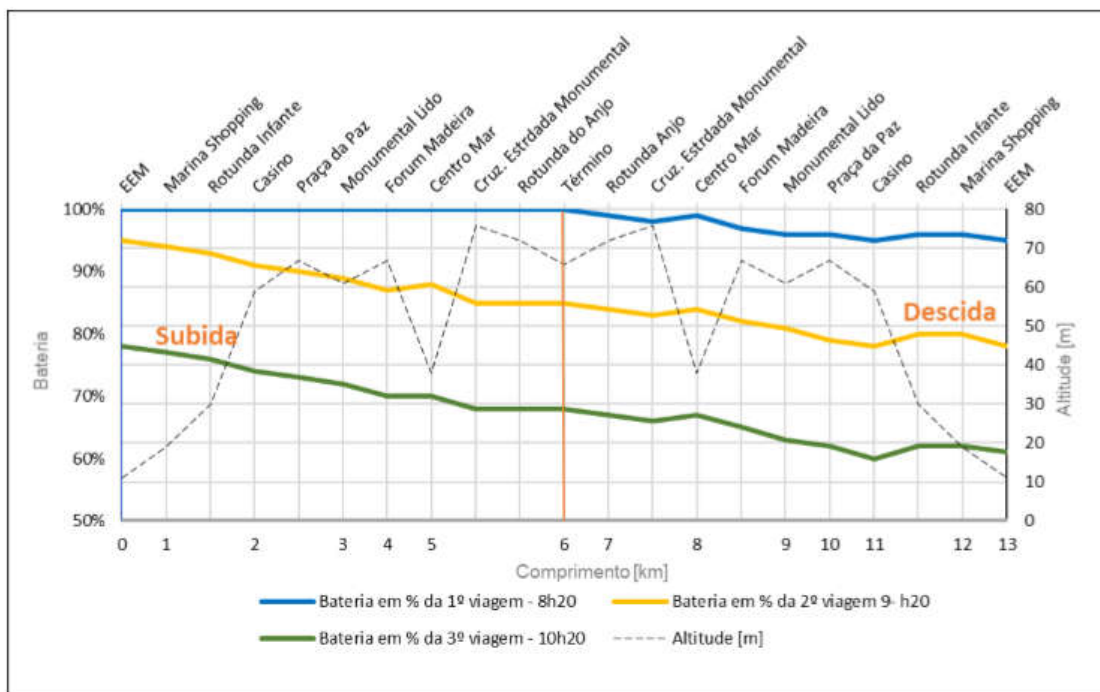


Figura 4.5 - Evolução da bateria ao longo das viagens da linha Ponta da Cruz – Centro [44]

Verificou-se que, com esta bateria, o veículo pesado de passageiros realizou três viagens completas (37 km), ida e volta, à Ponta da Cruz, terminando na Empresa de Eletricidade da Madeira com 61%. No regresso à estação, a 3 km de distância, consome mais 13%, chegando com 48%. Neste caso, o veículo teria carga na bateria para fazer mais viagens. A bateria estava totalmente carregada quando saiu da estação e o percurso de 3 km é todo ele a descer o que permite ainda a regeneração e fazer na primeira viagem. metade da mesma sem praticamente nenhum consumo de bateria.

A tabela a seguir apresenta o resumo do consumo de energia no percurso e a regeneração de energia elétrica através do sistema de travagem.

Tabela 4.5 - Consumo de energia, estado da bateria e regeneração no serviço Ponta da Cruz - Centro

Viagem	Sentido	Estado da bateria à chegada	Regeneração	Consumo final (kWh)	Consumo específico (kWh/km)
1ª Viagem	Centro - Ponta da Cruz	100%		33	0,89
	Ponta da Cruz - Centro	95%			
2ª Viagem	Centro - Ponta da Cruz	85%			
	Ponta da Cruz - Centro	78%	1%		
3ª Viagem	Centro - Ponta da Cruz	68%			
	Ponta da Cruz - Centro	61%			
Vazio	Estação - Centro	100%		11	1,83
	Centro - Estação	48%			

Tabela 4.6- Consumo estimado e desvio no serviço Ponta da Cruz – Centro

Viagem	Consumo estimado [kWh]	Desvio [%]
Centro - Ponta da Cruz	6,47	41,2
Ponta da Cruz - Centro		

A viagem completa, ida e volta, da carreira de Ponta da Cruz tem uma estimativa de consumo com base na curva da figura 4.2, resultado por modo VSP de 6,47 kWh. Durante a viagem, há pouca regeneração de energia elétrica, registando-se apenas num momento durante a mesma no sentido Ponta da Cruz - Centro, com um aumento da autonomia em 1%. O desvio obtido do consumo estimado em relação ao consumo final é de aproximadamente 41,2%. Neste caso a margem de erro é muito elevada, e esta discrepância deve-se possivelmente ao mau sinal do GPS e/ou perturbações de leitura, pois é uma zona de densidade de construção em altura muito elevada e também muito arborizada.

4.3 Análise energética e ambiental da operação de diferentes tecnologias de propulsão

Numa perspetiva mais alargada de operação, tendo por base os valores globais de consumo para o BEB, foram utilizados dados recolhidos num estudo realizado na região da Madeira [44] e recolhido no âmbito deste trabalho, junto de operadores na região de

Lisboa. A análise destas duas regiões é interessante na perspetiva do contexto de operação, como da produção de energia elétrica.

Do ponto de vista ambiental, o BEB apresenta uma clara vantagem, face às tecnologias convencionais.

Tabela 4.7 – Emissões de GEE, para os percursos urbanos e interurbanos (Análise de emissões de CO₂, NO_x e PM), durante 16 anos [43].

Serviços	Emissões de CO ₂			Emissões de CO ₂ evitadas		
	Elétrico	Diesel	GNC	Elétrico vs Diesel	Diesel vs CNG	Elétrico vs CNG
	(t)					
Ponta da Cruz	270	1335	1108	1065	227	838
Monte	434	1566	1299	1132	267	865
Aeroporto	310	987	819	677	168	509
Σ	1014	3888	3226	2874	662	2212

Serviços	Emissões de NO _x			Emissões de NO _x evitadas		
	Elétrico	Diesel	GNC	Elétrico vs Diesel	Diesel vs CNG	Elétrico vs CNG
	(kg)					
Ponta da Cruz	189	4586	2885	4397	1701	2696
Monte	303	5382	3382	5079	2000	3079
Aeroporto	216	3387	2133	3171	1254	1917
Σ	708	13355	8400	12647	4955	7692

Serviços	Emissões de PM			Emissões de PM evitadas		
	Elétrico	Diesel	GNC	Elétrico vs Diesel	Diesel vs CNG	Elétrico vs CNG
	(kg)					
Ponta da Cruz	29	128	6	99	122	-23
Monte	47	135	6	88	129	-41
Aeroporto	34	116	4	82	112	-30
Σ	110	379	16	269	363	-94

Comparando o BEB com o DB, estima-se uma redução total acumulada durante 16 anos de 2874 toneladas de CO₂, de 12647kg de NO_x e de 269 kg de PM. De salientar que o BEB não tem emissões atmosféricas em meio urbano, com um impacto positivo na melhoria do ar, para além das menores emissões de ruído.

Na energia elétrica produzida na RAM, são utilizadas as seguintes fontes de energia primária: renovável e fóssil (não renovável).

- A energia renovável tem como origem, essencialmente, o vento, a água e o sol, recursos naturais que se renovam constantemente, de um modo sustentável;

- A energia fóssil é utilizada na produção de energia elétrica de origem térmica, onde são consumidos combustíveis como o fuelóleo, o gasóleo e o gás natural (este último menos poluente do que os anteriores). Estes tipos de combustíveis, além de poluentes, são considerados não renováveis, uma vez que as respetivas reservas levam milhões de anos a formarem-se, não tendo capacidade de regeneração, face ao ritmo da sua extração.

Em 2019, cerca de 30,8% da energia elétrica fornecida na RAM foi proveniente de fontes renováveis, Eólica, Hídrica, fotovoltaica e Resíduos sólidos urbanos.

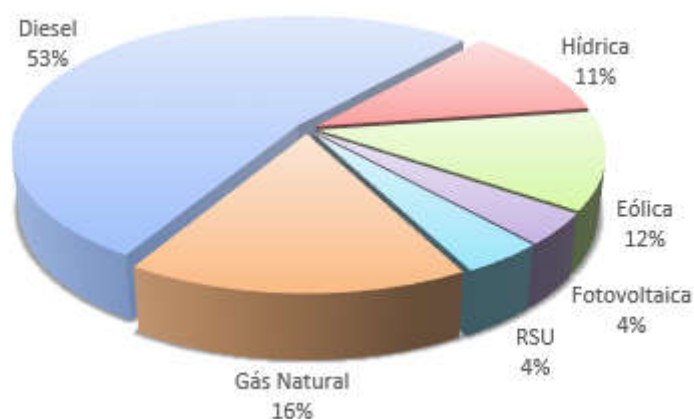


Figura 4.6 – Mix Produção 2019 – RAM(%) [45].

No mix energético da RAM, o recurso a combustíveis fósseis é ainda dominante, embora com uma tendência decrescente. Os investimentos em infraestruturas que a Empresa Eletricidade da Madeira tem vindo a realizar promovem significativamente a utilização de fontes de energia renovável.

As emissões de CO₂ associadas à produção de energia em 2019 foram 429 g/kWh.

Com efeito, a penetração da componente renovável na RAM atingiu 30,8% da produção de eletricidade, mais 3% que no ano anterior, o que permitiu evitar 149390 ton de emissões atmosféricas de CO₂, representando um decréscimo de 16% de emissões face ao ano anterior.

A Tabela 4.8 apresenta a avaliação dos indicadores de desempenho energético, económico e ambiental em ambiente urbano e suburbano, do BEB no serviço Funchal -

Aeroporto, fazendo a comparação com as tecnologias a diesel e a gás natural, respetivamente.

