



Eficiência Energética da Frota Automóvel

SÉRGIO LUÍS DE MAGALHÃES QUEIRÓS

julho de 2024

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA FROTA AUTOMÓVEL
Estudo energético, ambiental e económico de
renovação da frota da Schmitt-Elevadores

Sérgio Luís de Magalhães Queirós

Dissertação submetida para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica –
Sistemas Eléctricos de Energia

Orientador: Professor Doutor Fernando Maurício Teixeira De Sousa Dias

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Miguel Monteiro De Brito

Vogais:

Professor Doutor Fernando Maurício Teixeira De Sousa Dias

Professor Engenheiro Rui Paulo Ramos de Castro

Porto, junho 2024

Agradecimentos

Agradeço à Schmitt-Elevadores, na pessoa do Doutor Miguel Franco, pela oportunidade, orientação e apoio no acesso aos recursos materiais necessários para o meu desenvolvimento. Agradeço, também, a todos os colaboradores e estagiários da Engenharia de Processos, mas em especial ao Eng. Tiago Resende, à Eng. Sofia Pinto e ao Eng. Pedro Santos, pelo apoio e esclarecimento de todas as dúvidas que foram surgindo no decorrer do estágio.

Ao meu orientador, Professor Maurício Dias, agradeço a disponibilidade demonstrada, as críticas e os pormenores que levaram ao desenvolvimento do relatório final de estágio.

Agradeço a todos os engenheiros que me acompanharam e transmitiram os conhecimentos necessários para completar esta etapa.

Aos meus “míticos” amigos, um obrigado por me acompanharem durante estes anos. Creio que sem as amizades, a minha vida académica não teria sido tão boa. Com eles, partilhei principalmente os bons momentos que vivi enquanto estudante desta instituição. Termina com a frase que diz tudo: “Call Me if You Get Lost”.

Agradeço aos meus padrinhos e aos meus primos, que me aturaram durante estes anos e que sempre me ofereceram as condições necessárias para o meu bem-estar no Porto.

Não só agradeço, como dedico esta conquista aos meus pais, Sérgio Queirós e Susana Magalhães, por todo o esforço diário para que eu tivesse as melhores condições e pudesse aproveitar da melhor forma a minha vida académica. De igual forma, dedico-a ao meu irmão, Ricardo Jorge, aos meus avós, Cândido, Armanda e Fernanda, e ao meu tio Barrote.

Finalmente, e não menos importante, dedico esta dissertação à pessoa que me fez acreditar nas minhas capacidades e que sempre depositou toda a sua confiança em mim. A ti, Inês, o meu muito obrigado por nunca me deixares desistir.

Resumo

O transporte rodoviário é responsável por aproximadamente um quarto das emissões totais de gases com efeito de estufa na Europa. Este setor é, portanto, um dos principais focos do Pacto Ecológico Europeu, o plano da Comissão Europeia para alcançar a neutralidade climática na Europa até 2050. A crescente consciencialização ambiental e a emergência energética global, juntamente com os avanços tecnológicos e os incentivos governamentais, têm impulsionado a disseminação da mobilidade elétrica no setor dos transportes.

Para compreender os diversos fatores que influenciam a mobilidade elétrica, este relatório propõe uma análise abrangente através da Análise PESTEL, que examina os fatores políticos, económicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais que afetam o desenvolvimento e a adoção de veículos elétricos. Esta análise serviu como base para a metodologia aplicada no estudo sobre a transformação de uma frota empresarial, realizado no contexto de um estágio, cujo objetivo era reduzir o consumo de combustíveis fósseis através da substituição por veículos elétricos.

O capítulo prático do estudo abrange várias etapas essenciais. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados relativos à frota do ano de 2022, reunindo informações detalhadas sobre a utilização e os gastos associados aos veículos atuais. Procedeu-se ao tratamento dos dados e à eliminação de *outliers*, garantindo o menor erro associado aos dados analisados. A criação de perfis de utilização permitiu identificar os padrões de uso dos veículos na frota. Posteriormente, foi efetuado um levantamento do mercado e a definição de perfis de solução, analisando as opções disponíveis e identificando as mais adequadas às necessidades da frota. Por fim, desenvolveu-se uma calculadora de cenário, na qual são calculadas as necessidades energéticas e as respetivas despesas associadas, a poupança ambiental, os benefícios económicos e os indicadores financeiros, com e sem incentivos fiscais.

Esta abordagem metodológica permitiu a realização de uma análise detalhada e fundamentada sobre a viabilidade e os benefícios da transição para uma frota de veículos elétricos. Desta forma, contribuiu para a criação de um cenário solucionador do objetivo e promoveu tanto a redução das emissões de gases com efeito de estufa, como uma maior sustentabilidade económica e ambiental.

Palavras-chave: mobilidade elétrica, Análise PESTEL, veículos elétricos, frota

Abstract

Road transport is responsible for approximately a quarter of total greenhouse gas emissions in Europe. This sector is therefore one of the main focuses of the European Green Deal, the European Commission's plan to achieve climate neutrality in Europe by 2050. Growing environmental awareness and the global energy emergency, together with technological advances and government incentives, have driven the spread of electric mobility in the transport sector.

To understand the various factors influencing electric mobility, this report proposes a comprehensive analysis through the PESTEL Analysis, which examines the political, economic, social, technological, environmental and legal factors affecting the development and adoption of electric vehicles. This analysis served as the basis for the methodology applied in the study on the transformation of a corporate fleet, carried out in the context of an internship, the aim of which was to reduce fossil fuel consumption by replacing it with electric vehicles.

The practical chapter of the study covers several key stages. Firstly, data was collected on the fleet for the year 2022, gathering detailed information on the utilisation and costs associated with current vehicles. The data was processed and outliers eliminated, ensuring the lowest error associated with the analysed data. The creation of utilisation profiles made it possible to identify vehicle use patterns in the fleet. Subsequently, the market was surveyed, and solution profiles were defined, analysing the available options and identifying those best suited to the fleet's needs. Finally, a scenario calculator was developed, which calculates the energy needs and associated expenses, the environmental savings, the economic benefits and financial indicators, with and without tax incentives.

This methodological approach enabled a detailed and well-founded analysis of the feasibility and benefits of transitioning to an electric vehicle fleet. In this way, it contributed to creating a solution-oriented scenario and promoted both the reduction of greenhouse gas emissions and greater economic and environmental sustainability.

Keywords: electric mobility; PESTEL Analysis; electric vehicles; fleet

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização e Objetivos	2
1.2	Organização do documento.....	2
2	Estado da Arte	3
2.1	Mobilidade Elétrica - Análise PESTEL	3
2.1.1	Fator Político	3
2.1.2	Fator Económico.....	5
2.1.3	Fator Social.....	9
2.1.4	Fator Tecnológico	10
2.1.5	Fator Ambiental	17
2.1.6	Fator Legal	20
3	Cenário de Referência e Metodologia Proposta	23
3.1	Descrição do Problema	23
3.2	Metodologia proposta.....	24
3.3	Cenário de Referência.....	25
4	Cenário Objetivo	33
4.1	Calculadora de Cenário.....	34
4.2	Cenário Objetivo	42
4.3	Fase Operacional do Cenário Objetivo	43
4.3.1	Carregamento no domicílio dos colaboradores	44
4.3.2	Carregamento na Delegação	45
5	Conclusões.....	49
5.1	Trabalhos Futuros	50

Índice de Figuras

Figura 1 Pacto Ecológico Europeu [8]	4
Figura 2 Curva relativa ao registo de Veículos Elétricos [13]	6
Figura 3 Vendas de Veículos Elétricos [14]	6
Figura 4 <i>Payback</i> , em km, dos diferentes países europeus, tendo em conta o valor de aquisição do veículo elétrico [13]	7
Figura 5 Veículos Elétricos registados nas estradas portuguesas.....	8
Figura 6 Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em 2023	9
Figura 7 Classificação Geral dos Veículos [27]	10
Figura 8 Diagrama HEV Série [31]	11
Figura 9 Diagrama HEV Paralelo [31]	11
Figura 10 Diagrama HEV Série-Paralelo [31]	12
Figura 11 Diagrama FCEV - FC+B [32].....	12
Figura 12 Diagrama FCEV - FC+B+C [32].....	13
Figura 13 Diagrama BEV [34]	13
Figura 14 Tipos de Fichas de Carregamento Modo 3 (AC)[40]	16
Figura 15 Ficha CCS [40]	17
Figura 16 Fases da Análise Ciclo de Vida [50]	18
Figura 17 Emissões de CO ₂ durante o ciclo de vida das diferentes tecnologias [51].....	19
Figura 18 Gráfico comparativo de emissão de CO ₂ durante o ciclo de vida[51]	19
Figura 19 Consumo e Despesa relativa ao Combustível (2020-2022)	25
Figura 20 Despesa Segmentada da Frota (2020-2022)	26
Figura 21 Organização da Frota por Área de Negócio	28
Figura 22 Distância Percorrida por Função na Schmitt-Elevadores.....	28
Figura 23 <i>Dashboard</i> "Definição do Perfil"	29
Figura 24 Preços médios de Carregamento (Abril de 2024)[56]	36
Figura 25 Gráfico Fluxo de Energia - fevereiro	46
Figura 26 Gráfico Fluxo de Energia - maio.....	46
Figura 27 Tempo de Carregamento em relação à potência de carregamento[58]	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 Quadro Síntese Veículos Híbridos.....	11
Tabela 2 Modelos Específicos da Frota	27
Tabela 3 Perfis de Utilização.....	30
Tabela 4 Indicadores Ambientais da Frota (2020-2022)	31
Tabela 5 Perfis de Solução.....	34
Tabela 6 Indicadores dos Perfis para a Calculadora Energética	35
Tabela 7 Calculadora de Poupança Energética e Despesa em Manutenção.....	37
Tabela 8 Calculadora Ambiental.....	37
Tabela 9 Indicadores Financeiros sem Incentivos Fiscais.....	38
Tabela 10 Calculadora Poupança relativa aos Incentivos Fiscais	39
Tabela 11 Indicadores Financeiros com Incentivos Fiscais	40
Tabela 12 Cenário Objetivo	42
Tabela 13 Indicadores Financeiros do Cenário Objetivo.....	43
Tabela 14 Poupança Ambiental do Cenário Objetivo	43
Tabela 15 Relação entre a potência da <i>Wallbox</i> e da Potência Contratada	44
Tabela 16 Tabela Resumo Consumo <i>versus</i> Produção.....	46

Acrónimos e Siglas

AC	Corrente Alternada
ACEA	<i>European Automobile Manufacturers Association</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BLDC	Motores DC Sem Escovas
CCS	<i>Combined Charging System</i>
DC	Corrente Contínua
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FCV	<i>Fuel Cell Vehicle</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito Estufa
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
ICCB	<i>In-cable Control Box</i>
ICEV	<i>Internal Combustion Engine Vehicle</i>
IMT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes
ISV	Imposto Sobre Veículos
IUC	Imposto Único Circulação
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
NiMH	Níquel-Hidreto Metálico
PESTEL	<i>Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PMSM	Motores Síncronos de Ímanes Permanente
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
SRM	Motores de Relutância Comutados

TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
UE	União Europeia
WLTP	<i>Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure</i>

1 Introdução

Na área da engenharia, a evolução do mundo automóvel é um verdadeiro símbolo da inteligência humana, visto que reflete a procura pela inovação e melhoria ao longo das décadas. Os primeiros automóveis surgem com motor a vapor no final do século XVIII. No decorrer do século XIX, inicia-se o desenvolvimento dos automóveis com motor de combustão interna. No século XX, a primeira e a segunda guerras mundiais impulsionaram as indústrias automóveis. Foi este o marco que despoletou a produção de automóveis de combustão, os veículos convencionais, levando à sua disseminação ao longo do século [1]. Os Automóveis Elétricos surgiram no século XIX, mas a sua evolução ficou em *stand by* até ao século XXI, quando passaram a ser considerados uma opção mais ecológica, económica e confortável, sendo vistos como uma alternativa viável aos veículos convencionais.

Nesse contexto, surge o presente relatório, no qual é apresentado o estudo de viabilidade da substituição de uma frota empresarial de veículos de combustão interna por veículos elétricos, *Electric Vehicle* (EV). A frota é constituída por automóveis ligeiros de passageiros e automóveis ligeiros de mercadorias, pelo que, durante a revisão bibliográfica, foram procurados documentos referentes a veículos do mesmo tipo.

Os veículos de combustão interna, *Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV), usam um motor de combustão interna para produzir energia. Existe uma câmara de combustão onde o ar e o combustível são misturados, comprimidos e queimados para produzir forças que transformam a energia química em energia mecânica útil.

Os EVs podem ser classificados em veículos elétricos a bateria, *Battery Electric Vehicle* (BEV), veículos elétricos híbridos, *Hybrid Electric Vehicle* (HEVs), veículos elétricos híbridos plug-in, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEVs), e veículos elétricos a pilhas de combustível, *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV).

1.1 Contextualização e Objetivos

A empresa, Schmitt-Elevadores, face ao contexto atual relativo às questões ambientais e económicas, definiu como fundamental a redução da pegada ecológica da empresa, nomeadamente no consumo de recursos naturais (combustíveis fósseis). A empresa possui atualmente uma frota de 264 viaturas de combustão interna que têm cobertura a nível nacional e encontram-se distribuídas maioritariamente nos seguintes tipos de utilização: Logística, Sede e Delegações (Equipas de montagem e Serviço após venda). Perante esta situação, existe uma motivação para o estudo da alteração desta frota por parte da empresa.

Assim, a presente dissertação teve como principal motivação a redução em 20% o consumo de combustíveis fósseis por substituição por frota eletrificada.

Neste contexto, durante o estágio foi realizado o estudo técnico, económico, energético e ambiental da situação atual e do cenário que cumpre com o objetivo. Deste modo, este estudo visa o desenvolvimento de dois propósitos específicos, nomeadamente:

- Levantamento e caracterização de cada tipo de utilização e dimensionamento da viatura elétrica que melhor se enquadre com as necessidades.
- Cálculo de Poupança económica, energética e ambiental em função do cenário solução.

1.2 Organização do documento

No capítulo 1 é efetuado um pequeno enquadramento histórico ao tema e explicação da motivação do estágio e correspondente objetivo.

O segundo capítulo 2 resulta de uma revisão bibliográfica sobre a mobilidade elétrica e a sua adoção. São abordados os fundamentos da motivação deste estágio, indicando os aspetos relevantes para o desenvolvimento do mesmo, nomeadamente a relação dos transportes com o consumo de energia, com a despesa económica associada, com os impactos ambientais. São ainda referidos os esforços e incentivos dos governos e das organizações governamentais.

No capítulo 3 é realizada a descrição do problema e são definidos os critérios e a metodologia para a avaliação técnica, económica, energética e ambiental quer do cenário de referência quer do cenário objetivo.

No capítulo 4 é efetuada a apresentação dos cálculos inerentes ao estudo e definição de um cenário que cumpre os requisitos do estágio.