Tabela 4.8 - Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental do serviço Funchal – Aeroporto

Tecnologia	Consumo de energia	Custo de energia (sem IVA)	Emissões CO ₂ (g/km)	Emissões poluentes em ambiente urbano	
	(kWh/km)	(Eur/km)		PM (g/km)	Nox (g/km)
Elétrico	1,02	0,091	451	0	0
Comparação com outras tecnologias					
Diesel	4,62	0,443	1234	0,145	4,234
Gás Natural	6,47	0,26	1307	0,005	2,666

Para uma viagem completa, o custo com a energia elétrica, (PE) é de 4,914€. Comparando com veículos a diesel e a gás natural, representa uma poupança de 19,008€ em relação ao diesel e de 9,126€ em relação ao gás natural. No que respeita ao balanço das emissões de CO₂ para a produção da eletricidade necessária para o veículo pesado de passageiros realizar uma viagem, são emitidos 24,35 kg, o que representa uma redução de 42,28 kg de CO₂, em relação ao diesel, e de 46,22 kg de CO₂, em relação ao gás natural.

A Tabela 4.9 apresenta a avaliação dos indicadores de desempenho energético, económico e ambiental em ambiente urbano, do BEB na linha Funchal - Monte.

Tabela 4.9- Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental da linha Centro – Monte

Tecnologia	Consumo de energia	Custo de energia (sem IVA)	Emissões CO ₂ (g/km)	Emissões poluentes em ambiente urbano	
	(kWh/km)	(Eur/km)		PM (g/km)	Nox (g/km)
Elétrico	1,43	0,128	634	0	0
Comparação com outras tecnologias					
Diesel	7,33	0,702	1957	0,169	6,728
Gás Natural	10,26	0,413	2073	0,008	4,228

Para as duas viagens completas, ida e volta, o custo com a energia elétrica (PE) é de 3,58€. Comparando com veículos a diesel e a gás natural, representa uma poupança de 16,07€ em relação ao diesel e de 7,98€ em relação ao gás natural. No que respeita ao balanço das emissões de CO₂ na produção da eletricidade necessária para o veículo realizar as duas viagens, são emitidos 17,75 kg de CO₂, o que representa uma redução de 37,04 kg de CO₂, em relação ao diesel, e de 40,29 kg de CO₂, em relação ao gás natural.

A Tabela 4.10 apresenta a avaliação dos indicadores de desempenho energético, económico e ambiental em ambiente urbano, do BEB na linha Ponta da Cruz.

Tabela 4.10 - Indicadores de desempenho energético, económico e ambiental da linha Centro - Ponta da Cruz

Tecnologia	Consumo de energia	Custo de energia (sem IVA)	Emissões CO ₂ (g/km)	Emissões poluentes em ambiente urbano	
	(kWh/km)	(Eur/km)		PM (g/km)	Nox (g/km)
Elétrico	0,91	0,08	394	0	0
Comparação com outras tecnologias					
Diesel	6,25	0,599	1669	0,16	5,732
Gás Natural	8,75	0,352	1768	0,007	3,606

Para as três viagens completas o custo com a energia elétrica (PE) é de 2,88€. Comparando com veículos pesados de passageiros a diesel e a gás natural, representa uma poupança de 18,68€, em relação ao diesel, e de 9,79€ em relação ao gás natural. No que respeita ao balanço das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na produção da eletricidade necessária para o veículo realizar três viagens, são emitidos 14,18 kg de CO₂, o que representa uma redução de 45,9 kg de CO₂, em relação ao diesel, e de 49,46 kg de CO₂, em relação ao gás natural [44].

LISBOA (Estudo comparativo)

No âmbito do presente estudo foi recolhido junto de um operador na região de Lisboa, um conjunto de informações que permitem efetuar uma comparação da operacionalidade, nomeadamente ao nível do consumo médio global e custo por unidade de distância percorrida, num contexto diferente do anterior. Foram novamente

considerados BEB, DB e a CNG, comparáveis, cujas características se encontram no capítulo 3 da Metodologia.

Os resultados obtidos tiveram em consideração os quilómetros e consumos de energia diários para o período de ensaio, os custos constantes na Tabela 4.11 e os fatores de conversão para uniformização das unidades, apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.11 – Custos energéticos por tipo

Energia Elétrica [€/kWh]	0,13
GNC [€/Nm ³]	0,52
Diesel [€/l]	1,01

Tabela 4.12 – Fatores de conversão

GNC [kWh/Nm ³]	11,8296
Diesel [kWh/l]	10,42

A tabela 4.13 contém os valores de consumo e custos da linha, relativamente ao BEB, nomeadamente consumo médio, custo médio e custo por quilómetro.

Tabela 4.13 – Valores médios de consumo e custo por quilómetro do elétrico, CNG e Diesel

Valores acumulados - Elétrico	
Consumo Médio [kWh/100km]	107,03
Custo Médio [€/100km]	13,91
Custo por [km]	0,139
Valores acumulados -CNG	
Consumo Médio [nm ³ /100km]	60
Custo Médio [€/100km]	31,20
Custo por [km]	0,312
Valores acumulados - Diesel	
Consumo Médio [l/100km]	52
Custo Médio [€/100km]	52,52
Custo por [km]	0,525

Os valores obtidos não se encontram discriminados por carreira, tendo em consideração que, por questões logísticas relativamente ao abastecimento do CNG, não foram efetuados atestos entre carreiras, impossibilitando assim o cálculo do valor médio por carreira. Em complemento, as autonomias dos veículos pesados de passageiros dos modelos testados, CNG e DB, são consideravelmente superiores quando comparados com a autonomia deste BEB [46].

A degradação/envelhecimento da bateria é um processo que está a ser realizado pouco a pouco e que, como o próprio nome indica, gera a quantidade de energia que pode armazenar cada vez menos. Existem vários fatores que já sabemos como a carga no veículo, a temperatura, a topografia da estrada ou até mesmo como estamos acostumados a conduzir regularmente. Geralmente, uma bateria é considerada em boas condições quando mantém 80% da capacidade original.

A degradação das baterias não é linear ao longo da vida, nem é proporcional ao uso que fazemos dos carros. Normalmente é estável nos primeiros três ou quatro anos e, a partir do quinto, a degradação das baterias começa a acelerar. Estima-se que em seis anos e meio ou sete anos, as baterias tendem a ter cerca de 90% de sua capacidade inicial, perdendo mais rapidamente em anos sucessivos.

A melhor maneira de evitar ou prolongar sua vida útil é seguir uma série de dicas e cuidados bastante simples, como cuidar de ciclos de carregamento, evitar a exposição a calor excessivo.

A média degradação das baterias é de aproximadamente 2.3% da capacidade a cada ano embora os primeiros anos permaneçam muito mais estáveis e a perda suba do quarto ou quinto.

Na Figura 4.7 observa-se a tendência da prestação ao longo dos anos de operacionalidade nos BEB. A degradação é baseada nos dados observados, portanto, verificando-se um decréscimo de cerca de 10% em 5 anos para este caso.

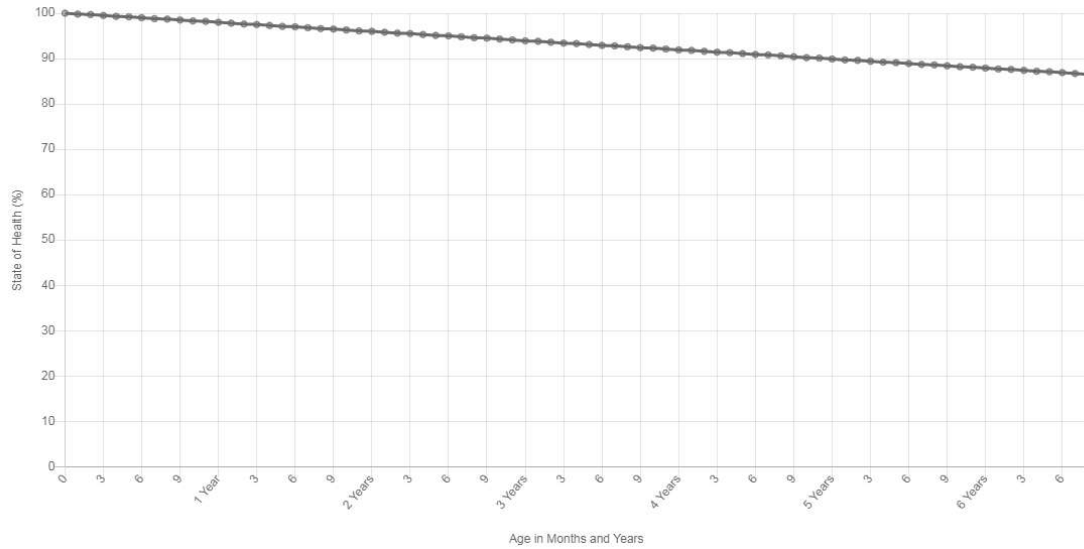


Figura 4.7 - Degradação média da bateria ao longo do tempo [47]

No entanto, é possível comparar o custo de energia por 100 quilómetros, entre as diversas tecnologias, onde se verifica que o BEB é o que apresenta menor custo energético (13,91 €/100 km) Figura 4.8.

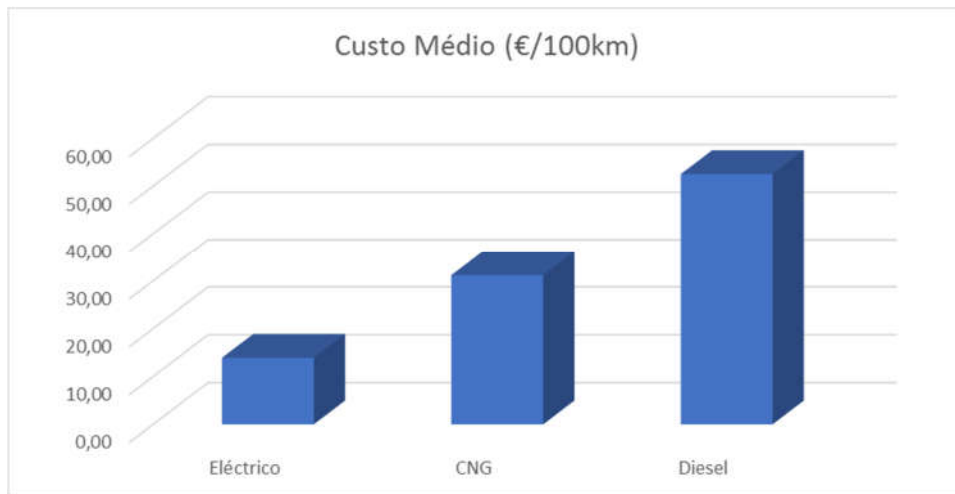


Figura 4.8 - Custo Médio Comparativo [€/100km]

Procedendo à uniformização das unidades de energia, conforme fatores de conversão constantes na Figura 4.9, é possível efetuar a análise comparativa das diferentes tecnologias, onde se verifica que o CNG é o que apresenta maior consumo energético (709,77kWh/100 km).

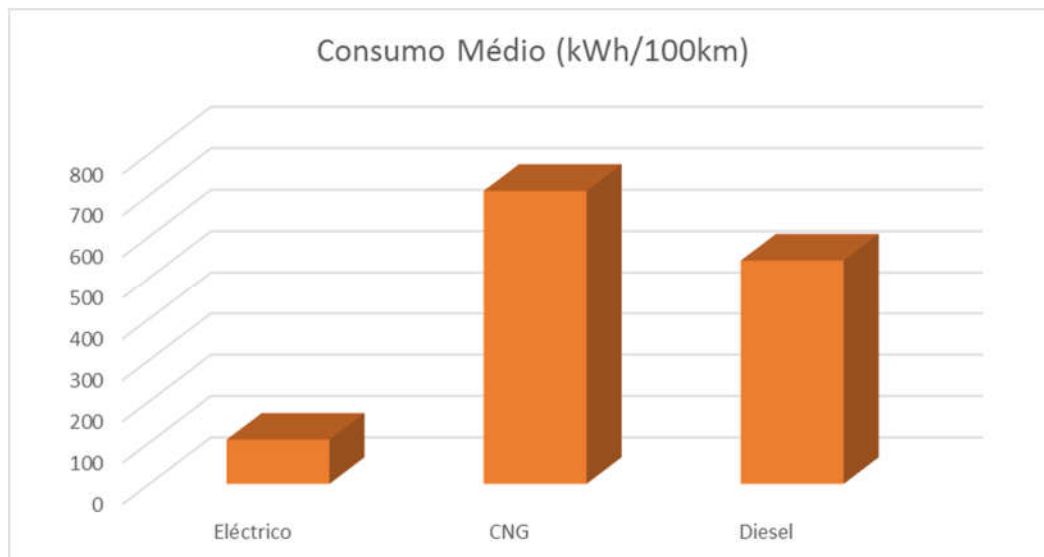


Figura 4.9 - Consumo Médio Comparativo [kWh/100km]

4.4 Análise de viabilidade do veículo eléctrico

Para estudar a viabilidade económica da aquisição de um BEB, efetuou-se uma análise dos custos acumulados ao longo de 16 anos de vida útil, onde se incluiu os custos do investimento, da energia e da manutenção, e se comparou com os custos de um veículo pesado de passageiros equivalente a diesel e a gás natural comprimido, a preços de 2019 (sem IVA). Esta análise não considera os custos associados às infraestruturas de abastecimento de energia eléctrica, diesel e gás natural.

Considerou-se os seguintes custos de aquisição das viaturas das várias tecnologias: 480 mil euros para um BEB com uma bateria de 150 kWh, e 200 mil euros para um DB e 230 mil euros para um CNG. Os resultados apresentados nesta secção consideram os custos do investimento, energia e manutenção acumulados ao longo de 16 anos, para as três tecnologias a operar na mesma linha.

As propostas de financiamento apresentadas incluem dois cenários possíveis: um sem subvenção e um com subvenção. No cenário de apoio financeiro não reembolsável, considerou-se uma subvenção de 40% do custo inicial do veículo, para os eléctricos e de 29% para os veículos a GNC, no entanto os DB não possuem qualquer tipo de subvenção em qualquer circunstância. Neste capítulo, apresenta-se a análise de três tipos de veículos, com características distintas, para permitir avaliar a viabilidade do veículo pesado de passageiros em diferentes tipologias de percursos.

4.4.1 Modelo Económico

Com o intuito de avaliar a viabilidade da aquisição de um BEB, foi construído um modelo de avaliação com base num conjunto de características intrínsecas a cada um dos modelos. Este pressupõe a utilização de ambos os veículos em condições idênticas.

O modelo foi desenvolvido tendo como base os principais parâmetros de análise para o BEB e os DB e CNG. O que se pretende determinar são os custos de aquisição (CSVE), manutenção e consumos de um BEB, em comparação com um veículo semelhante com motor de combustão (CSVM)DB e um outro a CNG.

No que diz respeito aos custos para o operador, é considerado o valor total que seria pago para adquirir cada um dos veículos, BEB, DB e a CNG, assumindo-se, de início, que o custo do BEB será superior aos DB e CNG.

Tabela 4.14 – Principais parâmetros de análise

Análise		
Elétrico	Diesel	CNG
custo de aquisição	custo de aquisição	custo de aquisição
custo da eletricidade (s/lva)	custo do gasóleo (s/lva)	custo do gás (s/lva)
custo das baterias	X	custo das botijas
consumos (kWh)	consumos (l)	consumos (Nm ³)
manutenção	manutenção	manutenção

Pressupostos assumidos na análise energética, económica e ambiental, comparativa das tecnologias elétrica, gás natural comprimido e diesel, apresentada na tabela 4.14:

- Consumo médio de gasóleo por serviço, fornecido por um operador.
- Preço do diesel - 1,01€/L (sem IVA).
- Fator de conversão de energia do gasóleo - 10,42kWh/L.
- Valores de consumo de gás natural considerando necessidades de energia 40% superiores às necessidades de um veículo pesado de passageiros equivalente a diesel [48].
- Fator de conversão de energia do gás natural - 11,8296kWh/Nm³ (**) [48].
- Preço do gás natural comprimido - 0,52 €/Nm³

- Preço de eletricidade - 0,130€/kWh (média tarifária em regime de média tensão, sem IVA)

Tabela 4.15 – Custo Comparativo da manutenção [€/100km]

Custo de manutenção	Elétrico	Diesel	CNG
	€/100km		
Garantia - 5 anos	10	16	19
Garantia entre 5 - 10 anos	18	28	34
Garantia entre 10 - 15 anos	21	32	38
Garantia entre 15 - 20 anos	21	32	38

A tabela 4.15 apresenta os custos específicos de manutenção considerados na análise para as três tecnologias. O custo de manutenção inclui lubrificantes, peças e mão-de-obra.

Cenário sem subvenção

Foram utilizados como base dois critérios de comparação que dizem respeito à utilização dos veículos, o número de quilómetros percorridos de 50.000 km por ano e a vida útil do veículo de 16 anos. As Tabelas 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam os cenários de custos ao longo desses 16 anos de operacionalidade. No caso do BEB, foi incluída a troca do conjunto de baterias ao 11º ano e no CNG, a troca das botijas no 15º ano. O custo de cada um dos veículos em causa é constituído por indicadores comuns a ambos e particulares a cada um dos veículos. Os custos que foram tidos em conta para os veículos com motor de combustão foram o custo de aquisição inicial (CSVM) e os custos associados ao consumo de combustíveis (PC) (sem impostos). Os custos relativos ao BEB são constituídos pelo custo de aquisição inicial (CSVE), os custos da substituição da bateria ao 11º ano, e o custo da eletricidade consumida (PE), sem considerar o custo fixo de instalação de um carregador.

Tabela 4.16 - Custos acumulados durante 16 anos – elétricos

Elétrico				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	80064,96	5000	7000	92064,96
2	80064,96	5000	7000	184129,9
3	80064,96	5000	7000	276194,9
4	80064,96	5000	7000	368259,8
5	80064,96	9000	7000	464324,8
6	80064,96	9000	7000	560389,8
7	80064,96	9000	7000	656454,7
8	0	9000	7000	672454,7
9	0	10500	7000	689954,7
10	0	10500	7000	707454,7
11*	0	60500	7000	774954,7
12	0	10500	7000	743954,7
13	0	10500	7000	761454,7
14	0	10500	7000	778954,7
15	0	10500	7000	796454,7
16	0	10500	7000	813954,7

* Baterias 50.000€

Os custos relativos ao CNG são constituídos pelo custo de aquisição inicial (CSVM), os custos da substituição das botijas ao 15º ano, e o custo da CNG consumido (PC), sem considerar o custo de deslocação para abastecer, pois poderá recorrer ao posto mais próximo.