O capítulo 5 tem presente uma sugestão de implementação do cenário objetivo e de fase operacional da futura frota elétrica da frota.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões.

2 Estado da Arte

2.1 Mobilidade Elétrica - Análise PESTEL

Para atingir o abandono dos veículos movidos a combustíveis fósseis, surgiram várias tecnologias como soluções promissoras, com o objetivo de tornar possível a transição para veículos elétricos. De forma a analisar a adoção da mobilidade elétrica como solução, foi utilizada a ferramenta PESTEL (*Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal*). Com este método de análise, é possível avaliar os fatores externos que impactam na decisão, na atividade, ou até mesmo na própria organização [2], [3], [4].

2.1.1 Fator Político

O período de instabilidade política, quer devido a guerras, quer devido a crises económicas e racionalização de recursos, requer que os países se tornem menos dependentes dos países exportadores de petróleo. A dependência atual não favorece o crescimento económico nem o meio ambiente, sendo imperativo promover a atualização da mobilidade.

Nos últimos anos os governos europeus, a par da União Europeia (UE), têm promovido essa mudança de paradigma. Algumas metas propostas, que inicialmente seriam consideradas ambiciosas, passaram a ter um caráter obrigatório. Desde 2009, através da Diretiva 2009/28/CE referente à promoção das energias renováveis, foi estabelecido um aumento da energia consumida nos transportes proveniente de fontes renováveis até 2020. É, ainda, exigido aos membros uma redução das emissões de CO₂ em 20%, com aumento da quota das fontes de energia renováveis (FER) para 20% e melhorando a eficiência energética em 20% até 2020 [5].

Os objetivos que são definidos a nível da UE devem ser adotados pelos governos nacionais e pelas entidades empresariais pertencentes. Atualmente, o mais recente Pacto Ecológico Europeu é um indicador claro da preocupação da UE com as alterações climáticas, demonstrando motivação para apostar tanto na produção de energia limpa, como na eficiência energética do

seu consumo. A produção de energia renovável é fundamental para atingir emissões líquidas zero até 2050 na UE [6]. Como tal, foram estabelecidos planos ambiciosos para investir em energia verde como, por exemplo, o Pacto Ecológico Europeu, no qual foram atribuídos cerca de 1 trilhão de euros ao investimento em energia renovável ao longo da próxima década [7]. A par do aumento do investimento em energias renováveis, o Pacto Ecológico Europeu conta com outros 7 pilares (Figura 1) para promover um futuro sustentável.

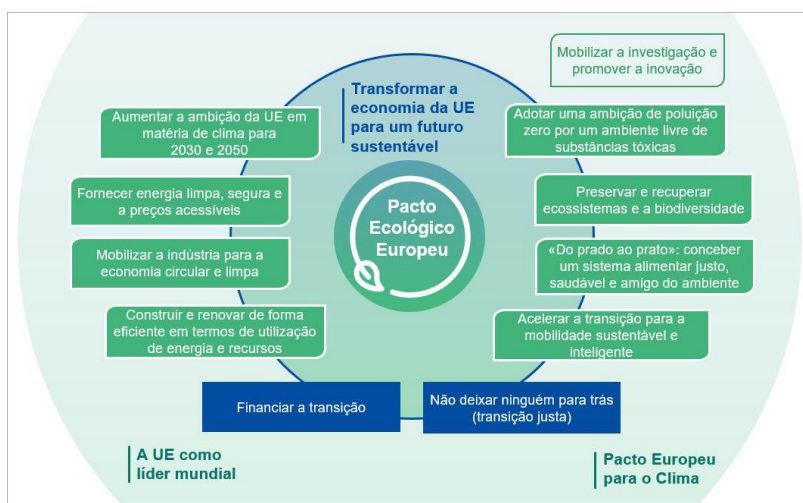


Figura 1 Pacto Ecológico Europeu [8]

Promover uma mobilidade sustentável significa colocar os utilizadores em primeiro lugar e possibilitar alternativas mais acessíveis, mais saudáveis e mais limpas. Sendo este um dos objetivos, o Pacto Ecológico Europeu adota diversas medidas e estratégias para o alcançar, focando-se ainda em dar resposta ao desafio da neutralidade carbónica, presente num outro pilar do pacto.

As estratégias para obter uma mobilidade sem emissões na UE estão definidas no pacote “Objetivo 55” e na Estratégia de Mobilidade Sustentável e Inteligente. Estas visam reduzir significativamente a atual dependência dos combustíveis fósseis, aumentar a utilização de modos de transporte sustentáveis e internalizar os custos externos, nomeadamente no que respeita o acesso às infraestruturas e através de mecanismos de tarifação do CO₂. O pacote "Objetivo 55" inclui propostas legislativas para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em, pelo menos, 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990, e alcançar a neutralidade climática até 2050, com especial incidência no sector dos transportes. O conjunto de ações prioritárias para o desenvolvimento sustentável do mercado dos automóveis elétricos reflete uma abordagem coerente e integrada das políticas setoriais [9].

Mais de 20 países têm metas de eletrificação ou proibições para veículos de combustão interna, e 8 países da União Europeia anunciaram compromissos de zero líquidos [10]. Recentemente, os ministros europeus do clima concordaram que a partir de 2035 o motor de combustão poderá deixar de ser produzido na Europa. Cada estado-membro teve de apresentar o seu plano

nacional para atingir os objetivos do Pacto Ecológico Europeu. O governo português apresentou o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030).

Com o intuito de atender aos alvos estabelecidos para Portugal até 2030, o PNEC 2030 fundamenta-se em oito metas específicas:

- Reduzir as emissões de carbono na economia nacional.
- Priorizar a eficiência no uso da energia.
- Reforçar o investimento em fontes de energia renovável e diminuir a dependência energética do país.
- Assegurar a estabilidade no fornecimento de energia.
- Estimular a adoção de práticas sustentáveis na mobilidade.
- Incentivar a prática de uma agricultura sustentável e favorecer a absorção de carbono.
- Fomentar o surgimento de uma indústria inovadora e competitiva.
- Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

Estas metas visam a realização das cinco vertentes do PNEC 2030, nomeadamente a descarbonização, eficiência energética, segurança no fornecimento de energia, mercado interno, e pesquisa, inovação e competitividade. No total, foram delineadas 58 linhas de ação e 206 medidas para atingir tais objetivos [11], [12].

Quanto à linha de atuação referente à mobilidade elétrica – “PROMOVER E APOIAR A MOBILIDADE ELÉTRICA” - foram delineadas as seguintes estratégias:

- Acompanhamento do modelo para a mobilidade elétrica
- Fomentar a mobilidade elétrica eficiente na Madeira e Porto Santo
- Manter e promover os incentivos à aquisição de veículos ligeiros 100% elétricos, bem como o quadro de incentivos fiscais disponíveis
- Promover os veículos elétricos na micrologística urbana
- Promover o desenvolvimento da rede de carregamento de acesso público
- Promover a implementação de pontos de carregamento de veículos elétricos nos edifícios privados
- Promover o carregamento inteligente de veículos elétricos com fluxos bidirecionais de energia
- Promover o carregamento de autocarros elétricos.

2.1.2 Fator Económico

No contexto da mobilidade elétrica, o fator económico desempenha um papel crucial. Influencia vários aspetos, desde a adoção de veículos elétricos até às estratégias de investimento em infraestruturas e tecnologias sustentáveis. O fator económico pode ser analisado de diversas formas, como a evolução do mercado, o custo-benefício de aquisição do

veículo, a evolução do preço de concessão (neste caso, as baterias dos VE) e a evolução dos preços dos combustíveis.

No estudo realizado por [13] foi feito o levantamento de dados de 2013 a 2018 relativos ao mercado global de veículos elétricos, atingindo o valor de 5,1 milhões em 2018. O foco está nos principais mercados, sendo estes a União Europeia, os Estados Unidos da América e a China, uma vez representam 90% do panorama global. Uma análise mais aprofundada revelou que os BEVs lideram a quota de mercado, destacando o seu sucesso em comparação com os PHEVs. Na Figura 2 é possível observar a curva de crescimento no número de registos de veículos elétricos. Segundo os autores, o crescimento deve-se principalmente à redução do custo de aquisição das baterias e da aquisição de VE, e também à aceleração da instalação de infraestruturas, tais como postos de carregamento.

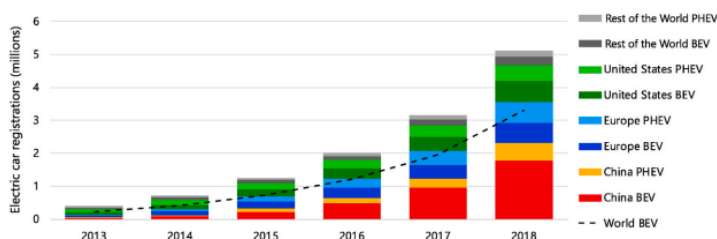


Figura 2 Curva relativa ao registo de Veículos Elétricos [13]

Após 2018, a tendência manteve-se. Apesar da pandemia COVID-19, o crescimento do EV foi notável, registando-se, em 2019, a venda de mais de 2,2 milhões de veículos elétricos. O mercado continuou a aumentar, atingindo um número de vendas de 3 milhões em 2020 e 6,6 milhões em 2021, como pode ser observado na Figura 3, representando quase 9% da marca global de carros [14].

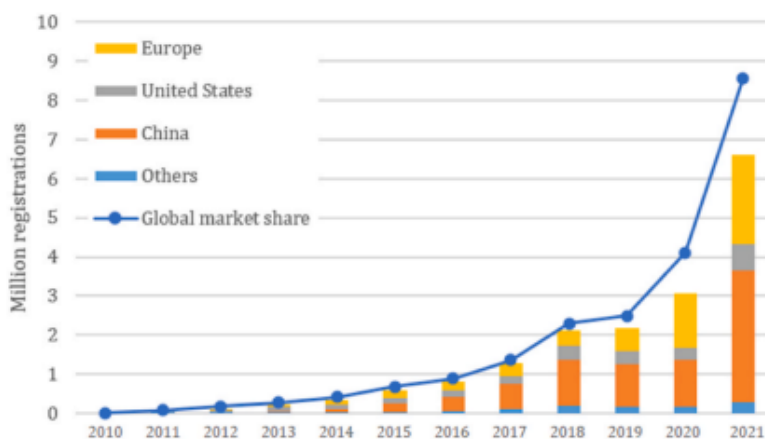


Figura 3 Vendas de Veículos Elétricos [14]

A transição de veículos com motor de combustão interna para veículos elétricos depende, em grande medida, do custo inicial de compra dos dois tipos de veículos. O preço de aquisição pode variar devido a impostos, incentivos governamentais, parcerias e acordos comerciais entre fabricantes. Para os diferentes países europeus, o custo de aquisição do BEV é frequentemente mais elevado que o custo de aquisição dos ICEV. No entanto, existem exceções, nomeadamente na Dinamarca e em Espanha, sendo que nestes países o custo de aquisição do BEV é inferior ao do ICEV. Assim, o benefício económico é obtido logo no momento da compra.

Em [13], o estudo realizado avalia economicamente a aquisição de veículos elétricos, do tipo BEV, em comparação a ICEVs, em países europeus. Realizou também uma comparação entre o *payback* do BEV e do ICEV (Figura 5). Com base na Figura 5 é possível observar que existem países com *payback* negativo que, economicamente falando, representa benefício económico logo no momento de compra. Para instigar a diminuição do custo de aquisição de BEV, países como Espanha, França, Irlanda, Portugal ou Reino Unido, estão a implementar incentivos fiscais para a aquisição de BEV. Considerando que a maioria das marcas automóveis promovem uma garantia da bateria a rondar os 8 anos ou os 160 000 km, podemos concluir que a compra de um BEV é vantajosa em 13 países (da Dinamarca à Letónia, com base nos resultados da Figura 4).

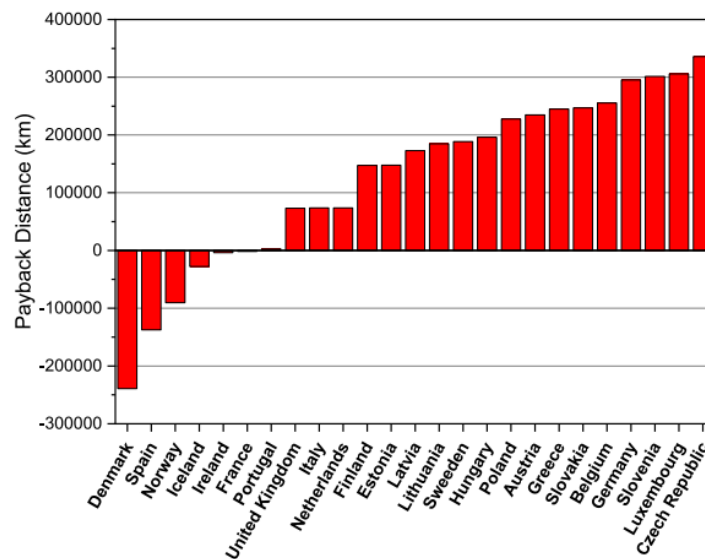


Figura 4 *Payback*, em km, dos diferentes países europeus, tendo em conta o valor de aquisição do veículo elétrico [13]

Os preços das baterias do BEV diminuirão ao longo do tempo e deverão atingir cerca de 115 USD/kWh para uma célula de 60 kWh, devido ao elevado crescimento do mercado, com uma produção de 100 000 baterias por ano [15]. Segundo [16], a principal diferença de preços entre os BEVs e os ICEVs provém do grupo motopropulsor (bateria, motor). Os custos de material representam cerca de 60% do custo total da bateria e cerca de 52% do custo do motor. Novas tecnologias químicas estão a ser exploradas para reduzir o custo da bateria e melhorar a capacidade da mesma, reduzindo o seu volume (peso).

Através dos dados fornecidos em [17] ; [18], podemos fazer uma projeção do preço de um BEV para 2025 (\$9360), tendo por base o seu valor em 2018 (\$13723), sabendo que o grupo motopropulsor representa cerca de 80% do preço final do veículo e, segundo os autores, este irá diminuir com o avanço tecnológico. Assim, a diminuição do preço do EV é proporcional ao preço de concessão das baterias. O preço médio global do conjunto de baterias caiu de \$1000/kWh (2010) para aproximadamente \$160/kWh (2019), e espera-se que desça para cerca de \$111/kWh em 2025, até atingir o valor de \$57/kWh em 2050[16].

Em Portugal, apesar do crescente número de vendas de veículos elétricos, os EV (incluindo BEV, PHEV e HEV) apenas representam 3.2% dos veículos nas estradas portuguesas em janeiro de 2023 [19], analisando os dados fornecidos pela *European Automobile Manufacturers Association* (ACEA).