Tabela 4.17 - Custos acumulados durante 16 anos – CNG

CNG				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	38364,48	9500	15500	63364,48
2	38328,48	9500	15500	126693
3	38328,48	9500	15500	190021,4
4	38328,48	9500	15500	253349,9
5	38328,48	17000	15500	324178,4
6	38328,48	17000	15500	395006,9
7	38328,48	17000	15500	465835,4
8	0	17000	15500	498335,4
9	0	19000	15500	532835,4
10	0	19000	15500	567335,4
11	0	19000	15500	601835,4
12	0	19000	15500	636335,4
13	0	19000	15500	670835,4
14	0	19000	15500	705335,4
15**	0	46787	15500	767622,4
16	0	19000	15500	774335,4

** botijas de CNG 27.787€ (5x315 dm3 type 4 Agility)

Tabela 4.18 - Custos acumulados durante 16 anos – Diesel

Diesel				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	33360,36	8000	26500	67860,36
2	33360,36	8000	26500	135720,7
3	33360,36	8000	26500	203581,1
4	33360,36	8000	26500	271441,4
5	33360,36	14000	26500	345301,8
6	33360,36	14000	26500	419162,2
7	33360,36	14000	26500	493022,5
8	0	14000	26500	533522,5
9	0	16000	26500	576022,5
10	0	16000	26500	618522,5
11	0	16000	26500	661022,5
12	0	16000	26500	703522,5
13	0	16000	26500	746022,5
14	0	16000	26500	788522,5
15	0	16000	26500	831022,5
16	0	16000	26500	873522,5

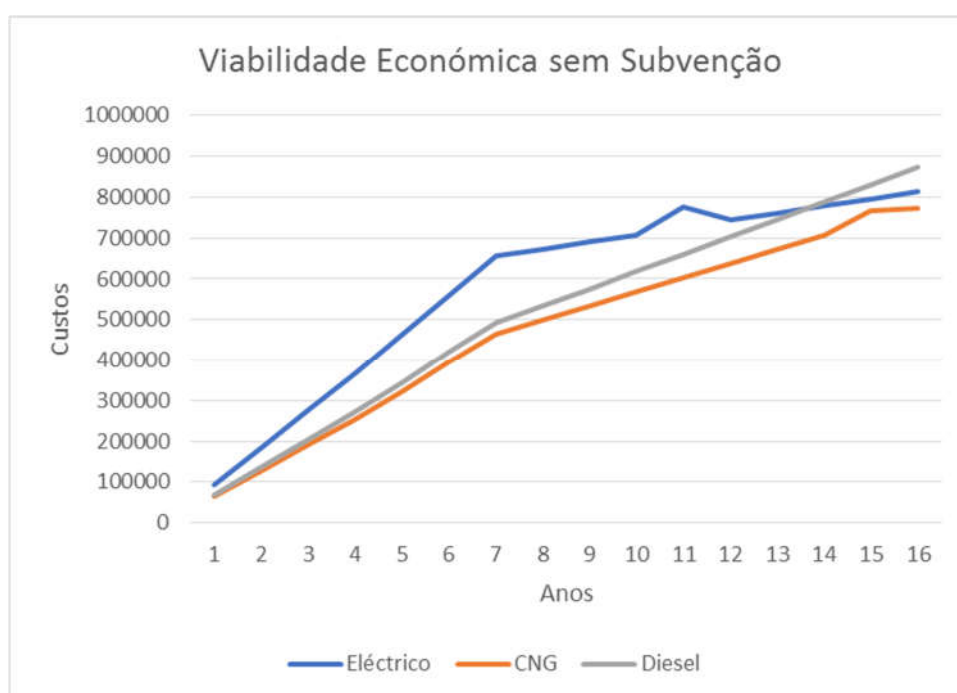


Figura 4.10 - Viabilidade económica sem subvenção

A Figura 4.10 apresenta um gráfico com a evolução do cenário de viabilidade sem subvenção, analisando os custos de investimento, energia e manutenção acumulados.

Verifica-se que o investimento adicional, comparativamente ao DB, atinge o *break even point* apenas passados 13 anos.

Cenário com subvenção

Foram utilizados como base dois critérios de comparação que dizem respeito à utilização dos veículos, o número de quilómetros percorridos de 50.000 km por ano e a vida útil do veículo de 16 anos. As Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21 apresentam os cenários de custos ao longo desses 16 anos de operacionalidade. No caso do BEB, foi incluída a troca do conjunto de baterias ao 11º ano e no CNG, a troca das botijas no 15º ano. Todos os pressupostos anteriores são validos nesta análise, a diferença está na aquisição inicial (CSVE) do BEB e o CNG que possuem incentivos comparativamente com o DB ao abrigo de candidaturas no âmbito dos programas do POSEUR.

Tabela 4.19 - Custos acumulados durante 16 anos – elétricos

Elétrico				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	48839,64	5000	7000	60839,64
2	48839,64	5000	7000	121679,3
3	48839,64	5000	7000	182518,9
4	48839,64	5000	7000	243358,6
5	48839,64	9000	7000	308198,2
6	48839,64	9000	7000	373037,8
7	48839,64	9000	7000	437877,5
8	0	9000	7000	453877,5
9	0	10500	7000	471377,5
10	0	10500	7000	488877,5
11*	0	60500	7000	556377,5
12	0	10500	7000	523877,5
13	0	10500	7000	541377,5
14	0	10500	7000	558877,5
15	0	10500	7000	576377,5
16	0	10500	7000	593877,5

* Baterias 50.000€

Tabela 4.20 - Custos acumulados durante 16 anos – CNG

CNG				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	27622,44	9500	15500	52622,44
2	27622,44	9500	15500	105244,9
3	27622,44	9500	15500	157867,3
4	27622,44	9500	15500	210489,8
5	27622,44	17000	15500	270612,2
6	27622,44	17000	15500	330734,6
7	27622,44	17000	15500	390857,1
8	0	17000	15500	423357,1
9	0	19000	15500	457857,1
10	0	19000	15500	492357,1
11	0	19000	15500	526857,1
12	0	19000	15500	561357,1
13	0	19000	15500	595857,1
14	0	19000	15500	630357,1
15**	0	46787	15500	692644,1
16	0	19000	15500	699357,1

** botijas de CNG 27.787€ (5x315 dm3 type 4 Agility)

Tabela 4.21- Custos acumulados durante 16 anos – Diesel

Diesel				
Ano	Renda	Manutenção	Consumo	Total
1	33360,36	8000	26500	67860,36
2	33360,36	8000	26500	135720,7
3	33360,36	8000	26500	203581,1
4	33360,36	8000	26500	271441,4
5	33360,36	14000	26500	345301,8
6	33360,36	14000	26500	419162,2
7	33360,36	14000	26500	493022,5
8	0	14000	26500	533522,5
9	0	16000	26500	576022,5
10	0	16000	26500	618522,5
11	0	16000	26500	661022,5
12	0	16000	26500	703522,5
13	0	16000	26500	746022,5
14	0	16000	26500	788522,5
15	0	16000	26500	831022,5
16	0	16000	26500	873522,5

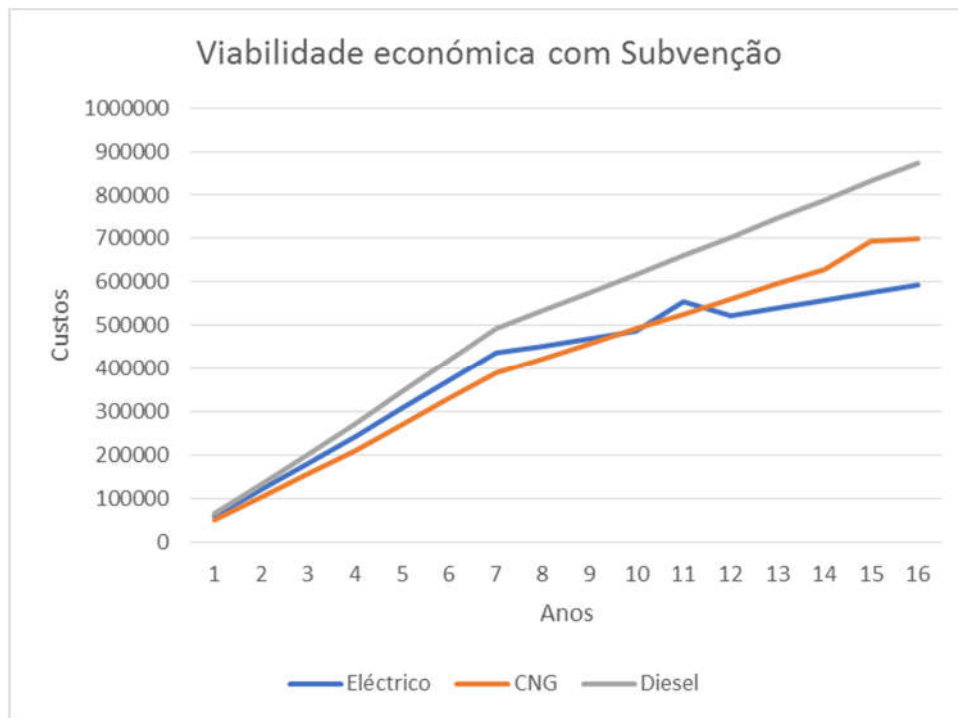


Figura 4.11 - Viabilidade económica com subvenção

A Figura 4.11 apresenta um gráfico com a evolução do cenário de viabilidade com subvenção, analisando os custos de investimento, energia e manutenção acumulados. Verifica-se que o investimento adicional, comparativamente com CNG, atinge o *break even point* apenas passados 10-12 anos, consoante o período em que ocorra a troca do conjunto de baterias.

Análise económica

Com o objetivo de comparar os resultados do cálculo anterior para uma tomada de decisão, recorri a um outro método denominado por VAL – Valor Atualizado Líquido – que é um indicador utilizado na avaliação de rentabilidade de projetos de Investimento. Se o VAL >0, o investimento gerará cash-flow, o que permitirá recuperar o valor do Investimento.

Critérios a seguir:

1º - Temos diferentes dimensões de investimentos, logo, devemos, primeiro, calcular o VAL, através da equação 4:

$$P = F / (1+i)^n \quad (4)$$

2º Temos diferentes horizontes temporais, logo devemos calcular o VAE (Valores anuais equivalentes), de acordo com a equação 5:

$$A = Px[i \times (1+i)^n / (1+i)^n - 1] \quad (5)$$

No primeiro caso, o cálculo do VAL é para determinar o valor à data de hoje (momento zero) do Investimento mais os custos.