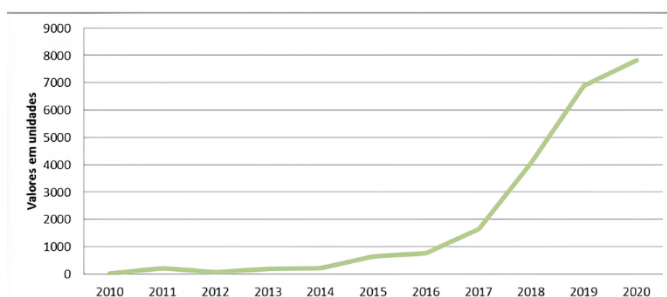


Figura 5 Veículos Elétricos registados nas estradas portuguesas

O mix energética influencia os preços da eletricidade nos mercados grossistas. Em Portugal, a tendência tem vindo a ser o aumento da percentagem de energia elétrica proveniente de energias renováveis. Entre 1 de janeiro e 30 de novembro de 2023 foram gerados 39 831 GWh de eletricidade em Portugal Continental, dos quais 69,6 % tiveram origem renovável (Figura 7) [20].

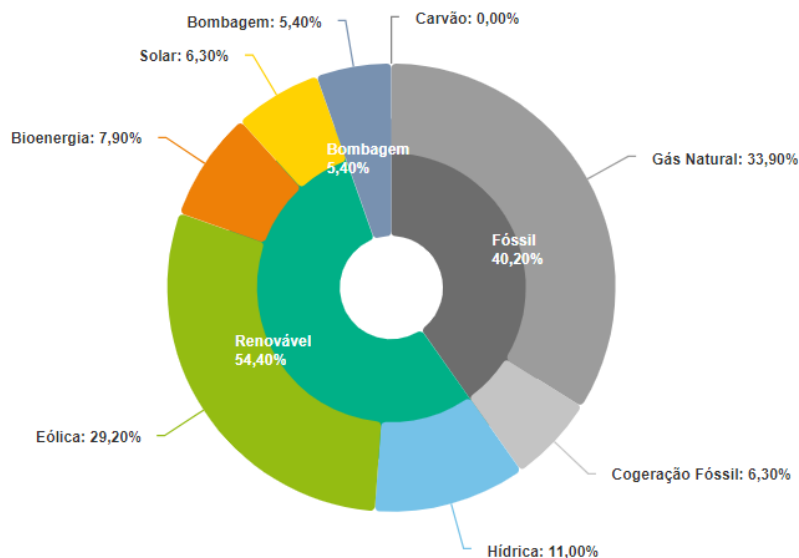


Figura 6 Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em 2023

2.1.3 Fator Social

No âmbito social, os autores apontam que a mobilidade elétrica ainda não é um assunto consensual. Existem diversos fatores que influenciam a opinião social, como a educação, a precissão de custos e a mudança de comportamentos. Assim, o fator social é fortemente influenciado pelas restantes dimensões que constituem a análise PESTEL.

Na conscientização ambiental, [21] refere como fator relevante para a sociedade a redução da poluição atmosférica e sonora em áreas urbanas densamente povoadas. Esta acarreta benefícios para a saúde, entre os quais a prevenção da mortalidade precoce.

Os consumidores com maior sensibilidade às motivações ambientais são mais propensos a aceitar EV, sugerindo que as preocupações ambientais, como as alterações climáticas e a poluição atmosférica, poderiam condicionar uma maior aceitação dos EV [22]. Desta forma, percebemos que é importante promover uma educação dos consumidores para a dimensão do atual problema que são as alterações climáticas, uma vez que estas podem ser compreendidas como uma ameaça distante [23]. A transmissão dos benefícios da adoção de EVs deve ser feita de uma forma clara e simples, de modo que a sua compreensão seja acessível a todos.

Na vertente económica, a sociedade associa o veículo elétrico ao seu preço de aquisição. No entanto, o investimento num EV deve ser visto pelo seu custo total de propriedade, em inglês, *total cost of ownership* (TCO)[23]. De acordo com [24], a perspetiva de custo é descrita como uma desvantagem na adoção de EV, enquanto que a poupança financeira associada aos menores custos de utilização e manutenção dos EV é referida como sendo uma vantagem.

Percebemos que a maioria dos autores chegou à mesma conclusão: quanto mais instruída for a sociedade maior vai ser o nível de aceitação dos EV [25]. Assim, [26] destaca a interação entre a aprendizagem social e tecnológica na influência da dinâmica de transição para EVs.

2.1.4 Fator Tecnológico

A análise deste fator recai sobre as diferentes tecnologias que geram a energia mecânica usada para mover os veículos, a evolução e tecnologias referentes ao carregamento dos EVs, e as diferentes tecnologias de baterias existentes nos EVs. A Figura 7, esquematiza a classificação geral dos veículos com a divisão geral entre veículos com motor de combustão interna e veículos elétricos.

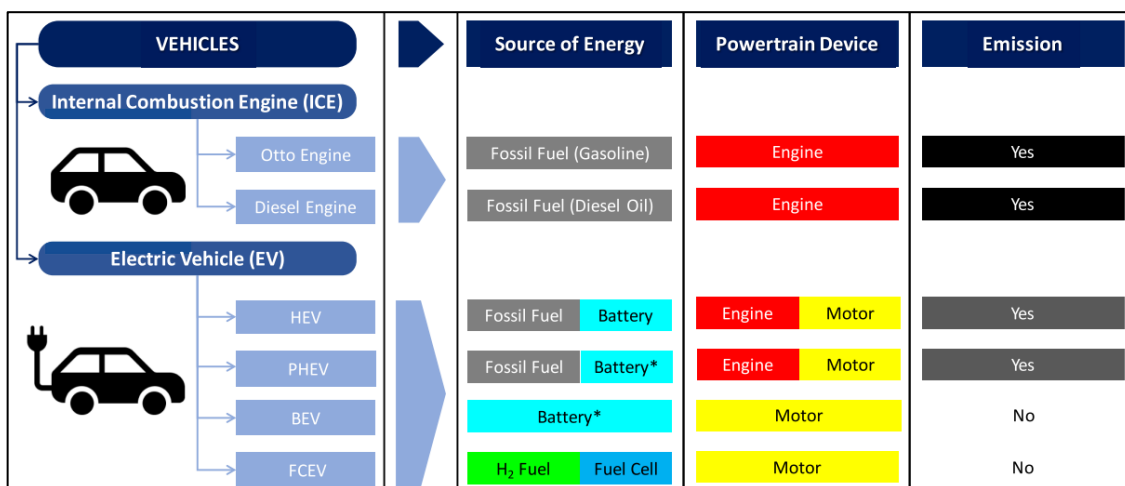


Figura 7 Classificação Geral dos Veículos [27]

Os veículos HEV não são totalmente elétricos, pois combinam um motor de combustão interna com uma bateria elétrica. Vários autores classificam os veículos híbridos em 3 categorias: *micro* HEV, *mild* HEV, *full* HEV.

Os *micro* HEV são veículos híbridos em que o motor elétrico é utilizado na fase de arranque, estes veículos contam com travagem regenerativa e carregam a bateria durante a condução. Nos *mild* HEV, além das funções do *micro* HEV, a bateria fornece assistência elétrica ao motor, auxiliando em necessidade de uma maior propulsão.

Quanto aos *full* HEV, o motor elétrico e as baterias são significativamente maiores do que os *micro* HEVs e *mild* HEVs, exigindo um sistema de gestão de energia mais sofisticados. Como tal, dependendo da necessidade de energia do veículo, o motor elétrico pode ser usado como a única fonte de energia. O aumento típico da eficiência de combustível para HEVs completos é de cerca de 40-45% para condução em condições reais, em comparação com um veículo não híbrido [28], [29], [30], [31]. Na Tabela 1, está representado o quadro síntese sobre os veículos híbridos.

Tabela 1 Quadro Síntese Veículos Híbridos

Funções	Micro HEV	Mild (MHEV)	Full (FHEV)
Stop/Start	✓	✓	✓
Assistência Elétrica (durante a condução)		✓	✓
Travagem Regenerativa	✓	✓	✓
Modo Condução Elétrica			✓
Carregamento da Bateria (durante a condução)	✓	✓	✓

Os veículos híbridos podem ter configurações em série, em paralelo ou em serie-paralelo. HEV série (Figura 9) é uma classificação atribuída aos veículos em que a principal função do motor de combustão interna é gerar eletricidade para a bateria que, por sua vez, alimenta o motor de tração diretamente ou através de um gerador elétrico [31].

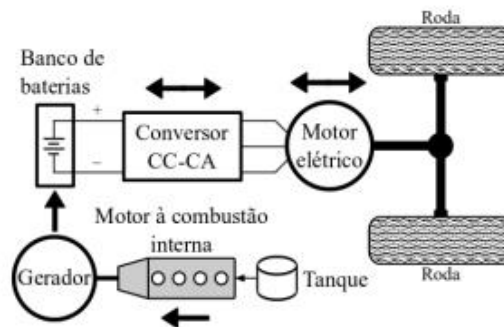


Figura 8 Diagrama HEV Série [31]

Na configuração HEV paralela (Figura 10), tanto o motor como o motor elétrico podem trabalhar de forma independente ou cooperativa para assegurar a tração. Nesta configuração, o motor é ligado mecanicamente às rodas motrizes através de uma caixa de velocidades, enquanto o motor elétrico é utilizado para apoiar o motor durante as acelerações. Dependendo da potência do motor elétrico, este também pode ser utilizado como única fonte de energia do veículo em marcha lenta sem carga e durante o arranque [31].

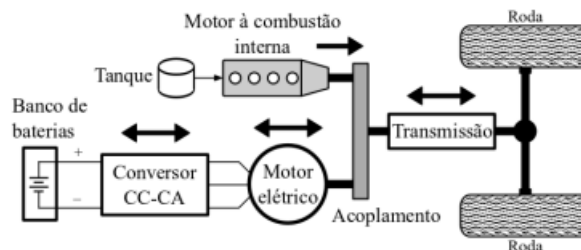


Figura 9 Diagrama HEV Paralelo [31]

A configuração de HEV em série-paralelo (Figura 11) refere-se a um sistema em que o motor de combustão interna e o motor elétrico podem fornecer energia simultaneamente para impulsionar o veículo. Esta configuração é uma abordagem comum em veículos híbridos, de modo a otimizar a eficiência e oferecer maior flexibilidade em diferentes condições de condução [30].

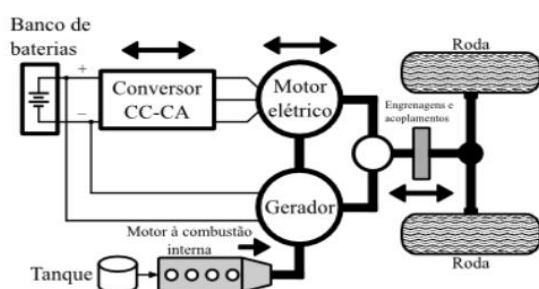


Figura 10 Diagrama HEV Série-Paralelo [31]

Os PHEVs possuem essencialmente a mesma configuração que os *full* HEVs, mas com a adição do carregamento da bateria através da rede elétrica. Devido aos componentes elétricos de alta capacidade, os PHEVs são capazes de funcionar com energia elétrica por longos períodos.

O veículo de célula de combustível, *Fuel Cell Vehicle* (FCV) pode ser categorizado em condução híbrida, designado por *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV), ou em condução exclusiva a células de combustível de hidrogénio. Devido à resposta dinâmica limitada e à fiabilidade do sistema de alimentação exclusiva de pilhas de combustível de hidrogénio, apenas serão abordados os FCEVs.

Os FCEVs conjugam as células de combustível com um sistema de bateria (FC+B) e podem conjugar um sistema de condensadores de alta densidade de potência (FC+B+C). A bateria no sistema FC+B (Figura 12) recupera energia da travagem regenerativa, reduzindo custos e gasto de energia da célula de combustível. Além disso, pode alimentar o veículo em caso de falha da célula de combustível [32].

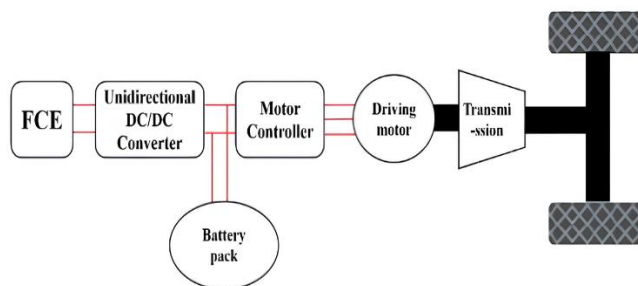


Figura 11 Diagrama FCEV - FC+B [32]

Para o sistema FC+B+C (Figura 13) durante a operação normal, as baterias de alta densidade de energia fornecem a potência média, e os condensadores cobrem a diferença entre potência auxiliar e média. Este sistema é especialmente eficaz durante o arranque da célula de combustível, evitando danos à bateria ou combustão espontânea [33].

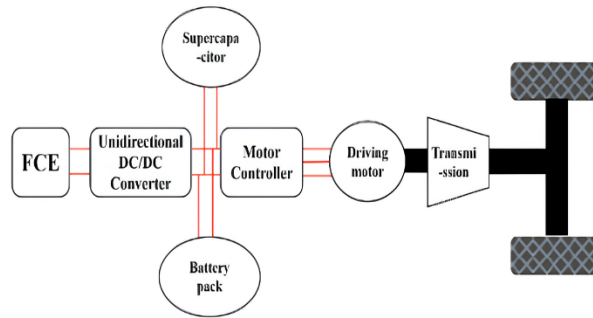


Figura 12 Diagrama FCEV - FC+B+C [32]

Quanto aos BEVs, estes são totalmente elétricos. A eletricidade utilizada para conduzir o veículo é armazenada numa bateria, que é carregada através da ligação à rede elétrica. Na Figura 14 está representado o diagrama do BEV.

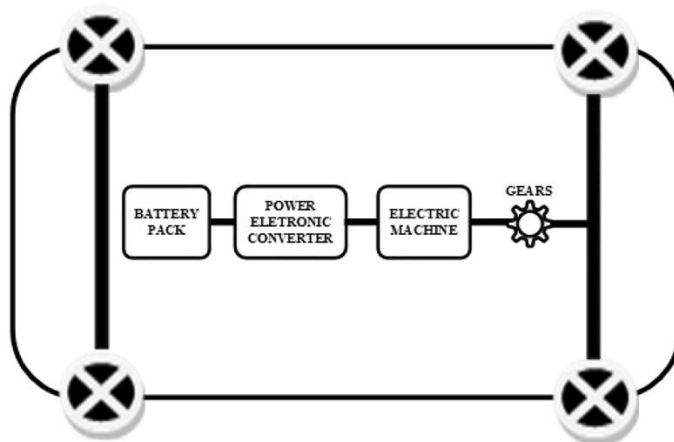


Figura 13 Diagrama BEV [34]

No que diz respeito à máquina elétrica de propulsão de um EV, os principais fabricantes automóveis utilizam motores DC, motores de indução, motores síncronos de ímãs permanente (PMSM), motores de relutância comutados (SRM) e motores DC sem escovas (BLDC).