O VAL ou o valor atualizado líquido é o valor presente de um projeto, calculado a partir dos fluxos de caixa futuros (equação 4). Trata-se, primeiramente, de uma avaliação de todos os cash flows envolvidos no projeto, positivos e negativos. Ou seja, trata-se de estimar todo o dinheiro que vamos gastar e receber com o projeto.

Como os influxos e efluxos de caixa ocorrem em momentos distintos no tempo, não os poderemos simplesmente adicionar, pois o dinheiro terá valores diferentes em função do tempo. A inflação tende a desvalorizar o dinheiro. Assim, um euro vale mais hoje do que valerá daqui por dois, cinco ou dez anos. A partir da atualização de todos os cash flows futuros para o momento presente, aí sim, estaremos em condições de os adicionar. Adicionando o valor presente de todos os cash flows futuros, será possível determinar o valor atualizado líquido. Se for positivo, então o projeto é rentável, no entanto se for negativo, o projeto não demonstra ser capaz de gerar dinheiro suficiente, pelo que não existirá luz verde para avançar.

Projeto 1 (Cenário sem subvenção)

VAL

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Tabela 4.22- Resultados da viabilidade do investimento - projeto 1- VAL

Projeto 1 (sem Subvenção)																	
Elétrico																	
Investimento	480000																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		12000	12000	12000	12000	16000	16000	16000	16000	17500	17500	67500	17500	17500	17500	17500	17500
Valor atualizado		11881,2	11763,6	11647,1	11531,8	15223,5	15072,7	14923,5	14775,7	16000,9	15842,5	60501,9	15530,4	15376,6	15224,4	15073,6	14924,4
VAL	480000	491 881,2	503644,7	515291,8	526823,6	542047,0	557119,8	572043,3	586819,0	602819,9	618662,5	679164,3	694694,7	710071,3	725295,6	740369,2	755293,6
																	NPV (1)
Projeto 1 (sem Subvenção)																	
CNG																	
Investimento	230000																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		25000	25000	25000	25000	32500	32500	32500	32500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	62287	34500
Valor atualizado		24752,5	24507,4	24264,8	24024,5	30922,6	30616,5	30313,3	30013,2	31544,7	31232,4	30923,2	30617,0	30313,9	30013,7	53650,9	29422,3
VAL	230000	254 752,5	279259,9	303524,6	327549,1	358471,8	389088,2	419401,6	449414,8	480959,5	512191,9	543115,1	573732,1	604045,9	634059,7	687710,5	717132,9
																	NPV (2)
Projeto 1 e 2 (com/Sem Subvenção)																	
Diesel																	
Investimento	200000																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		34500	34500	34500	34500	40500	40500	40500	40500	42500	42500	42500	42500	42500	42500	42500	42500
Valor atualizado		34158,4	33820,2	33485,4	33153,8	38534,4	38152,8	37775,1	37401,1	38859,4	38474,7	38093,8	37716,6	37343,2	36973,4	36607,4	36244,9
VAL	200000	234 158,4	267978,6	301464,0	334617,8	373152,2	411305,0	449080,1	486481,2	525340,6	563815,3	601909,1	639625,6	676968,8	713942,2	750549,6	786794,5
																	NPV (1 e 2)

Projeto 2 (Cenário com subvenção)

VAL

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Tabela 4.23- Resultados da viabilidade do investimento - projeto 2- VAL

Projeto 2 (com Subvenção)

Elétrico																	
Investimento	292800																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		12000	12000	12000	12000	16000	16000	16000	16000	17500	17500	67500	17500	17500	17500	17500	17500
Valor atualizado		11881,2	11763,6	11647,1	11531,8	15223,5	15072,7	14923,5	14775,7	16000,9	15842,5	60501,9	15530,4	15376,6	15224,4	15073,6	14924,4
VAL	292800	304 681,2	316444,7	328091,8	339623,6	354847,0	369919,8	384843,3	399619,0	415619,9	431462,5	491964,3	507494,7	522871,3	538095,6	553169,2	568093,6

NPV (1)

Projeto 2 (com Subvenção)

CNG																	
Investimento	165600																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		25000	25000	25000	25000	32500	32500	32500	32500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	62287	34500
Valor atualizado		24752,5	24507,4	24264,8	24024,5	30922,6	30616,5	30313,3	30013,2	31544,7	31232,4	30923,2	30617,0	30313,9	30013,7	53650,9	29422,3
VAL	165600	190 352,5	214859,9	239124,6	263149,1	294071,8	324688,2	355001,6	385014,8	416559,5	447791,9	478715,1	509332,1	539645,9	569659,7	623310,5	652732,9

NPV (2)

Projeto 1 e 2 (com/Sem Subvenção)

Diesel																	
Investimento	200000																
Taxa	1%																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Custos operação		34500	34500	34500	34500	40500	40500	40500	40500	42500	42500	42500	42500	42500	42500	42500	42500
Valor atualizado		34158,4	33820,2	33485,4	33153,8	38534,4	38152,8	37775,1	37401,1	38859,4	38474,7	38093,8	37716,6	37343,2	36973,4	36607,4	36244,9
VAL	200000	234 158,4	267978,6	301464,0	334617,8	373152,2	411305,0	449080,1	486481,2	525340,6	563815,3	601909,1	639625,6	676968,8	713942,2	750549,6	786794,5

NPV (1 e 2)

No segundo caso o cálculo do VAE - Valores anuais equivalentes para cada opção, considerando o VAL de cada NPV, cujo valor é obtido pela equação 5.

$$A = P \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Projeto 1

Projeto 2

(5)

Tabela 4.24- Resultados da viabilidade do investimento - VAE

VAE (Projeto 1)		
Elétrico	Projeto 1 (sem Subvenção)	7551,9
CNG	Projeto 1 (sem Subvenção)	7170,3
Diesel	Projeto 1 (sem Subvenção)	7866,9
VAE (Projeto 2)		
Elétrico	Projeto 2 (com Subvenção)	5679,9
CNG	Projeto 2 (com Subvenção)	6526,3
Diesel	Projeto 2 (com Subvenção)	7866,9

Como se pode ver, dependendo do diferencial de preço de aquisição, manutenção e consumos, é possível que o investimento não compense, a não ser que exista subvenção. Este é o principal fator que pode levar potenciais interessados a afastarem-se desta tecnologia BEB, pelo menos por enquanto, quando a tecnologia ainda é muito cara e recente e as empresas ainda não sabem se a aquisição destas viaturas é economicamente viável.

Com o passar do tempo e o amadurecer da tecnologia das baterias, aumentando a autonomia e o respetivo preço baixe para valores ainda que mais elevados relativamente aos DB e CNG, poderá ser um ponto de partida para uma maior rentabilidade dos BEB e conseqüente aumento na procura deste tipo de veículo.

Como se pode verificar, neste caso o investimento nesta tecnologia BEB apresenta-se mais atrativo dum ponto de vista económico o “Projeto 2” – Cenário com subvenção, como atestam os resultados obtidos para o VAE.

5. Conclusão e trabalho futuro

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar o desempenho energético, ambiental e económico de um BEB a bateria, quando em condições reais de operação. Os dados necessários para o ensaio foram recolhidos em situação real de operação nas suas linhas regulares.

Com os dados recolhidos, e através da metodologia VSP, foi possível caracterizar o conjunto propulsor do veículo pesado de passageiros e a forma como este reagia a diferentes condições de circulação. Tendo como hipótese uma curva genérica de consumo de potência elétrica da bateria em função da potência à roda (modo VSP) e o consumo global das viagens monitorizadas, foi possível estimar o consumo por modo VSP, permitindo simular o consumo deste BEB noutras viagens, sem recorrer a equipamento experimental específico para medição de corrente e tensão da bateria. Concluiu-se ainda que os equipamentos auxiliares do BEB, como a iluminação, o computador de bordo, a climatização e os equipamentos pneumáticos que suportam a travagem mecânica do mesmo consumiram em média uma potência de 3,28 kW ao longo da duração de testes realizados em situação de operação regular na linha.

Tendo por base viagens cuja dinâmica e respetivos consumos globais foram monitorizados num BEB na região de Braga, foi possível obter uma curva de consumo de potência elétrica em função do modo VSP. Esta mesma curva foi aplicada em rotas operacionais cuja dinâmica foi recolhida na ilha da Madeira – com perfis topográficos e dinâmicos distintos entre si e diferentes do de Braga – e validada com dados de literatura para estas mesmas rotas.

Através das diferenças obtidas a partir dos resultados deste ensaio, ao nível do consumo final e estimado, é possível afirmar que estão dentro de uma gama aceitável com um desvio máximo de 6,8%. No entanto, na linha que aparentemente as condições de operacionalidade não são as mais exigentes, com topografia quase plana, o desvio obtido é muito elevado ao qual se associa um erro nas medições, por inoperância momentânea do sinal do GPS. Contudo, verifica-se que a abordagem desenvolvida permite prever os impactes energéticos da operação de um BEB, recorrendo apenas a dados dinâmicos de rotas específicas.

Do ponto de vista ambiental, o BEB apresenta uma enorme vantagem face às outras tecnologias DB e CNG. Porém, de uma forma geral o BEB apresenta um desempenho energético e ambiental claramente superior aos convencionais, nos quais apresenta reduções no consumo de energia (kWh/km) entre 80,2% e 84,9% e reduções nas emissões de GEE entre 73,9% e 68,5% de emissões de CO₂ evitadas. Estes valores são resultado do somatório dos 3 percursos ensaiados na ilha da Madeira.