Os motores DC foram os primeiros a serem adotados, mas a presença de comutadores e escovas aumentam a manutenção e reduzem a aplicação deste motor a velocidades altas. Outros dos fatores pelos quais deixaram de ter tanta adesão foram a sua baixa eficiência, baixa confiabilidade e construção volumosa. Os motores de indução têm sido dos principais

candidatos para utilização como motores de tração, devido à sua robustez e baixa manutenção. Mas, quando aplicados a alta velocidade, os motores de indução apresentam uma menor eficiência comparativamente aos PMSMs. Estes, por sua vez, têm alta eficiência e densidade de potência. No entanto, os PMSMs têm uma faixa de velocidade estreita e também podem ser desmagnetizados devido à reação da armadura. Os SRMs são robustos e têm excelentes características de velocidade-torque, mas o alto ruído e a ondulação de torque, juntamente com a tendência de interferência eletromagnética, pesam sobre esses motores. Os motores BLDC apresentam elevada eficiência e densidade energética que, aliada à sua compactidade, fazem com que se destaquem, sendo a melhor opção para a utilização em veículos elétricos. Um estudo realizado sobre os motores acima referidos mostra que os PMSM e os motores BLDC consomem menos combustível e contribuem menos para a poluição em comparação com os outros motores [35], [36].

A bateria é a fonte da energia que é utilizada para a propulsão dos EVs. A maior desvantagem de um EVs é a autonomia que depende, em última análise, da bateria que está a ser usada no veículo. Para além da autonomia, também o elevado custo, a vida útil e a falta de armazenamento de energia suficiente são problemas relacionados com a bateria.

Os principais tipos de baterias utilizadas em veículos elétricos são as baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH) e de íões de lítio (Li-ion). As pilhas NiMH são conhecidas por serem mais seguras do que as baterias de íões de lítio e são preferidas em cenários industriais devido à sua natureza flexível, baixa manutenção e elevada densidade energética. As baterias de íões de lítio, por outro lado, têm uma densidade de energia mais elevada do que as pilhas NiMH. As baterias de íões de lítio são extremamente compactas, o que as torna a escolha preferida em veículos elétricos. Estas fornecem um grande número de ciclos de carregamento em comparação com outras baterias, o que resulta numa vida útil mais longa. No entanto, as baterias de íões de lítio são bastante dispendiosas devido à escassez de lítio, surgindo a reciclagem do lítio como uma possível solução para aumentar a oferta [35], [37], [38], [39]. Importante referir ainda que o preço do lítio diminuiu drasticamente desde que as baterias foram introduzidas pela primeira vez.

O carregamento dos BEVs e HEVs desempenha um papel crucial no avanço tecnológico da cadeia abastecedora. Este pode ser feito em modo corrente alternada (AC) ou em modo corrente contínua (DC).

Carregamento em modo AC:

Este modo corresponde aos carregamentos lentos e semirrápidos, podendo ainda ser divididos em três modos distintos de carregamento [40]:

Modo 1:

O Modo 1 foi dos primeiros a surgir e corresponde a carregamentos domésticos. É caracterizado pela conexão do EV à rede de alimentação, utilizando tomadas normalizadas de corrente até 16 A no lado da rede de alimentação, monofásica ou trifásica, com condutores de fase(s), de

neutro e condutor de proteção, o que corresponde a tomadas domésticas do tipo *shūco* ou industriais da norma EN60309.

Modo 3:

O Modo 3 de carregamento usa tomadas dedicadas com dispositivos de proteção integrados, os quais têm como função aumentar a segurança do processo de carregamento do EV. Isto contribui para reduzir o risco de eventuais erros de manipulação por seres humanos e de defeitos de isolamento elétrico existentes no EV, cabo de ligação ou tomada de fornecimento.

Este modo é constituído por três componentes fundamentais:

- Tomadas e fichas de fornecimento
- Relé de corte de alimentação
- Sistema eletrónico associado à tomada de fornecimento

Quanto às tomadas e fichas de carregamento, estas incluem condutores de energia, fases e neutro, terra de proteção, condutor do sinal de “piloto de controlo” e sensor de inserção de ficha na tomada. Encontram-se definidas na norma IEC 62196 e SAE J1772, onde estão especificados três tipos de tomadas (Figura 15) [40]:

- Tipo 1: Chamadas de “Yazaki” são utilizadas no Japão e EUA e nos veículos fabricados pela Nissan, Mitsubishi, Citroen e Peugeot. Apenas suportam carregamento monofásico com uma corrente até 32 A e potência máxima de 7,3 kW. Estas tomadas possuem 5 pinos: fase, neutro, terra, detetor de inserção e piloto de controlo, utilizando a proteção contra contacto mecânico IP XXB [40].
- Tipo 2: Apelidadas de “Mennekes” são utilizados na Europa e possuem 7 pinos: três fases, neutro, terra, detetor de inserção e piloto de controlo. O carregamento pode ser monofásico com corrente máxima até 70 A/fase ou trifásico até 63 A/fase, sendo a potência máxima suportada pelas tomadas 44 kW. Estas utilizam a proteção contra contacto mecânico IP XXB [41]. Atualmente a tomada de tipo 2 é a mais utilizada, uma vez que os dispositivos que possui garantem um carregamento inteligente e seguro para as pessoas e para o equipamento.
- Tipo 3: As tomadas deste tipo denominam-se de “Scame”. Neste momento, são usadas em França, sendo desenvolvidas pela EV Plug Alliance. Tal como as tomadas de tipo 2, possuem 7 pinos e o carregamento pode ser monofásico ou trifásico tendo neste caso até 32 A por fase e potência máxima de 22 kW. Utilizam a proteção contra contacto mecânico IP XXD [40].

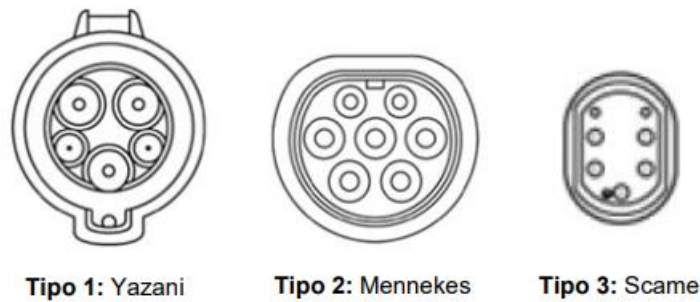


Figura 14 Tipos de Fichas de Carregamento Modo 3 (AC)[40]

Quanto ao relé de corte de alimentação, este é controlado pelo sistema eletrónico que permite a alimentação ou o corte da tomada quando o sistema eletrónico o indicar.

No que diz respeito ao sistema eletrónico vinculado à tomada de fornecimento, cabe ao veículo a responsabilidade de supervisionar o carregador durante o processo de carga por meio de uma comunicação estabelecida pelo cabo. Essa funcionalidade é conhecida como "piloto de controlo" que, por meio da criação constante de uma corrente mínima entre a tomada de fornecimento e o veículo, possibilita a monitorização das condições de isolamento das partes sob tensão ao longo de uma sessão de carregamento.

Modo 2:

O Modo 2 é um sistema de carregamento desenvolvido de forma a permitir que veículos que só carregam em Modo 3 possam ser carregados a partir de uma tomada doméstica ou industrial. Para que tal seja possível, é necessário que o cabo de carregamento funcione como "piloto de controlo" desde o veículo até a uma caixa de comando, *In-cable Control Box* (ICCB), situada na outra extremidade. Assim, numa extremidade da ICCB existe uma tomada de Modo 3 à qual é conectado o veículo. A outra extremidade tem uma ficha normalizada (doméstica ou industrial) para ligação à rede elétrica. Neste modo a corrente não pode exceder 32 A, para ligação monofásica e trifásica[40].

Carregamento em modo DC:

Este tipo de carregamento é efetuado por um carregador externo e é denominado por carregamento rápido. O carregamento modo DC corresponde ao Modo 4 de carregamentos de veículos elétricos [40], [42].

Modo 4:

Este modo de carregamento é realizado através de um carregador externo que fornece corrente diretamente à bateria do carro. O posto de carregamento é constituído por um armário e por um cabo, que estão conectados. O veículo controla o carregador utilizando a funcionalidade "piloto de controlo", para evitar provocar danos na bateria.

O carregamento em modo DC é realizado conforme a norma CHAdeMO, homologada pela maioria dos fabricantes automóveis, com potência recomendada de 50 kW e máxima de 62,5

kW. Os carregadores CHAdeMO podem carregar 80% da bateria em 15 a 30 minutos. O *plug* CHAdeMO utiliza o protocolo CAN-BUS para transmitir dados em tempo real, incluindo o nível de bateria e requisitos de segurança[43].

Outro método de carregamento rápido é o Sistema de Carregamento Combinado, *Combined Charging System (CCS)*, padronizado em 2011. O CCS permite carregamentos monofásicos e trifásicos em modos AC e DC através de uma única entrada. As tomadas CCS derivam das normas SAE J1772/IEC 62196 e IEC 62196, combinadas com um conector DC. Ao contrário da CHAdeMO, o protocolo de comunicação no CCS é *Power Line Communication (PLC)*, usando Bluetooth ou Wi-Fi para comunicação entre o veículo e o carregador [43], [44], [45].

Na Figura 15 é apresentada uma das possibilidades para um carregador de um CCS.

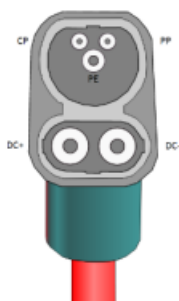


Figura 15 Ficha CCS [40]

Para além das tomadas da norma CHAdeMO e das tomadas de CCS, existem ainda outros carregadores de modo DC, entre eles o supercarregador destinados aos carros TESLA e os carregadores utilizados na China.

2.1.5 Fator Ambiental

Os combustíveis fósseis são hoje a principal fonte de energia para atender à procura energética mundial. A principal consequência negativa é o aquecimento global, que surge devido às emissões de gases de efeito estufa. Assim, as questões ambientais e energéticas estão no topo da lista das principais preocupações globais a serem resolvidas nos próximos anos. Segundo a Comissão Europeia, nos países da EU as famílias gastam em média 13,2% do seu rendimento em transporte de bens e serviços. No entanto a mobilidade de bens e pessoas representa mais de 24% das emissões globais de CO₂ provenientes da queima de combustíveis. Para limitar o aumento de temperatura até 2030, o mundo terá de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 45%, comparativamente a 2010 [46] [47]. Na conferência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas de 2023 (COP28), realizada no Dubai, foram reafirmados os objetivos do Acordo de Paris e foi sublinhada a necessidade de colaboração entre países para acelerar as ações e enfrentar a crise climática. Para enfrentar e resolver estes desafios críticos,

o foco está direcionado para a obtenção de sistemas de energia limpa, incluindo sistemas de conversão e armazenamento [48].

Diante do desafio climático, a mobilidade elétrica surge como uma das soluções de conversão e armazenamento de energia. A adoção de EVs é, na teoria, um dos caminhos mais promissores para a redução de GEE.

Quando é realizado um estudo relativo ao impacto ambiental de um produto ou ação é adotada a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Esta pode ser dividida em 4 fases (Figura 17): fase de extração de matéria-prima, fase de produção, fase de utilização e fase de fim de vida [49].

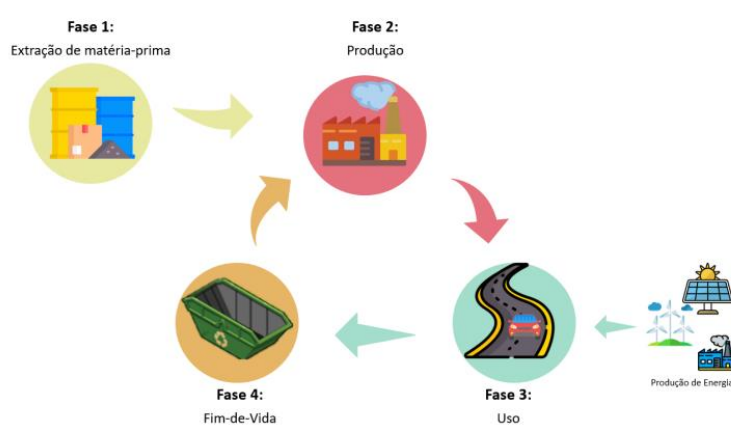


Figura 16 Fases da Análise Ciclo de Vida [50]

Por norma, os estudos relativos aos impactos ambientais da extração de matérias-primas, encontram-se agrupados aos impactos ambientais da produção dos EVs. Na fase de extração de matérias-primas, os EVs e ICEVs requerem uma quantidade elevada de matérias-primas. A principal diferença entre os dois tipos de tecnologia é a extração de metais, devido às baterias e aos conversores de potência dos EVs. O processo de extração de matérias-primas necessita de grandes volumes de água, energia e, por vezes, de outros tipos de substâncias, contribuindo assim para um aumento das emissões de GEE [46], [49].

Um dos mais recentes estudos realizados pela Federação Europeia de Transportes e Ambiente, analisa as emissões de CO₂ durante o ciclo de vida de um carro elétrico. Avalia a obtenção dos minerais para fabrico das baterias, o custo energético das mesmas (se forem fabricadas na China ou na Europa), o fabrico do veículo e o seu consumo energético durante a vida útil.

No pior dos cenários, no qual a bateria é produzida na China e o período de utilização decorre na Polónia (a tecnologia de produção de eletricidade é maioritariamente não renovável), o BEV será 22% mais limpo que o gasóleo e 28% mais limpo do que a gasolina, figura 18. No melhor cenário, no qual a bateria é produzida com energia verde, o carro é fabricado na EU e é conduzido num país em que a produção de eletricidade é maioritariamente renovável, a redução da emissão de CO₂ do BEV pode chegar aos 80%, comparativamente aos veículos equivalentes de combustão de combustíveis fósseis[51].

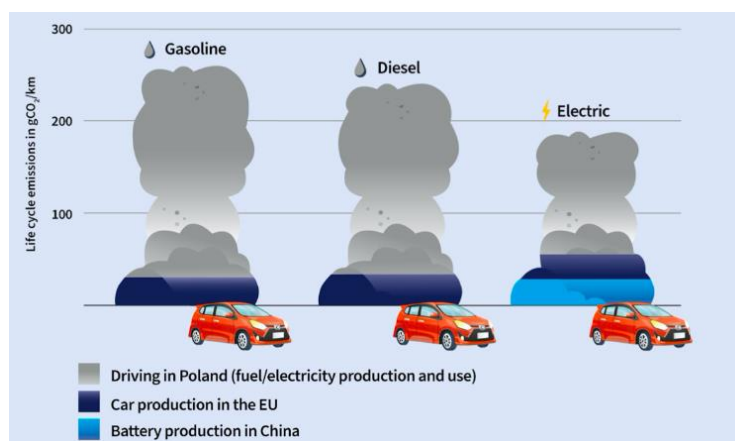


Figura 17 Emissões de CO₂ durante o ciclo de vida das diferentes tecnologias [51]

Na Figura 19 é apresentado o gráfico comparativo da emissão de CO₂ durante o ciclo de vida, que contempla a fase de produção do veículo, fase de produção da bateria e a fase de utilização. Assim, é possível observar que a adoção de BEVs é vantajosa mesmo nos piores cenários.



Figura 18 Gráfico comparativo de emissão de CO₂ durante o ciclo de vida[51]

Portugal não foi incluído neste estudo da Federação Europeia de Transportes e Ambiente, mas tendo em conta a variedade energética, apresentado na Figura 7, pode-se concluir que a produção de eletricidade tem uma componente renovável muito acentuada. Isto permite que a utilização de um carro eléctrico seja muito mais eficiente em Portugal do que na média dos países da União Europeia.

Por último, a fase de fim de vida é a que menor expressão tem na análise ciclo de vida. Contudo, esta fase apresenta um papel fundamental na redução dos impactos ambientais das outras fases do ciclo de vida. Atualmente, os estudos estão focados no processo de reciclagem das baterias, quer para a sua reutilização como forma de armazenamento de fontes renováveis de energia, quer para a recuperação dos metais essenciais à produção de uma nova bateria.

2.1.6 Fator Legal

No âmbito da transição para uma mobilidade mais limpa, diversos governos têm adotado políticas de incentivos fiscais como uma ferramenta estratégica para promover a adoção da mobilidade elétrica. Como referido no fator político, quer a EU quer o governo português têm criado planos para incentivar a transição no setor dos transportes. O Parlamento Europeu aprovou oficialmente o regulamento que proibirá a venda de veículos com emissões não nulas a partir de 2035. Na prática, este regulamento vai traduzir-se na eliminação de todos os veículos a gasolina, diesel, gás, híbridos e híbridos plug-in dos concessionários.

Relativamente aos incentivos fiscais, algumas cidades europeias já aderiram à taxa de utilização de veículos a combustão, à proibição de circulação destes veículos, e ainda à isenção ou desconto no estacionamento para veículos elétricos. Em Portugal há vários incentivos fiscais associados à compra de VEs. O programa de incentivos à mobilidade elétrica nasceu em 2017 através do Fundo Ambiental do Ministério do Ambiente e da Ação Climática. Este programa tem permitido que particulares e empresas comprem carros elétricos com acesso a benefícios. A última atualização foi no dia 3 de maio de 2023, o Despacho n.º 5126/2023. O Estado promove um incentivo para a aquisição de veículos elétricos ligeiros em duas tipologias [52]:

- Tipologia 1 - veículos ligeiros de passageiros (categoria M1): Atribuição no valor de 4.000€ para pessoas singulares, pela aquisição de um veículo ligeiro de passageiros 100% elétrico novo. Não são elegíveis veículos cujo custo final de aquisição seja superior a 62 500€ (com Imposto sobre Valor Acrescentado (w) incluído e todas as despesas associadas). Este é limitado a um incentivo por candidato, sendo este candidato uma pessoa singular.
- Tipologia 2 - veículos ligeiros de mercadorias (categoria N1): Incentivo no valor de 6.000€ pela aquisição de um veículo ligeiro de mercadorias 100% elétrico novo. Este é limitado a um incentivo por candidato, sendo este candidato uma pessoa singular. No caso de ser empresa, está limitado a dois incentivos por candidato.

Neste despacho é indicado que “Entende-se por «veículo 100% elétrico novo» qualquer veículo automóvel ligeiro de passageiros, novo, exclusivamente elétrico, da categoria M1 conforme a classificação do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT), devidamente homologado, e cuja primeira aquisição e matrícula tenham sido feitas em nome do candidato após 1 de janeiro de 2023”.

A constituição de uma frota de carros elétricos tem importantes benefícios para as empresas. Além dos apoios à aquisição, há ainda um conjunto de vantagens fiscais suportadas pelo Governo [53]:

- Carros 100% elétricos para empresas, com um valor até 62.500 euros, estão isentos, de acordo com o n.º 3 do artigo 88º do Código do Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas (IRC).
- Isenção do pagamento do Imposto Único Circulação (IUC) e Imposto Sobre Veículos (ISV), tal como os veículos elétricos adquiridos por particulares.
- Dedução total do IVA na aquisição de viaturas elétricas de valor até 62.500 euros (com IVA incluído e todas as despesas associadas).
- Dedução total do IVA relacionado com o consumo de eletricidade associado ao carregamento de veículos elétricos ou híbridos.
- São aceites como gastos as depreciações das viaturas ligeiras de passageiros ou mistas 100% elétricas, na parte correspondente ao custo de aquisição ou ao valor de reavaliação, até 62.500 euros.

3 Cenário de Referência e Metodologia Proposta

3.1 Descrição do Problema

A história da Schmitt + Sohn começou em 1861. Nesse ano, Martin Schmitt fundou a empresa em Nuremberga. Hoje, a família Schmitt continua a ser o garante da fiabilidade e responsabilidade da Schmitt + Sohn. Em 1963 foi constituída a Schmitt + Sohn - Elevadores em Portugal [54]. Atualmente, a empresa conta com seis delegações ao longo do território português: em Braga, Porto, Castelo Branco, Lisboa, Faro e Coimbra. A empresa, em Portugal, engloba os processos de fabrico e desenvolvimento de elevadores, bem como equipas comerciais, equipas de manutenção técnica, equipas de montagem e equipas dedicadas a modernizar elevadores já existentes.

A empresa dispõe de uma frota automóvel composta por 264 viaturas (valor referente a dezembro de 2022). Sendo que os serviços prestados pela empresa têm como base a frota automóvel, a principal necessidade da empresa é maioritariamente energética, neste caso combustível fóssil. A despesa de combustível e a manutenção significam uma das maiores despesas da empresa. No relatório de frota de dezembro de 2022, a empresa apresentou um valor de quilómetros percorridos superior a 7,2 milhões e uma despesa correspondente superior a 730 mil euros.

A totalidade da frota automóvel é composta por viaturas de combustão interna, predominantemente a gasóleo. Perante esta situação, surgiu a necessidade de realizar o presente estudo com o propósito de reduzir em 20% a dependência de combustíveis fósseis, explorando a viabilidade da substituição por veículos movidos a combustíveis alternativos. Pretende-se alcançar uma gestão mais eficiente de recursos, a redução da pegada ecológica, bem como obter benefícios económicos e promover o investimento na atualização tecnológica da frota.

3.2 Metodologia proposta

A seleção dos critérios de avaliação dos diferentes cenários de renovação da frota teve como base a análise PESTEL, realizada no Estado da Arte, em conjunto com as preocupações e motivações da empresa.

A fiabilidade para o serviço, a manutenção, o consumo e o custo do combustível, o investimento económico e a redução dos impactos ambientais foram os critérios considerados relevantes pela empresa, uma vez que constituem indicadores fundamentais para o funcionamento e gestão sustentável da frota.

Inicialmente, foi efetuado o levantamento e tratamento dos dados relativos à frota automóvel atual. O tratamento dos dados incidiu principalmente numa eliminação de *outliers*, tendo em conta o consumo de combustível (l/100km). Por cada abastecimento, são registados os quilómetros do respetivo veículo e a quantidade de litros de combustível abastecidos. Desta forma, é possível avaliar se o registo dos quilómetros efetuado pelos colaboradores foi corretamente realizado. Foi realizado o levantamento de cada modelo das viaturas presentes na frota para encontrar o respetivo Consumo *Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure* (WLTP) tabelado pelos fabricantes. O regulamento que define os padrões WLTP, promove um processo de ensaio uniforme a nível mundial para determinar o consumo de combustível e as emissões de gases de escape [55]. Todos os veículos que apresentavam erros significativos no consumo de combustível foram eliminados, permitindo minimizar os erros do cálculo de quilómetros percorridos num ano.

Após a eliminação de *outliers*, foi realizada a análise energética, ambiental e económica da frota atual.

Uma vez que, após a eliminação de *outliers*, a frota detém mais de 220 viaturas, foram traçados perfis de utilização com o objetivo de segmentar a frota. A segmentação teve como critério técnico a área de negócio em que a viatura estava a ser utilizada na empresa e como critério energético o consumo de combustível e distância percorrida diariamente.

Tal como na análise da frota, também na análise das soluções foram segmentados Perfis de Solução. Os perfis de Solução são caracterizados através da capacidade total da bateria (kWh), do consumo WLTP (kWh/100 km), da autonomia (km), do preço por quilómetro de autonomia (€/km) e do preço com e sem IVA (€).

A nível ambiental, será feito o estudo relativo à emissão de CO₂ no consumo do combustível durante a fase de utilização do ciclo de vida do veículo, e um estudo relativo às toneladas equivalentes de petróleo (TEP).

A nível económico, será realizada a análise de investimento, tendo em conta o TCO, uma vez que é uma forma justa de comparar os custos de propriedade e operação de um veículo durante um período. Desta forma, serão analisadas informações sobre os custos de aquisição, os custos

contínuos (como abastecimento/carregamento e manutenção) e, ainda, sobre a distância de utilização.

Para realizar uma melhor comparação entre a atual frota e os novos cenários, será ainda considerada a preocupação da empresa em acompanhar as motivações governamentais e os incentivos fiscais.

3.3 Cenário de Referência

Como referido anteriormente, em dezembro de 2022, a empresa contava com uma frota de 264 viaturas movidas a combustível fóssil, representando a maior despesa económica e a maior fonte de poluição da empresa.

Quanto à questão económica, a empresa tem vindo a registar um aumento da despesa relativa ao consumo de combustível. Este aumento deve-se à subida significativa do preço do combustível e ao aumento do consumo geral de combustível. No ano de 2020, o preço médio era de 1,09 €/litro, enquanto em 2022 o preço médio foi de 1,59 €/litro. Na figura 20, é possível observar essa ascensão no período entre 2020 e 2022.

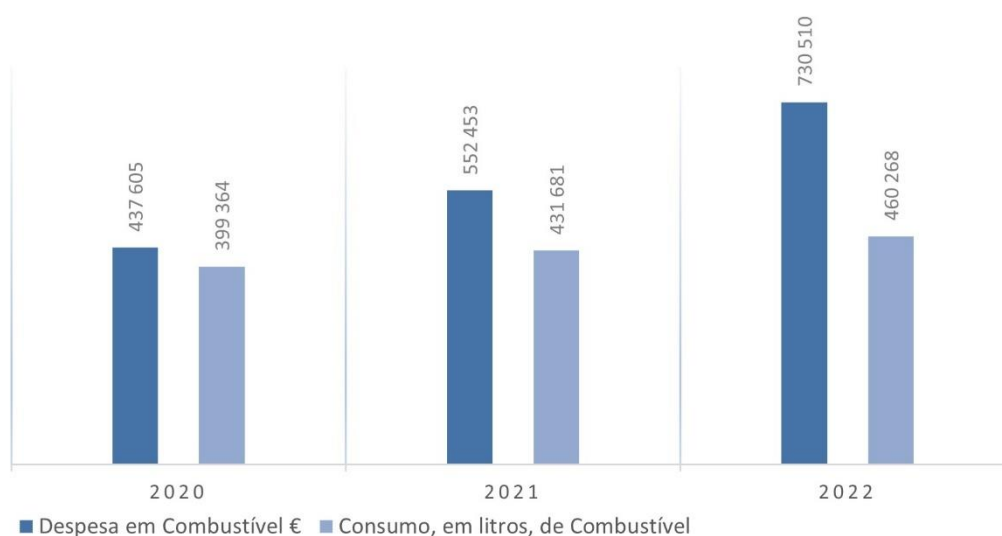


Figura 19 Consumo e Despesa relativa ao Combustível (2020-2022)

Às viaturas está associado um custo de utilização, o TCO. Relativamente ao período entre 2020 e 2022, a empresa teve uma despesa média de 1 148 584 €. Neste montante estão compreendidos os custos relativos ao combustível, reparação, impostos, portagens e seguro. As despesas relativas ao combustível e reparação representam cerca de 75 % da despesa total da frota. Na figura 21, estão representados os valores relativos a esses custos durante o período entre 2020 e 2022.

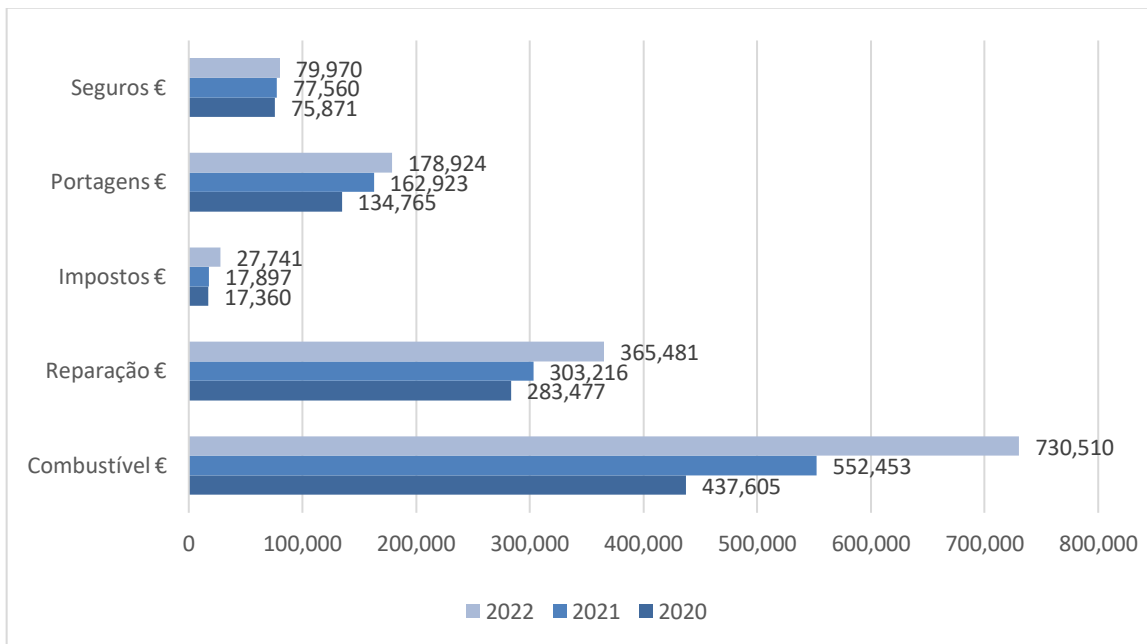


Figura 20 Despesa Segmentada da Frota (2020-2022)

Perante esta situação, e tendo em conta a constante procura por uma gestão de melhoria contínua por parte da empresa, tornou-se evidente a disponibilidade existente para investimento na atualização da frota automóvel.

A primeira abordagem foi realizar uma eliminação de *outliers*, como descrito anteriormente, com o objetivo de minimizar o erro do tratamento dos dados. Para tal, foi levantado o modelo específico de cada viatura da frota e sua motorização (Tabela 2), bem como o respetivo consumo indicado pelo fabricante.