Numa perspetiva operacional mais abrangente, foi efetuado um estudo hipotético para um operador situado em Lisboa, numa perspetiva energética e de custo. Comparando as alternativas de propulsão mais comuns (DB, CNG e BEB), verifica-se que o custo médio por 100km no BEB, CNG e DB é de 13,91€/100km, 31,20€/100km e 52,52€/100km respetivamente. No que se refere ao consumo médio (kWh/100km) o BEB é de 107,03 kWh/100km e o CNG e DB são 709,77 e 541,84 kWh/100km respetivamente. Analisando os resultados obtidos, é possível concluir a mais valia do BEB em termos de eficiência energética.

Finalmente, foi efetuada uma análise de viabilidade do BEB ao longo de um período de 16 anos, comparativamente ao DB e CNG e testados dois cenários: com e sem subvenções. Os resultados indicam que para uma quilometragem anual de 50 000km, e analisando os custos de investimento, energia e manutenção acumulados, o BEB apresenta-se mais atrativo na modalidade com subvenção, como atestam os resultados obtidos através do VAE. Os custos acumulados no tempo de vida útil indicado são de 593.877,5€ para o BEB, contra os 699.357,1€ de CNG e 873.522,5 de DB.

Após o desenvolvimento deste trabalho, são identificados alguns pontos de melhoria em futuros trabalhos, tais como:

- Futuramente este trabalho poderia ser retomado com vista a melhorar o modelo já existente, podendo assim ser desenvolvida uma ferramenta que ajudasse a traçar a direção que as especificações dos BEB deveriam seguir para cumprir um dado objetivo operacional, de forma a proceder à distribuição mais eficiente do ponto de vista energético.
- De forma a tornar esta ferramenta mais precisa nas suas estimativas seria necessário proceder à realização de mais percursos, de forma a aumentar a base de dados para a aplicação dos BEB nos trajetos onde seria maior a sua eficiência.

-
- Seria também interessante efetuar uma melhor caracterização dos equipamentos auxiliares do BEB, pois em situações de circulação a muito baixas velocidades médias ou em situações de elevada utilização da climatização do veículo estes consumos têm uma influência significativa no consumo global do mesmo, e dessa forma essa influência poderia ser mais bem compreendida e modelada.
 - Por outro lado, seria também uma boa sugestão fazer uma comparação entre novos veículos BEB a bateria que surjam no mercado português e aquele aqui estudado, de modo a perceber se existem discrepâncias significativas no desempenho das várias tecnologias propostas ou se todas elas convergem para um dado *standard*.

Sumariamente, através dos dados recolhidos, foi possível concluir que o BEB é bastante mais eficiente em termos energéticos, porque apresenta menor custo energético comparativamente ao DB e GNC. No entanto em termos de operacionalidade é possível confirmar que no caso de aquisição dos BEB, só lhes é favorável através do cenário com subvenção. A amostra confirma que sem subvenção a tecnologia com maior rentabilidade é o CNG. Na prática e sobretudo em Portugal os operadores de transportes públicos, ainda que usufruam nas suas frotas de todas as tecnologias, nos últimos concursos públicos demonstram uma aposta muito forte nos veículos de transporte de passageiros a CNG.



6. Bibliografia

- [1] REN21 Steering Committee. RENEWABLES 2016 - GLOBAL STATUS REPORT. 2016.
- [2] Eurostat. Consumption of energy - statistics explained 2016. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy (accessed March 23, 2018).
- [3] Eurostat. Greenhouse gas emission statistics - emission inventories - Statistics Explained n.d. http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics_-_emission_inventories (accessed March 23, 2018).
- [4] DGEG. Air pollution statistics - emission inventories - Statistics Explained n.d. http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Air_pollution_statistics__emission_inventories (accessed March 23, 2018).
- [5] INE. (s.d), Instituto Nacional de estatísticas. <http://www.ine.pt>
- [6] IMTT. Anuário Estatístico da Mobilidade e dos Transportes (2017)
- [7] "Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers,"2014.
- [8] Faias S, Sousa J, Xavier L, Ferreira P. Energy Consumption and CO2 Emissions Evaluation for Electric and Internal Combustion Vehicles using a LCA Approach. *IntConfRenewEnergiesPower Qual* 2014;1:1382–8. doi:10.24084/repqj09.660.
- [9] Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020 [Online]. Available:<http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Paginas/PETI3.aspx>
- [10] Comissão Europeia 2007. Livro Verde – Por uma nova cultura de mobilidade urbana. Bruxelas CE
- [11] MERGE. (2010). Mobile Energy resources in grids of electricity. Obtido em: <http://www.ev-merge.eu>
- [12] Comissão Europeia. Abril 2010. Uma estratégia europeia para veículos não poluentes e energeticamente eficientes:

<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=MOTION&reference=B7-2010-0261&language=PT>

- [13] Comissão Europeia. (2010). Europa 2020. A estratégia europeia para o crescimento: http://ec.europa.eu/europe2020/index_pt.htm
- [14] Pacheco, E. (2005). Mobilidade e Transportes. IN C. A. Medeiros, Geografia de Portugal: sociedade, paisagem e cidades (Vol. 4).
- [15] ”APA-Políticas>Alterações climáticas>Resposta Intenacional e Europeia>Protocolo de Quioto.” [Online]. Available:<http://www.apambiente.pt/index.php?>
- [16] Almeida,C.(2010). Planos de mobilidade no contexto da melhoria da qualidade do ar em Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa:
- [17] André,J. (2008). Transporte interurbano em Portugal: o sistema atual e os seus desafios. (Vol I). Instituto Superior Técnico.
- [18] Yong JY, Ramachandaramurthy VK, Tan KM, Mithulananthan N. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49:365–85. doi:10.1016/j.rser.2015.04.130.
- [19] Soylu S. The effects of urban driving conditions on the operating characteristics of conventional and hybrid electric city buses. *ApplEnergy* 2014;135:472–82. doi:10.1016/j.apenergy.2014.08.102.
- [20] Comissão Europeia (COM). WhiteBook (2011). 2011.
- [21] Mahmoud M, Garnett R, Ferguson M, Kanaroglou P. Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;62:673–84. doi:10.1016/j.rser.2016.05.019.
- [22] Lajunen A. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transp Res Part C Emerg Technol* 2014;38:1–15. doi:10.1016/j.trc.2013.10.008.
- [23] TSF. Carris recebe 100 autocarros novos até ao final do ano n.d. <https://www.tsf.pt/economia/interior/carris-recebe-100-autocarros-novos-ate-ao-final-do-ano9085344.html> (accessed March 23, 2018).

-
- [24] ACAP: Associação Automóvel de Portugal “Auto Informa – Parque Automóvel emPortugal”[Online].Available:
<http://www.autoinforma.pt/estatisticas/estatisticas.html?MIT=36458>[2018-2019].
- [25] Decreto-Lei nº 214-E/2015 ”[Online].Available:<https://data.dre.pt/eli/dec-lei/89/2008/05/30/p/dre/pt/html>
- [26] Lajunen A, Lipman T. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy* 2016;106:329–42. doi:10.1016/j.energy.2016.03.075.
- [27] Pihlatie M, Kukkonen S, Halmeaho T, Karvonen V, Nylund NO. Fully electric city buses - The viable option. Electric Vehicle Conference (IEVC), 2014 IEEE International 2015. doi:10.1109/IEVC.2014.7056145.
- [28] Overview-of-zero-emission-bus-in-line-the-nordic-in-Joachine-Danchell-Movia and PWC-Infografik-e-bus-radar-2018.
- [29] Baterias [Online]. Available: <https://www.sagreenfund.org.za/wordpress/wp-content/uploads/2015/07/Lithium-Battery-Recycling-Literature-Review-CM-Solutions.pdf>
- [30] Baterias [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ng_91ug7P4U
- [31] Baterias [Online]. Available: <https://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm>
- [32] Baterias [Online]. Available: <https://batteryuniversity.com/learn/>
- [33] O futuro da mobilidade [Online].Available:<https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/electric-bus-public-transport-main-fleets-projects-around-world/>
- [34] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Urban Buses: Alternative Powertrains for Europe 2012:1–57.
- [35] Pihlatie M, Kukkonen S, Halmeaho T, Karvonen V, Nylund NO. Fully electric city buses - The viable option. Electric Vehicle Conference (IEVC), 2014 IEEE International 2015. doi:10.1109/IEVC.2014.7056145.
- [36] Frey HC, Roupail NM, Zhai H, Farias TL, Gonçalves GA. Comparing real-world fuel consumption for diesel- and hydrogen-fueled transit buses and implication for emissions. *Transp Res Part D Transp Environ* 2007;12:281–91. doi:10.1016/j.trd.2007.03.003.

-
- [37] Guo J, Ge Y, Hao L, Tan J, Peng Z, Zhang C. Comparison of real-world fuel economy and emissions from parallel hybrid and conventional diesel buses fitted with selective catalytic reduction systems. *Appl Energy* 2015;159:433–41. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.007.
- [38] Hallmark SL, Wang B, Sperry R. Comparison of on-road emissions for hybrid and regular transit buses. *J Air Waste Manag Assoc* 2013;63:1212–20. doi:10.1080/10962247.2013.813874.
- [39] Yun J. Study of the Driving Cycle for Heavy Duty Trucks in Hilly Terrain and Its Effect on Calculated Emissions, and Comparison of Two Mobile Emission Models 2012.
- [40] Yun J. Study of the Driving Cycle for Heavy Duty Trucks in Hilly Terrain and Its Effect on Calculated Emissions, and Comparison of Two Mobile Emission Models 2012.
- [41] Transportation research Part D, Available: www.elsevier.com/locate/trd.
- [42] Garmin User Manual. GPSMAP 76CSx 2005.
- [43] A equivalência entre litros de combustível e Ton de CO₂, conjugando os 2 diplomas; Despacho nº 17313/2008 e a Portaria – 228-90 TEP de 27-3-1990
- [44] Demonstração do autocarro elétrico e.City Gold na Região Autónoma da Madeira, MAD7.1-Electricalvehiclesandcleanfuelsfor publictransportandurbanfleet
- [45] Mix Produção 2019 – RAM, Available: www.eem.pt
- [46] Estudo comparativo de consumos de veículos pesados de passageiros elétrico, gás natural e Diesel
- [47] Degradação média da bateria ao longo do tempo, Available: <https://storage.googleapis.com/geotab-sandbox/ev-battery-degradation/index.html>.
- [48] Valores de consumo de gás natural e fator de conversão de (“Jorge da Fonseca Nabais, Setor dos Transportes, 2ª edição, 2008”).

7. Anexos

Anexo II

Pressupostos assumidos na análise energética, económica e ambiental, comparativa das tecnologias elétrica, gás natural comprimido e diesel, apresentada no capítulo 4:

- Consumo médio de gasóleo por serviço, fornecido por um operador.
- Preço do diesel - 1,01€/L (sem IVA).
- Fator de conversão de energia do gasóleo - 10,42kWh/L.
- Valores de consumo de gás natural considerando necessidades de energia 40% superiores às necessidades de um veículo pesado de passageiros equivalente a diesel, [48].
- Fator de conversão de energia do gás natural - 11,8296kWh/Nm³ (**)[48].
- Preço do gás natural comprimido - 0,52 €/Nm³
- Preço de eletricidade - 0,130€/kWh (média tarifária em regime de média tensão, sem IVA)

Artigo 89.º

Isenções

1 - Estão isentos do imposto os produtos petrolíferos e energéticos que, comprovadamente:

e) Sejam utilizados em transportes públicos de passageiros, no que se refere aos produtos classificados pelo código NC 2711;

Gás Natural Veicular: GNL e GNC: A isenção prevista na alínea e) do n.º 1 do artigo 71.º do CIEC abrange as utilizações que, para efeitos da presente portaria, se designam por gás utilizado em transportes públicos – Artº 45º Portaria 117-A/2008 de 8-Fev.

Proposta de Financiamento

Antecipado/Postecipado	0	1-A;0-P				
PVP	292800					
E.Inicial Superior	n	S; N				
Qual						
1ª Renda	4069,9672					
Valor Residual	0%	0				
Tx Juro	4,50%					
Prazo	84					
Renda	4069,9672					
Início	27/01/2020					
Despesas Processamento	3,7	+IVA				
Data	Periodo	Capital Divida Inicio Período	Renda	Amortização	Juro	Capital Divida Fim Período
27/01/2020	0	292 800,00	4 069,97	2 971,97	1 098,00	289828,03
27/02/2020	1	289 828,03	4 069,97	2 983,11	1 086,86	286844,92
27/03/2020	2	286 844,92	4 069,97	2 994,30	1 075,67	283850,62
27/04/2020	3	283 850,62	4 069,97	3 005,53	1 064,44	280845,09
27/05/2020	4	280 845,09	4 069,97	3 016,80	1 053,17	277828,3
27/06/2020	5	277 828,30	4 069,97	3 028,11	1 041,86	274800,19
27/07/2020	6	274 800,19	4 069,97	3 039,47	1 030,50	271760,72
27/08/2020	7	271 760,72	4 069,97	3 050,86	1 019,10	268709,85
27/09/2020	8	268 709,85	4 069,97	3 062,31	1 007,66	265647,55
27/10/2020	9	265 647,55	4 069,97	3 073,79	996,18	262573,76
27/11/2020	10	262 573,76	4 069,97	3 085,32	984,65	259488,44
27/12/2020	11	259 488,44	4 069,97	3 096,89	973,08	256391,56
27/01/2021	12	256 391,56	4 069,97	3 108,50	961,47	253283,06

Data **26/02/2020**

Enviado por:
E-mail:

Fax:

Telefone:
Telemóvel:

Envio Para:

Fax:

Telefone:

E-mail:

COTACÃO DE FINANCIAMENTO

CLIENTE	
FILIAL	
VEÍCULO (MODELO)	
UNIDADES	1
PREÇO DA VIATURA	165 600,00
IVA	38 088,00
TOTAL FACTURA	203 688,00
PAGAMENTO IVA	38 088,00
ENTRADA INICIAL	0,00
FINANCIAMENTO	165 600,00
PRAZO	72

Comissão de Abertura do Processo 250,00 + IVA

VALOR DA PRESTAÇÃO MENSAL - TAXA JURO VARIÁVEL INDEXADA A EURIBOR A 12 MESES

5 ANOS	3 049,78
6 ANOS	2 609,75
7 ANOS	2 301,87

Cotação meramente indicativa. Validade cotação 30 dias.

Sujeita a análise por parte da SCANRENT
Todos os valores estão expressos em Euros

.....
" **Cópias de documentação para análise do processo:** "

- " - B.I. (Sócios e cônjuges); "
 - " - N.I.F.(Sócios e cônjuges); "
 - " - N.I.F.(da empresa); "
 - " - Declaração Modelo 22 do IRC e respectivos anexos (dois últimos anos); "
 - " - IES (dois últimos anos) "
 - " - Último Balancete; "
 - " - N.I.B.(cheque ou extrato bancário); "
 - " - Certidão Comercial Actualizada; "
 - " - Declaração de Não Dívida Seg Social e Finanças. "
-

A tabela seguinte apresenta os custos específicos de manutenção considerados na análise para as três tecnologias. O custo de manutenção inclui lubrificantes, materiais e mão-de-obra.

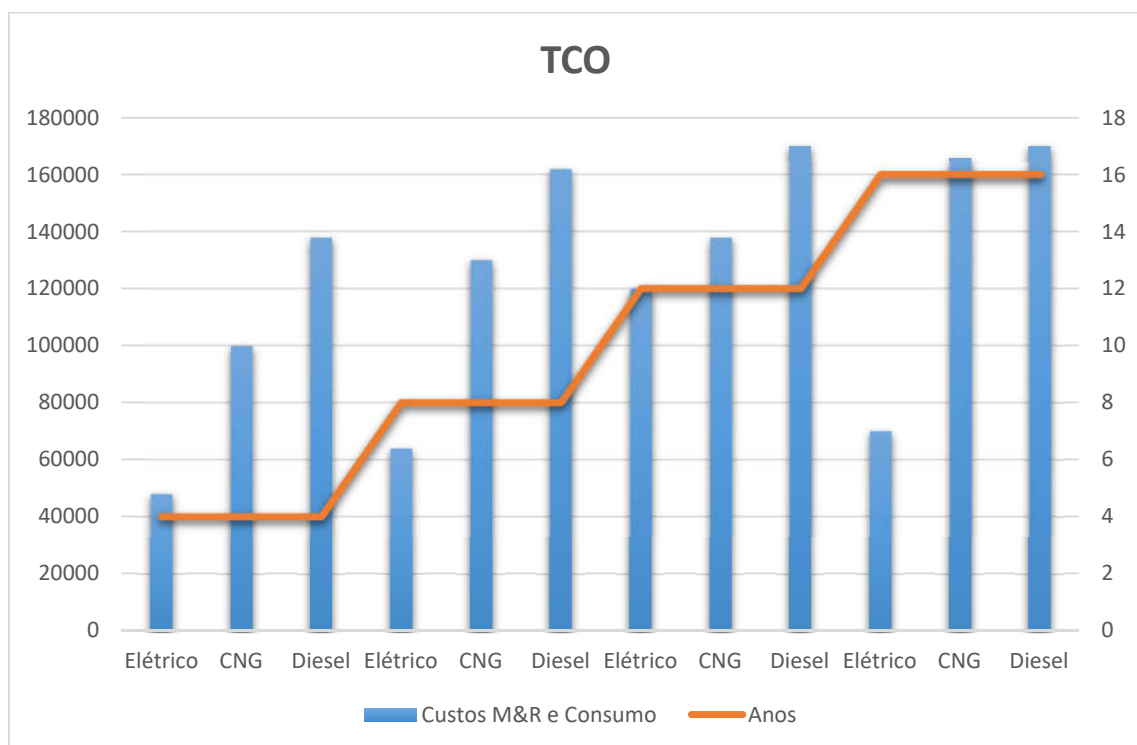
Custos de Manutenção

	Elétrico	CNG	Diesel	Elétrico	CNG	Diesel	Elétrico face ao Diesel	CNG face ao Diesel	Elétrico face ao CNG
Ano	[€/100 km]			50.000 km			Poupança acumulada		
0	10 €	19 €	16 €	5000	9500	8000	3000	1500	4500
1	10 €	19 €	16 €	10000	19000	16000	6000	3000	9000
2	10 €	19 €	16 €	15000	28500	24000	9000	4500	13500
3	10 €	19 €	16 €	20000	38000	32000	12000	6000	18000
4	18 €	34 €	28 €	29000	55000	46000	17000	9000	26000
5	18 €	34 €	28 €	38000	72000	60000	22000	12000	34000
6	18 €	34 €	28 €	47000	89000	74000	27000	15000	42000
7	18 €	34 €	28 €	56000	106000	88000	32000	18000	50000
8	21 €	38 €	32 €	66500	125000	104000	37500	21000	58500
9	21 €	38 €	32 €	77000	144000	120000	43000	24000	67000
10	21 €	38 €	32 €	87500	163000	136000	48500	27000	75500
11*	21 €	38 €	32 €	148000	182000	152000	4000	30000	34000
12	21 €	38 €	32 €	108500	201000	168000	59500	33000	92500
13	21 €	38 €	32 €	119000	220000	184000	65000	36000	101000
14	21 €	38 €	32 €	129500	239000	200000	70500	39000	109500
15	21 €	38 €	32 €	140000	258000	216000	76000	42000	118000
16	21 €	38 €	32 €	150500	277000	232000	81500	45000	126500
* Ano de aquisição de pack de baterias 50.000,00€									