Tabela 2 Modelos Específicos da Frota

Data de Aquisição	Ano de Aquisição (Primeiro Modelo)	Modelo Específico	Consumo Tabelado WLTP Combinado (l/100km)
01/01/2000	2000	OPEL Corsa B Van 1.7D 60 cv / 44 kW	5,2
01/01/2004	2004	Opel Combo C Van 1.7D 16V 65 cv / 48 kW	5,4
01/01/2004	2004	AUDI A3 1.9 TDI 130 cv / 96 kW	5,1
01/01/2006	2006	Opel Corsa C 1.3 CDTI 70 cv / 51 kW	4,4
01/01/2006	2006	OPEL Astra H Van (A04) 1.3 CDTI 90 cv / 66 kW	4,8
25/03/2009	2009	Opel Combo Van C 1.3 CDTI 69 cv / 51 kW	5,4
26/08/2009	2009	Peugeot Partner II Van 1.6 HDi 90 cv / 66 kW	5,8
31/03/2010	2010	Peugeot 206+ Hatchback 1.4 HDi 68 cv / 50 kW	4,0
30/04/2010	2010	Peugeot Partner II Van 1.6 HDi 16V Diesel 90 cv	5,8
30/12/2010	2010	Peugeot 206 Van 1.4 HDi 68 cv / 50 kW	4,0
30/11/2011	2011	Peugeot Boxer Van 2.2 HDi 101 cv / 74 kW	7,5
31/05/2013	2013	TOYOTA Dyna 3.0 D4d 144 cv / 106 kW	9,4
09/07/2013	2013	Peugeot Boxer Van 2.2 HDi 131 cv / 96 kW	7,4
31/10/2013	2013	Peugeot 207 SW 1.6 HDi 92 cv / 68 kW	4,4
30/06/2014	2014	Peugeot 508 I SW 1.6 HDi 115 cv / 84 kW	4,8
18/12/2014	2014	Peugeot 308 II SW 1.6 HDi 92 cv / 68 kW	3,8
29/12/2014	2014	Peugeot 308 II SW 1.6 HDi/BlueHDi 115 cv / 85 kW	3,8
03/03/2015	2015	Peugeot Expert II Tepee 2.0 HDi 98 cv / 72 kW	6,5
18/05/2015	2015	Peugeot 508 I SW 1.6 BlueHDi 120 cv / 88 kW	4,0
09/07/2015	2015	Peugeot 308 II SW 1.6 BlueHDi 99 cv / 73 kW	3,5
14/08/2018	2018	Peugeot Boxer CS 2.0 BlueHDi 130 cv / 96 kW	7,5
21/10/2019	2019	Peugeot Partner II Van 1.6 BlueHDi 100 cv / 73 kW	4,2
30/11/2019	2019	Peugeot 508 II SW 1.5 BlueHDi 131 cv / 96 kW	4,0
31/12/2019	2019	Peugeot 308 II SW 1.5 BlueHDi Diesel 102 cv / 75 kW	3,7
31/07/2021	2021	Opel Vivaro B Van 1.6 CDTI 146 cv / 107 kW	6,2
31/12/2021	2021	Peugeot Partner III K9 1.5 BlueHDi 102 cv / 75 kW	5,7
08/08/2022	2022	Peugeot 308 III SW BlueHDi 131 cv / 96 kW	3,8

Após o levantamento do Consumo Tabelado WLTP Combinado, expresso em litros em cada 100 km, procedeu-se à eliminação dos *outliers* através do seguinte critério:

$$\text{Consumo tabelado} < \text{Consumo Real} < 170\% \times \text{Consumo Tabelado} \quad (1)$$

Após a eliminação dos *outliers*, a frota foi organizada por área de negócio. Assim, estabeleceram-se três categorias: Serviço, Montagem e Modernização (SMM); Sede; Fábrica e Logística.

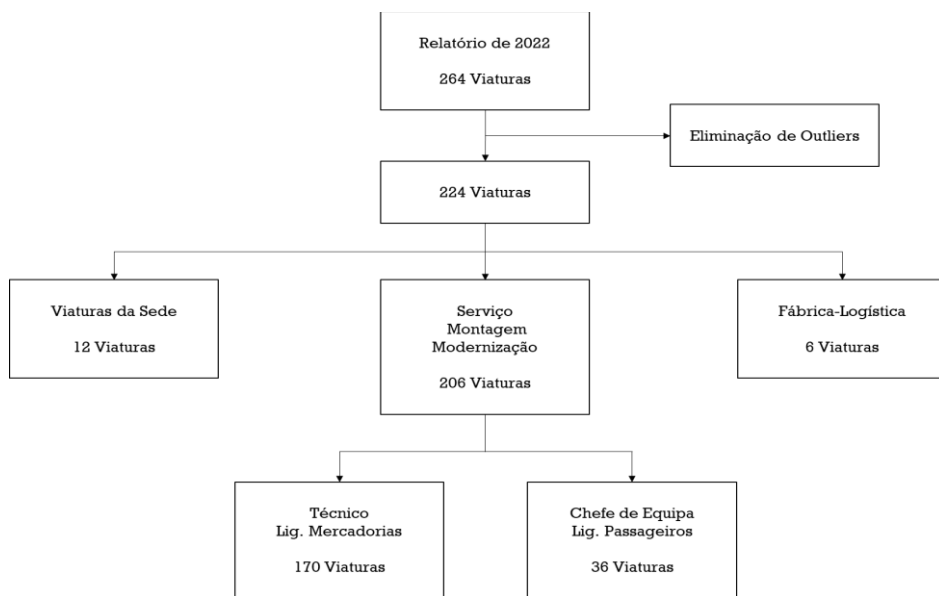


Figura 21 Organização da Frota por Área de Negócio

Na categoria SMM existem duas tipologias de viaturas, tendo sido realizada a sua distinção. Os técnicos da Schmitt têm associado à sua função uma viatura ligeira de mercadorias (LM). Aos chefes de equipa foram atribuídas viaturas ligeiras de passageiros (LP), à semelhança das viaturas de Sede. As viaturas de Fábrica logística não foram consideradas no estudo. A figura 23, representa a distância percorrida anualmente, mediante da função do colaborador.

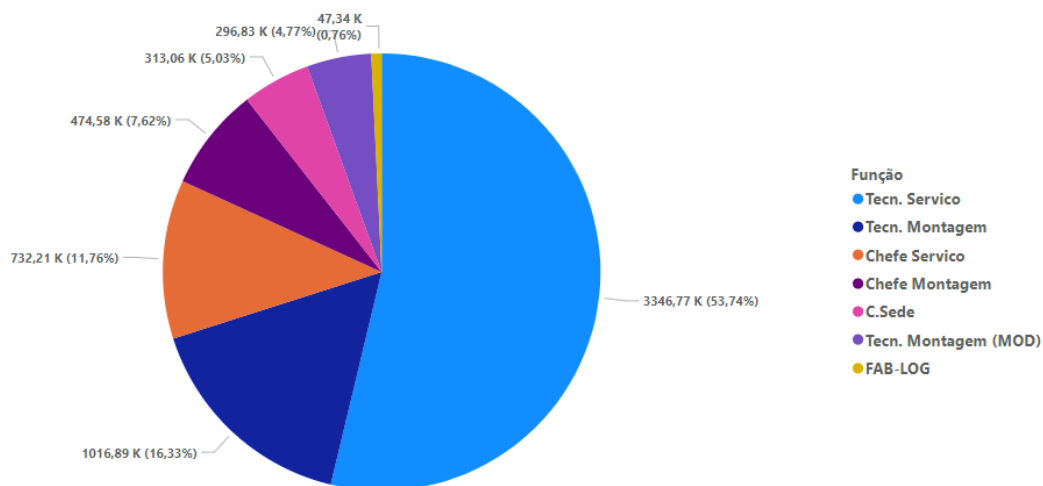


Figura 22 Distância Percorrida por Função na Schmitt-Elevadores

O principal critério de segmentação da frota e de criação dos perfis de utilização foi a função do colaborador. Cada função tem as suas responsabilidades e, conseqüentemente, as suas rotas e necessidades específicas de mobilidade.

De seguida, considerou-se a distância percorrida diariamente por cada colaborador, obtida através da divisão da distância total percorrida anualmente pelos dias úteis do ano. Para comprovar que os valores teriam o menor erro possível, foram levantados os dados inseridos pelos colaboradores diariamente, verificando-se que a distância obtida matematicamente representava, com uma percentagem de erro insignificante, a realidade de cada colaborador. Este é um importante parâmetro de avaliação no processo de eletrificação de uma frota, uma vez que a autonomia da solução elétrica deverá atender às necessidades dos colaboradores.

Por fim, foram analisadas as despesas relativas às portagens. Através desse valor, podem ser distinguidas um percurso de cidade e um percurso misto. A relevância desta análise prende-se com o facto de o perfil de consumo do veículo elétrico variar consoante o tipo de percurso realizado.

Na sequência, após o tratamento de dados foram inseridos no software Power Bi, que permite a geração de relatórios dinâmicos e painéis chamados de “dashboards”. Através do seguinte software, foi possível a caracterização dos perfis através de filtros, assim como é demonstrado na figura seguinte.

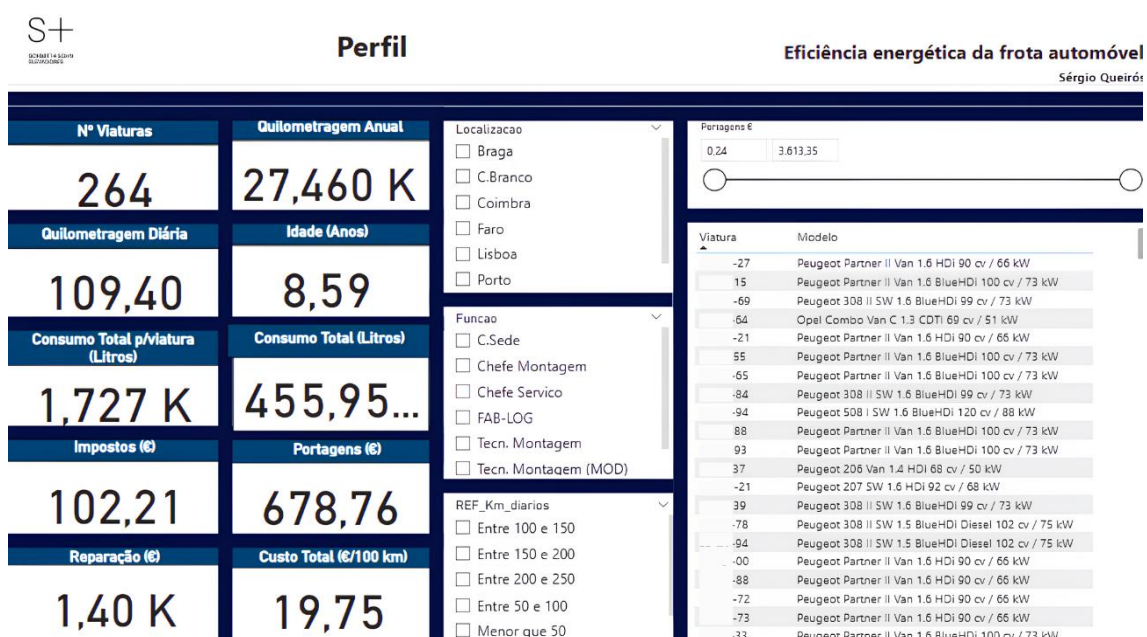


Figura 23 Dashboard "Definição do Perfil"

A dashboard, além de permitir definir cada característica do perfil, possibilita visualizar as viaturas que correspondem ao perfil e ainda aplicar o filtro de localização.

A Tabela 3 representa os perfis criados relativos às viaturas ligeiras de mercadorias e ligeiras de passageiros.

Tabela 3 Perfis de Utilização

Distância Percorrida Diária Média por Viatura (km)	Perfil de Utilização
<100	LM_A
	LM_B
100-150	LM_C
	LM_D
150-200	LM_E
	LM_F
>250	LM_G
	LM_H
<100	LP_A
	LP_B
100-150	LP_C
	LP_D
150-200	LP_E
	LP_F
>250	LP_H
	LP_G

O que distingue os perfis dentro da mesma gama de distância percorrida diariamente é o valor gasto em portagens. Por exemplo, se os perfis LM_A e LM_B têm uma média de 500 € gastos em portagens, isso significa que os colaboradores do perfil LM_A gastam menos de 500 € em portagens e, conseqüentemente, LM_B mais que 500 €.

Cada Perfil de Utilização é caracterizado pelos seguintes indicadores (Anexo A):

- Quantidade de Viaturas
- Distância Percorrida Anual do Perfil (km)
- Distância Percorrida Anual Média por Viatura (km)
- Distância Percorrida Diária Média por Viatura (km)
- Idade Média do Perfil (Anos)
- Combustível (Litros)
- Combustível Total do Perfil (Litros)
- Consumo de Combustível Médio (l/100km)
- Portagens (€)

- Impostos (€)
- Reparação (€)
- Custo 100 km (€)
- Contribuição no Consumo de Combustível (p/viatura)
- Contribuição no Consumo de Combustível (Perfil)

O impacto ambiental foi calculado com base no consumo de combustível pelas viaturas da frota e no consumo de energia elétrica pelos veículos elétricos, uma vez que a comparação direta durante a fase de utilização seria injusta, dado que os veículos elétricos apresentam emissões nulas.

Relativamente à frota de referência, na tabela 4 estão os dados relativos ao ano de 2020 a 2022, em que,

$$\text{toneladas } CO_2 \text{ equivalente (diesel)} = \text{Consumo (litros)} \times \frac{2,68}{1000} \quad (2)$$

e,

$$\text{tep (diesel)} = \text{Consumo (litros)} \times \frac{1,01}{1000} \quad (3)$$

Tabela 4 Indicadores Ambientais da Frota (2020-2022)

Indicadores	2020	2021	2022
Consumo (Litros)	399363,80	431681,05	460268,00
Toneladas CO₂ eq	1 070,29	1 156,91	1 233,52
Tep/ano	403,36	435,00	464,87

4 Cenário Objetivo

O objetivo principal do estágio foi propor uma solução que reduzisse em 20% o consumo de combustível fóssil na empresa, através da substituição das viaturas atuais por viaturas de tecnologia elétrica.

Para efetuar essa substituição foi necessário realizar um levantamento das soluções disponíveis no mercado (Anexo B). Tal como ocorreu com os perfis de utilização, as soluções também foram segmentadas em "Soluções Tipo", algumas com base no valor do investimento e outras conforme a preferência de fabricante da empresa.

Os Perfis de Solução são caracterizados pelos seguintes indicadores:

- Modelo Específico
- Capacidade total da bateria (kWh)
- Consumo (kWh/100km)
- Autonomia (km)
- Preço por Quilometro de Autonomia (€/km)
- Preço s/ IVA (€)
- Preço c/ IVA (€)

Como representado na Tabela 5, todos os perfis de solução têm valores associados a todos os indicadores acima mencionados.