Custos de Consumo

	Elétrico	CNG	Diesel	Elétrico	GNC	Diesel	Elétrico face ao Diesel	CNG face ao Diesel	Elétrico face ao CNG
Ano	[€/100 km]			50.000 km			Poupança acumulada		
0	14 €	31 €	53 €	7000	15500	26500	19500	11000	8500
1	14 €	31 €	53 €	14000	31000	53000	39000	22000	17000
2	14 €	31 €	53 €	21000	46500	79500	58500	33000	25500
3	14 €	31 €	53 €	28000	62000	106000	78000	44000	34000
4	14 €	31 €	53 €	35000	77500	132500	97500	55000	42500
5	14 €	31 €	53 €	42000	93000	159000	117000	66000	51000
6	14 €	31 €	53 €	49000	108500	185500	136500	77000	59500
7	14 €	31 €	53 €	56000	124000	212000	156000	88000	68000
8	14 €	31 €	53 €	63000	139500	238500	175500	99000	76500
9	14 €	31 €	53 €	70000	155000	265000	195000	110000	85000
10	14 €	31 €	53 €	77000	170500	291500	214500	121000	93500
11*	14 €	31 €	53 €	84000	186000	318000	234000	132000	102000
12	14 €	31 €	53 €	91000	201500	344500	253500	143000	110500
13	14 €	31 €	53 €	98000	217000	371000	273000	154000	119000
14	14 €	31 €	53 €	105000	232500	397500	292500	165000	127500
15	14 €	31 €	53 €	112000	248000	424000	312000	176000	136000
16	14 €	31 €	53 €	119000	263500	450500	331500	187000	144500

Custos de M&R e Consumos vs Anos



ENERGIA

Viatura	Data Inicio	Hora Inicio	Data Fim	Hora Fim	Wh	MagnumCAP	CaetanoBus	Diferença		Saida	Chegada	km	SOC Saida	SOC Chegada	
1001	30/09/2019	11:04:00	30/09/2019	11:07:00	4544,00					1001	07:01	11:25	64,03	100	52,4
1001	30/09/2019	11:58:00	30/09/2019	12:00:00	1026,00					1001	13:17	16:56	43	100	70
1001	30/09/2019	12:13:00	30/09/2019	13:29:00	43800,00					1002	07:17	13:44	118	100	25
1001	30/09/2019	18:02:00	30/09/2019	19:19:00	94958,00	144,33	139,60	-4,728		1002	16:24	20:54	53,86	96	60
1002	30/09/2019	14:19:00	30/09/2019	15:42:00	44413,00					1003	06:51	09:19	29,82	62,8	35,6
1002	30/09/2019	15:47:00	30/09/2019	16:22:00	56420,00					1003	10:50	16:02	93,15	80,4	21,2
1002	30/09/2019	20:55:00	30/09/2019	23:24:00	62621,00	163,45	159,14	-4,314		1003	17:36	20:22	48,13	58,4	22,4
1003	30/09/2019	09:19:00	30/09/2019	09:48:00	61124,00					1004	06:44	13:28	94,28	100	22,4
1003	30/09/2019	16:02:00	30/09/2019	17:23:00	43028,00					1004	15:50	20:25	82,29	90	38,4
1003	30/09/2019	22:36:00	30/09/2019	23:59:00	109485,00	213,64	209,44	-4,197		1005	06:49	13:04	83,81	100	31,6
1004	30/09/2019	13:36:00	30/09/2019	14:36:00	102442,00					1005	15:49	20:32	55,64	82	38
1004	30/09/2019	15:08:00	30/09/2019	15:39:00	62751,00					1006	06:22	13:09	93,65	100	22
1004	30/09/2019	20:26:00	01/10/2019	06:28:00	101247,00	266,44	178,80	-87,64		1006	16:06	20:40	62,86	100	54
1005	30/09/2019	13:03:00	30/09/2019	13:49:00	24573,00						Soma:	922,52			
1005	30/09/2019	14:23:00	30/09/2019	15:45:00	44862,00										
1005	30/09/2019	20:28:00	01/10/2019	06:43:00	100357,00	169,79	162,95	-6,842		Reg Rate					
1006	30/09/2019	13:13:00	30/09/2019	13:13:00	0,00					1001	42,54%		Distancia	922,52	km
1006	30/09/2019	13:39:00	30/09/2019	14:36:00	30672,00					1002	43,71%		Energia	1063,26	kWh
1006	30/09/2019	14:37:00	30/09/2019	15:02:00	5986,00					1003	41,21%		Média	1,15	kWh/km
1006	30/09/2019	20:42:00	30/09/2019	22:57:00	68948,00	105,61	171,51	65,904		1004	42,96%				
										1005	41,34%				
										1006	42,37%				
				Soma:	1063,26	kWh									

EMISSÕES

A equivalência entre litros de combustível e Ton de CO₂ faz-se conjugando os 2 diplomas em anexo.

Despacho n.º 17313/2008

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO

300440245

Direcção-Geral de Energia e Geologia

Despacho n.º 17313/2008

Aviso n.º 18670/2008

Faz-se público, nos termos e para efeitos do n.º 1 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 88/90, de 16 de Março, que CORBARIO — Minerais Industriais, S. A., requereu a atribuição de direitos de prospecção e pesquisa de depósitos minerais de caulino, numa área localizada no concelho de Pombal, delimitada pela poligonal cujos vértices se indicam seguidamente, em coordenadas Hayford-Gauss, referidas no Ponto Central:

Área total do pedido: 5,5207 km²

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
1	-47184,0103	32683,7006
2	-46655,9210	35237,5536

Nos termos da alínea o) do n.º 2 do artigo 19.º do Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, do SGCE — Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, o presente despacho procede à publicação dos factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilogramas de CO₂ equivalente (kgCO₂e).

Para efeitos deste Despacho, as quantidades e características das diferentes formas de energia consideradas devem ser verificadas à entrada da instalação CIE.

Nestes termos, estabelece-se o seguinte:

1 — Com base nos dados constantes da Tabela de Conversão incluída no Anexo II da Directiva 2006/32/CE publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 27 de Abril de 2006, e do Quadro 4 da Decisão da Comissão n.º 2007/559/CE, de 18 de Julho, são adoptados para efeitos deste Despacho os factores de conversão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Poderes Caloríficos Inferiores e Factores de Emissão para Combustíveis

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Antracite	26,7	0,638	98,2	4111,4
Berumo / Alcatrão	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogásolina e Biodiesel	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina)	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão	28,2	0,674	94,3	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coquearia e de fabricas de Gás	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de acetona e oxigénio	71	0,170	171,8	7103,0
Gás de petróleo liquefeito	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93 % de metano)	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (L)	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de stervo / lamas de depuração e outros biogases	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulla	17,2 — 20,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra	10,0 — 21	0,239 — 0,502	101,1	4232,9
Lubrificantes, ceras parafínicas e outros produtos Petrolíferos	40,2	0,960	73,3	3068,9
Madeira / resíduos de Madeira	13,8 — 15,6	0,330 — 0,373	0	0,0
Materias-primas para refinaria	43	1,027	73,3	3068,9
Metano	50	1,194	54,9	2298,6
Monóxido de Carbono	10,1	0,241	155,2	6497,9
Nafta química / Condensados de gasolina	44,5	1,063	73,3	3068,9
Óleo de xisto	38,1	0,910	73,3	3068,9

Portaria -228-90 TEP

1492

DIÁRIO DA REPÚBLICA — I SÉRIE

N.º 72 — 27-3-1990

2 — Para os efeitos do número anterior, é exigível uma experiência profissional mínima de três anos de prática em empresa cujo consumo de energia se situe no limite indicado no artigo 1.º do presente Regulamento ou em serviços ou gabinetes em que tenha feito trabalhos semelhantes aos de auditor energético ou de autor de plano de racionalização destinados a empresas deste sector.

3 — A Direcção-Geral de Energia poderá conceder, caso a caso, o reconhecimento a pessoas com prática inferior a três anos quando o candidato tiver habilitações especiais consideradas suficientes.

4 — No requerimento de reconhecimento de auditor energético e autor de plano de racionalização serão indicados os subgrupos da Classificação das Actividades Económicas portuguesas (CAE) correspondentes aos transportes.

5 — A duração do reconhecimento não poderá ser superior a cinco anos.

Art. 7.º Tratando-se de pessoa colectiva, deverá esta entidade fazer prova de que possui ao seu serviço técnico ou técnicos com os requisitos exigidos no artigo anterior.

Art. 8.º A empresa responsável pela frota de veículos, após aprovação do seu plano, deverá comunicar à Direcção-Geral de Energia a identificação do técnico ou entidade responsável pelo controlo da execução e progresso do plano de racionalização do consumo de energia.

Art. 9.º Tratando-se de pessoa singular, o técnico deverá fazer prova de que tem experiência de gestão de frotas da dimensão da empresa em causa e formação académica adequada para o efeito.

Art. 10.º Tratando-se de pessoa colectiva, deverá fazer prova de que essa entidade possui ao seu serviço técnico ou técnicos com os requisitos exigidos no artigo anterior.

2 — Para efeitos de equivalência, deverão adoptar-se os seguintes valores:

- 1000 l de gasóleo — 0,835 t;
- 1000 l de petróleo — 0,783 t;
- 1000 l de gasolina super — 0,750 t;
- 1000 l de gasolina normal — 0,720 t.

CAPÍTULO V

Determinação dos consumos específicos de energia

Art. 14.º No sector dos transportes a determinação dos consumos específicos de energia será feita utilizando as seguintes unidades:

gép/PK ou gép/TK;
gép/VK (vulgo 1/100 km);

sendo:

gép = grama de equivalente petróleo;
PK = passageiro quilómetro transportado;
TK = tonelada quilómetro transportada;
VK = veículo quilómetro realizado;
l = litro;
km = quilómetro.

CAPÍTULO VI

Plano de racionalização