Tabela 5 Perfis de Solução

Perfil de Solução	Capacidade total da bateria (kWh)	Consumo (kWh/100km)	Autonomia (km)	Preço Autonomia (€/km)	Preço s/IVA (€)	Preço c/IVA (€)
Solução Tipo Lig. Mercadorias	44,58	17,86	280,40	124,68 €	26 919,11	34 959,89
Solução Peugeot Lig. Mercadorias	50,00	17,70	346,00	80,76 €	27 944,07	36 291,00
Solução AMI	5,50	11,70	75,00	106,53 €	6 152,30 €	7 990,00
Solução Tipo 1	22,63	13,43	250,00	68,72 €	16 955,40	22 020,00
Solução Tipo 2	48,73	17,10	336,67	70,37 €	23 683,40	30 757,67
Solução Tipo 3	58,20	19,86	412,80	73,50 €	29 770,36	38 662,80
Solução Tipo 4	63,57	16,30	459,67	77,75 €	35 681,53	46 339,65
Solução Peugeot Lig. Passageiros	52,00	15,30	383,00	80,17 €	30 631,56	39 781,25
Solução Tesla Model 3	75,00	22,20	513,00	60,04 €	30 799,23	39 999,00

4.1 Calculadora de Cenário

Tendo em conta a criação de vários perfis de utilização e de solução, tornou-se essencial desenvolver uma calculadora que simulasse todos os cenários possíveis de forma automática. Por outras palavras, foi preciso correlacionar todos os perfis de utilização com todos os perfis de solução, independentemente da tipologia da viatura.

Os *softwares* utilizados nesta fase, foram o Microsoft Excel e o Microsoft Visual Basic. Este último, foi utilizado com o objetivo de automatizar a fase de correlação entre os perfis de utilização e de solução.

A calculadora tem como objetivo calcular os valores energéticos, económicos e ambientais e as respetivas poupanças. Deste modo, a calculadora está dividida pelos seguintes pontos:

- Calculadora dos Indicadores energéticos: levantamento dos dados relativos ao Perfil de Utilizador e cálculo da necessidade energética do respetivo Perfil de Solução.
- Calculadora da poupança económica relativa ao gasto energético e despesa em manutenção.
- Calculadora relativa à poupança ambiental dada em toneladas CO₂ equivalentes e em TEP, utilizando os dados relativos ao gasto energético, quer do perfil do veículo a combustão, quer do perfil de solução.
- Calculadora dos Indicadores Financeiros (TIR, VAL, *Payback*, *Cash-Flow*, *Cash-Flow Acumulado*) com e sem os incentivos fiscais, através das poupanças associadas à mudança de paradigma.

A primeira calculadora apresentada na página Excel é a calculadora energética. A seguinte tabela retrata os indicadores retirados dos perfis definidos, que irão ser utilizados no cálculo.

Tabela 6 Indicadores dos Perfis para a Calculadora Energética

Perfil de Utilizador	
Perfil de Utilizador	LP_G
Distância Percorrida Diariamente	226 km
Distância Percorrida Anualmente	56 749 km
IUC anual (Veículo Combustão)	147,21 €
Consumo Médio	5,53 L/100 km
Consumo de Combustível	3 139,00 L
Contribuição no Consumo de Combustível (Perfil)	0,79 %
Contribuição no Consumo de Combustível (p/ viatura)	0,79 %
Gasto Anual em Reparação	1480,00 €
Perfil de Solução	
Perfil de Solução	Solução Tesla Model 3
Intervalo de Preço do Perfil de Solução	(40 000€-45 000€)
Capacidade total da bateria	75,0 kWh
Consumo WLTP (misto) médio do Perfil	22,2 kWh/100km
Consumo de Eletricidade	12598,3 kWh
Autonomia	513 km
Percentagem de Utilização da Autonomia	44,07 %
Preço por Quilometro de Autonomia	60,04 €/km
Reparação Veículo Elétrico	350,00 €
Preço c/IVA	39999,00 €
Preço s/IVA	30799,23 €

O valor relativo à reparação do veículo elétrico teve como o exemplo o valor que os utilizadores atribuem ao Tesla Model 3.

O Consumo de Eletricidade é calculado através da seguinte expressão:

$$\frac{\text{Consumo WLTP médio} \left(\frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \right)}{100} \times \text{Distância Percorrida Anualmente} \quad (4)$$

Assim, estão reunidos todos os indicadores necessários para a Calculadora de Poupança Energética e Despesa em Manutenção. Para o cálculo monetário foram definidos os seguintes preços:

- 1,60 €/litro, para o caso do combustível fóssil (gasóleo), valor médio praticado em Portugal no ano do relatório (2022).
- No caso do preço do kWh, os preços têm como referência os dados fornecidos pela Associação de Utilizadores de Veículos Elétricos (Figura 24) [[56]].



Figura 24 Preços médios de Carregamento (Abril de 2024)[56]

Deste modo, o valor utilizado é de 0,215 €/kWh. Este corresponde à Tarifa de Carregamento Típico, que contempla 75 % do carregamento em casa (Tarifa Bi-Horária) e 25 % do carregamento numa estação pública à potência normal.

Na tabela seguinte está representada a Calculadora de Poupança Energética e Despesa em Manutenção.

Tabela 7 Calculadora de Poupança Energética e Despesa em Manutenção

Perfil		Calculadora de Poupança Energética e Despesa em Manutenção	
Perfil de Utilizador	Preço médio do Combustível	1,60	€
	Gasto anual em Combustível	5 022,40	€
Perfil de Solução	Tarifa Carregamento (Típico - 75% Doméstico (Tarifa Bi-Horária+ 25% Carregamento Público)	0,215	€/kWh
	Gasto anual em Eletricidade	2 708,63	€
Poupança (Energética e Despesa em Manutenção)	Poupança Energética	2313,77	€
	Poupança Despesa de Manutenção Anual	1130,00	€

No que diz respeito às poupanças associadas aos indicadores ambientais, foi construída uma calculadora ambiental, como está demonstrado na tabela 8.

Tabela 8 Calculadora Ambiental

Perfil		Calculadora Ambiental	
Perfil de Utilizador	Total Energético	3139,00	l
	Toneladas CO ₂ eq	8,41	ton
	Tep/ano	3,17	tep
Perfil de Solução	Total Energético	12598,278	kWh
	Toneladas CO ₂ eq	5,54	ton
	Tep/ano	2,71	tep
Poupança Ambiental	Toneladas CO ₂ eq	2,87	ton
	Tep/ano	0,46	tep

Por fim, são calculados os indicadores financeiros. Foi feita a decisão de calcular estes indicadores com e sem incentivos fiscais, tendo em conta a instabilidade política e possíveis alterações. Caso a solução utilizada seja da tipologia ligeiros de mercadorias, não serão aplicadas as vantagens dos incentivos fiscais, uma vez que essa tipologia, no caso das empresas, tem as mesmas vantagens independentemente do seu combustível.

O *Cash-Flow* inicial é a diferença entre a aquisição entre um veículo de combustão interna equivalente ao cenário de solução. O valor do veículo de combustão interna varia mediante o valor do cenário de solução.

- **Sem Incentivos Fiscais**

No caso em que não se aplicam os incentivos fiscais, os resultados dos indicadores financeiros são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Indicadores Financeiros sem Incentivos Fiscais

Indicadores Financeiros s/ Incentivos Fiscais					
Investimento	39 999,00 €		TIR	13,42%	
IVA	9 199,77 €		Payback	5,81	Anos
Total	30 799,23 €		VAL	8 370,79 €	
Cash-Flow inicial (Preço VCI-VE)	-19 999,00 €		Cash-Flow Acumulado (6 Anos)	663,62 €	
Ano	Poupança Energética Anual	Poupança Manutenção Anual	Poupança em Incentivos Fiscais	Cash-Flow	Cash-Flow Acumulado
0				-19 999,00 €	-19 999,00 €
1	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	-16 555,23 €
2	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	-13 111,46 €
3	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	-9 667,69 €
4	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	-6 223,92 €
5	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	-2 780,15 €
6	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	663,62 €
7	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	4 107,39 €
8	2 313,77 €	1 130,00 €	0,00 €	3 443,77 €	7 551,16 €

- **Com Incentivos Fiscais**

No caso das soluções que permitem aplicabilidade dos incentivos fiscais, é necessário começar por calcular as poupanças inerentes. A Tabela 10 apresenta a calculadora relativa à poupança em IVA, tributação autónoma e em IRC.

Tabela 10 Calculadora Poupança relativa aos Incentivos Fiscais

Perfil		Calculadora Poupança (TA, Depreciação)
Perfil de Utilizador (Veículo Diesel)	IVA Dedutível	0,00 €
	Tributação Autónoma	2 516,96 €
	Depreciação (abate ao lucro da empresa (valor aceite fiscalmente))	4 046,12 €
	Gasto anual em IUC	147,21 €
Perfil de Solução	IVA Dedutível	9199,770 €
	Tributação Autónoma	0,00 €
	Depreciação (abate ao lucro da empresa (valor aceite fiscalmente))	7 036,65 €
	IUC anual (Veículo Elétrico)	0,00 €
Poupança (TA, Depreciação)	Poupança em Tributação Autónoma	2516,96 €
	Vantagem em Depreciação (1º até ao 4º ano)	2990,53€

Este cálculo baseia-se na comparação entre um veículo elétrico e a solução equivalente com motor de combustão. Assim, os cálculos efetuados são os seguintes:

- **Tributação Autónoma (Veículo Combustão)**

$$TA = (10 \% \text{ Valor da Viatura}) + (10 \% \text{ Valor gasto em Combustível}) + (10 \% \text{ IUC}) \quad (5)$$

- **Depreciação (abate ao lucro da empresa - valor aceite fiscalmente)**

$$\text{Depreciação} = 21 \% (\text{Valor da Viatura} - 23 \% \text{ Valor da Viatura}) + 21 \% (\text{Valor gasto em Combustível} - 23 \% \text{ Valor gasto em Combustível}) \quad (6)$$

No caso dos VCI, os valores relativos à Depreciação estão limitados a 25 000 € enquanto os VE podem chegar aos 62 500 € (+IVA), tornando-se assim uma vantagem no abate à carga fiscal sobre o lucro da empresa.

Após o cálculo das poupanças relativas aos benefícios fiscais, a Tabela 11 apresenta os indicadores financeiros, agora incluindo as poupanças decorrentes desses benefícios.

Tabela 11 Indicadores Financeiros com Incentivos Fiscais

Indicadores Financeiros c/ Incentivos Fiscais (Apenas Soluções Lig. Passageiros)					Aplicável
Investimento	39 999,00 €		TIR	33,75%	
IVA	9 199,77 €		Payback	2,17 Anos	
Total Cash-Flow inicial (Preço VCI-VE)	30 799,23 €		VAL Cash-Flow Acumulado (6 Anos)	22 223,82 €	
	-19 999,00 €			16 254,14€	
Ano	Poupança Energética Anual	Poupança Manutenção Anual	Poupança em Incentivos Fiscais	Cash-Flow	Cash-Flow Acumulado
0				-19 999,00 €	-19 999,00 €
1	2 313,77 €	1 130,00 €	10 723,85 €	14 167,62 €	-5 831,38€
2	2 313,77 €	1 130,00 €	1 524,08 €	4 967,85 €	-863,52 €
3	2 313,77 €	1 130,00 €	1 524,08 €	4 967,85 €	4 104,33€
4	2 313,77 €	1 130,00 €	1 524,08 €	4 967,85 €	9 072,18 €
5	2 313,77 €	1 130,00 €	147,21 €	3 590,98 €	12 663, 16€
6	2 313,77 €	1 130,00 €	147,21 €	3 590,98 €	16 254,14 €
7	2 313,77 €	1 130,00 €	147,21 €	3 590,98 €	19 845,12 €
8	2 313,77 €	1 130,00 €	147,21 €	3 590,98 €	23 436,10 €

Neste ponto, teríamos todas as ferramentas para calcularmos os indicadores relativos à correlação entre todos os perfis de utilização e de solução. No entanto, para efeitos de simulação, e para posterior análise, seria demasiado complexa e demorada essa correlação. Assim, foi desenvolvido o seguinte código para ser utilizado no Visual Basic:

```

Sub extracaodosvaloresfinal4()
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim linha As Integer

    linha = 3' Linha inicial

    ' Loop através de cada Perfil de Utilização
    For i = 1 To 16

```

```

' Loop através de cada Perfil de Solução
For j = 1 To 8

    ' Escreve o nome de cada Perfil de Utilização na célula F4

    Range("F4").Value = Cells(i, 20).Value

    ' Escreve o nome de cada Perfil de Solução na célula M4
    Range("M4").Value = Cells(j, 22).Value

    ' Contribuicao
    peso_perfil = Range("F10").Value
    peso_viatura = Range("F11").Value
    perc_autonomia = Range("M10").Value

    ' Copia os resultados da Calculadora Financeira sem Beneficios
    Fiscais
    sem_TIR = Range("F32").Value
    sem_payback = Range("F33").Value
    sem_VAL = Range("F34").Value
    sem_CF5anos = Range("F35").Value

    ' Copia os resultados da Calculadora Financeira Com
    Beneficios Fiscais

    aplicavel = Range("O31").Value

    com_TIR = Range("N32").Value
    com_payback = Range("N33").Value
    com_VAL = Range("N34").Value
    com_CF5anos = Range("N35").Value

    ' Copia os resultados da Calculadora Ambiental

    ton_co2_eq = Range("G61").Value
    tep_ano = Range("G62").Value

    ' Escreve o nome de cada Perfil de Utilização na coluna X

    Cells(linha, 24).Value = Cells(i, 20).Value

    ' Escreve o nome de cada Perfil de Solução na coluna Y

    Cells(linha, 25).Value = Cells(j, 22).Value

    Application.Wait (Now + TimeValue("0:00:01"))

    ' Escreve os resultados por colunas

    Cells(linha, 26).Value = peso_perfil
    Cells(linha, 27).Value = peso_viatura
    Cells(linha, 28).Value = perc_autonomia

    Cells(linha, 29).Value = sem_TIR
    Cells(linha, 30).Value = sem_payback

```

```

Cells(linha, 31).Value = sem_VAL
Cells(linha, 32).Value = sem_CF5anos

Cells(linha, 33).Value = aplicavel

Cells(linha, 34).Value = com_TIR
Cells(linha, 35).Value = com_payback
Cells(linha, 36).Value = com_VAL
Cells(linha, 37).Value = com_CF5anos

Cells(linha, 38).Value = ton_co2_eq
Cells(linha, 39).Value = tep_ano

' Avança para a próxima linha
linha = linha + 1
Next j
Next i
End SubX

```

4.2 Cenário Objetivo

Após a análise de todas as correlações entre os perfis de utilização e de solução, e considerando as preferências da empresa, foi criado um cenário (Anexo C) que cumpria todos os requisitos do estágio. Propôs-se uma solução de tecnologia alternativa que reduzisse em 20% o consumo de combustível fóssil. Na tabela seguinte, é apresentada a substituição sugerida.

Tabela 12 Cenário Objetivo

Perfil de Utilização	Perfil de Solução	Quantidade	Contribuição no Consumo de Combustível (Perfil)
LM_G	Solução Peugeot Lig. Mercadorias	3	2,73%
LM_H	Solução Peugeot Lig. Mercadorias	2	1,76%
LP_F	Solução Peugeot Lig. Passageiros	5	2,97%
LP_D	Solução Peugeot Lig. Passageiros	8	3,71%
LP_E	Solução Peugeot Lig. Passageiros	4	2,15%
LP_G	Solução Peugeot Lig. Passageiros	1	0,79%
LM_E	Solução Peugeot Lig. Mercadorias	12	8,24%

Esta solução inclui apenas perfis que cumprem o requisito de possuir uma autonomia superior a 35% da distância percorrida diariamente. A quantidade de viaturas apresentada corresponde ao número de veículos necessários para cada Perfil de Utilização, que neste caso significa a totalidade de cada Perfil de Utilização. Quando finalizada a substituição, este cenário irá

suprimir 22,36% do consumo de combustível da empresa, tendo em conta os dados fornecidos pela entidade.

Apesar de o investimento representar cerca de 1 027 000 €, os indicadores financeiros confirmam a viabilidade deste investimento, constituindo uma motivação adicional para avançar com a eletrificação da frota.

Tabela 13 Indicadores Financeiros do Cenário Objetivo

Indicadores Financeiros c/ Incentivos Fiscais					
Perfil de Utilização	Aplicabilidade dos Inc. Fiscais	TIR	Payback (Anos)	VAL	Cash-Flow Acumulado (6 Anos)
LM_G	Não Aplicável	33,43%	2,90	87 318,63 €	52 343,64 €
LM_H	Não Aplicável	31,16%	3,09	52 794,68 €	30 785,86 €
LP_F	Aplicável	47,50%	1,57	184 915,30 €	137 048,00 €
LP_D	Aplicável	40,90%	1,82	236 722,48 €	174 329,44 €
LP_E	Aplicável	40,31%	1,85	115 684,32 €	85 184,28 €
LP_G	Aplicável	40,26%	1,85	28 870,02 €	21 261,04 €
LM_E	Não Aplicável	22,52%	4,05	197 154,00 €	93 975,60 €

No que concerne a questão ambiental, o cenário promove uma poupança de cerca 37,84 toneladas equivalentes de petróleo e 131,66 toneladas de CO₂ equivalente.

Tabela 14 Poupança Ambiental do Cenário Objetivo

Poupança Ambiental		
Perfil de Utilização	Toneladas CO₂ eq	Tep/ano
LM_G	16,37	4,76
LM_H	10,04	2,82
LP_F	17,01	4,79
LP_D	22,19	6,44
LP_E	11,81	3,22
LP_G	4,59	1,30
LM_E	49,65	14,50

4.3 Fase Operacional do Cenário Objetivo

Nesta secção será abordada a fase operacional da eletrificação da frota. A transição para uma frota eletrificada exige uma análise cuidada e a criação de uma infraestrutura que suporte as necessidades diárias dos veículos elétricos. A instalação de pontos de carregamento na empresa e em locais externos foi analisada, bem como as diferentes tecnologias de carregamento

disponíveis. A operacionalização da frota elétrica acarreta desafios e, como tal, terá de ser dada a resposta assegurando os objetivos de sustentabilidade e eficiência operacional.

4.3.1 Carregamento no domicílio dos colaboradores

Uma boa parte dos colaboradores não frequentam as delegações diariamente, ou seja, o seu local de carregamento terá de ser na sua residência. Essa implementação envolve a análise de requisitos técnicos e de obstáculos à sua instalação.

Nesta fase inicial da operação, é necessário iniciar o inquérito aos colaboradores, de modo a obter informações acerca da sua residência. É importante perceber se residem em condomínio ou em residência individual, e obter informações técnicas sobre a instalação elétrica da sua habitação ou dos serviços comuns.

O carregamento dos veículos envolve longas sessões de carga, não sendo aconselhado o uso de tomadas convencionais. Deste modo, torna-se obrigatória a instalação de um posto de carregamento na habitação dos colaboradores, o que requer a instalação dos respetivos equipamentos de proteção no quadro elétrico e a passagem do cabo de alimentação entre o quadro elétrico e o carregador.

Quanto às informações técnicas sobre a instalação elétrica, é fundamental saber se a instalação é monofásica ou trifásica. Em seguida, deve-se analisar a potência contratada e levantar os consumos domésticos. Esta análise serve para garantir que o consumo doméstico da habitação do colaborador não seja afetado pela instalação da *Wallbox*. Assim, a potência disponível deverá ser superior à potência escolhida para o carregador (Tabela 15).

Tabela 15 Relação entre a potência da *Wallbox* e da Potência Contratada

Tipo de <i>Wallbox</i>	Potência Contratada
<i>Wallbox</i> de 3,7 kW	4,60 kVA monofásico no mínimo
<i>Wallbox</i> de 7,4 kW	10,35 kVA monofásico, no mínimo
<i>Wallbox</i> de 11 kW	13,80 kVA trifásico, no mínimo
<i>Wallbox</i> de 22 kW	27,60 kVA trifásico, no mínimo

O custo do kWh depende do fornecedor de energia, do tipo de contrato, da fonte de energia e de serviços adicionais contratados. Ao selecionar um fornecedor de energia, é igualmente importante escolher um plano específico e o tipo de tarifa.

Existem três tipos de tarifas [57]:

- **Tarifa simples:** o preço do kWh é constante ao longo do dia.
- **Tarifa bi-horária:** o preço do kWh varia de acordo com a hora do dia ou até mesmo com a época do ano. Pode-se optar por um ciclo diário ou semanal. Durante as horas de vazio, o preço do kWh é mais baixo, e nas horas fora de vazio é mais alto.

- **Tarifa tri-horária:** o preço do kWh também depende da hora do dia, oferecendo a escolha entre ciclos semanais e diários, com três períodos distintos: ponta, cheias e vazio.

Uma vez que se trata de uma frota empresarial, os fornecedores de energia disponibilizam um contador e cartão frota para facilitar a gestão de custos associados aos veículos. Estes custos serão suportados pela empresa.

Tendo em conta o perfil de carregamento dos colaboradores, a tarifa bi-horária revela-se a oferta mais atrativa para carregar um carro em casa a um custo mais reduzido. Isto deve-se ao facto de a eletricidade ser normalmente mais barata durante o período noturno, permitindo uma economia significativa.

4.3.2 Carregamento na Delegação

O estudo sobre a implementação de estações de carregamento dos veículos nas delegações da empresa incide principalmente sobre os requisitos e questões técnicas da Delegação/Sede do Porto, uma vez que foi o local onde decorreu o estágio. O processo de instalação requer avaliação da infraestrutura existente, que terá de suportar as necessidades energéticas das novas estações de carregamento.

No polo “Schmitt 1”, onde irão ser instaladas as estações de carregamento, para além da alimentação da rede realizada através de um posto de transformação de 100 kVA, existe uma fonte de energia renovável, um sistema fotovoltaico de 100 kWp.

A análise dos dados relativos aos consumos do polo, através do portal dos inversores do sistema fotovoltaico (Sunny Portal), possibilitou o levantamento do consumo da fração da empresa e a geração de energia fotovoltaica no polo.

Uma vez que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico não é constante, devido à sua dependência direta da radiação solar, foi necessário analisar os dados de produção. Para tal, foram recolhidos dados em intervalos de 15 minutos ao longo de duas semanas representativas de meses distintos, uma em fevereiro e outra em maio. Esta análise permitiu compreender as variações sazonais na geração de energia e a influência das condições meteorológicas específicas de cada período. Ao comparar estes dados, conseguimos identificar padrões e previsibilidades na produção fotovoltaica, sendo essencial para otimizar o uso da energia gerada e garantir uma gestão eficiente do consumo energético entre o sistema fotovoltaico e energia proveniente do posto de transformação.

As figuras seguintes apresentam os gráficos de fluxo de energia no polo 1, como especificado acima. A tabela é um resumo desta análise e comparação.

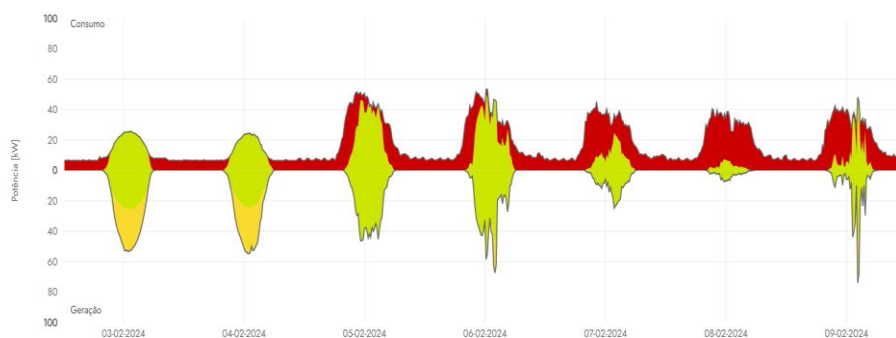


Figura 25 Gráfico Fluxo de Energia - fevereiro

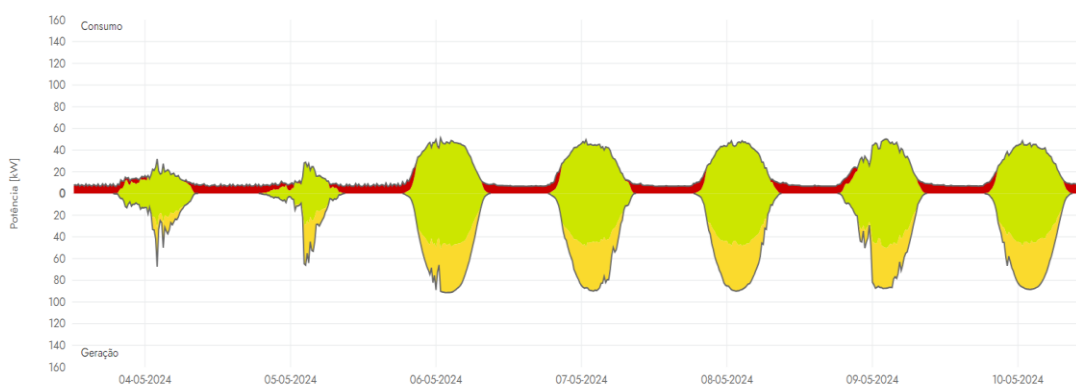


Figura 26 Gráfico Fluxo de Energia - maio

Tabela 16 Tabela Resumo Consumo versus Produção

mês		Consumo Direto do Sist. Fotovoltaico [kW]	Consumo de energia da rede [kW]	Injeção na rede [kW]	Consumo total [kW]	Geração total [kW]
fevereiro	Média	11,60	20,46	0,68	32,06	12,28
	Máximo	50,43	38,98	25,85	53,43	74,00
maio	Média	34,19	1,03	24,13	35,22	58,32
	Máximo	51,23	11,68	46,21	51,23	91,37

Relativamente aos dados acima mencionados, o portal informa que a taxa de autonomia média do sistema fotovoltaico é de 33 % em fevereiro e de 77 % em maio. O consumo médio requerido à rede ronda os 35 kW, ou seja, inferior a 50% da potência disponível do posto de transformação (80 kW, no caso do fator de potência igual a 0,80).

As *wallbox* mais utilizadas no mercado são: *wallbox* de 22 kW (trifásico); *wallbox* de 11 kW (trifásico); *wallbox* de 7,4 kW (monofásico); e *wallbox* de 3,7 kW (monofásico). Tendo em conta o fabricante dos perfis de solução, a figura seguinte indica o tempo de carregamento de cada *wallbox*.



Figura 27 Tempo de Carregamento em relação à potência de carregamento[58]

De notar que o tempo de carregamento da *wallbox* de 22 kW e de 11 kW é igual. Isto acontece devido ao facto de existir um limite de 11 kW (AC), imposto pelo carregador de bordo.

5 Conclusões

No Estado de Arte da presente Dissertação, foi realizada a análise PESTEL da mobilidade elétrica. Nos setores político e legal revelaram-se notórios os incentivos e planos governamentais no apoio à eletrificação da frota. Quanto ao fator social, a mobilidade elétrica é vista como resposta às crescentes preocupações com o meio ambiente e com a qualidade do ar. A preferência crescente por veículos mais sustentáveis e a consciência ambiental dos consumidores são vistas como oportunidades para promover a adoção de veículos elétricos. No âmbito tecnológico e ambiental, destacam-se os veículos elétricos como a tecnologia mais sustentável, sendo as emissões de gases de efeito estufa o principal indicador de sustentabilidade. Os fatores económicos a destacar são a redução dos custos de produção de baterias e a consequente diminuição do preço de aquisição. A maior vantagem económica atual dos veículos elétricos é a fase de utilização, tendo em conta os menores custos energéticos e de manutenção.

Assim, reconhecer os fatores influentes da mobilidade elétrica permitiu criar o suporte necessário para o desenvolvimento da metodologia a aplicar durante o estágio na Schmitt Elevadores.

Deste modo, foi analisada a totalidade das viaturas ligeiras da frota da empresa, sendo sugerido um cenário de solução que promove mais de 20% de redução do consumo de combustíveis fosseis, através da substituição direta por veículos elétricos.

Além da poupança energética, o estudo veio comprovar a tendência explícita na teoria. As vantagens das viaturas elétricas são os baixos custos energéticos, no caso do carregamento doméstico, e os benefícios fiscais inerentes à aquisição, sublinhado que neste estudo não foram incluídos descontos de frota profissional. Uma das principais desvantagens é a diferença no preço de aquisição entre os veículos elétricos e os veículos de combustão. Estes últimos ainda apresentam um preço mais baixo, mas verifica-se uma tendência para esta diferença deixar de ser significativa.

No cenário ambiental, a poupança anual de 58 500 toneladas equivalentes de petróleo e 85 toneladas de CO₂ equivalente reflete a importância da aposta em veículos elétricos no ponto de vista da fase de utilização.

Quanto à fase operacional, a empresa irá enfrentar o desafio de fazer a instalação de pontos de carregamento, tanto em casa dos colaboradores, como nas instalações da empresa. Ambas as soluções têm os seus desafios técnicos e práticos associados. Sabe-se que a potência de carregamento influencia diretamente o tempo necessário para recarregar a viatura elétrica. Carregar o veículo durante a noite em casa pode ser mais vantajoso, pois permite aproveitar tarifas energéticas mais baixas. Por outro lado, carregar durante o dia na delegação pode ser conveniente para os colaboradores, principalmente aqueles que percorrem longas distâncias e necessitam de um carregamento adicional para garantir autonomia suficiente. Outro ponto, passa pelo proveito da energia fotovoltaica gerada na empresa e pela potência disponível da rede. Para tal, sugere-se a instalação de um balanceador de carga aquando da instalação das *wallbox* e da respetiva cablagem. Este procedimento irá distribuir a potência disponível pelos pontos de carregamento.

5.1 Trabalhos Futuros

Os resultados do trabalho desenvolvido nesta dissertação podem inspirar outros estudos de pesquisa, tais como o dimensionamento e implementação da rede de carregamento na empresa, a investigação da integração dos veículos elétricos com a gestão de energia, aprofundar o estudo de soluções para integrar veículos elétricos com fontes de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, para promover um ciclo de carregamento mais sustentável.

Neste estudo, a maior dificuldade foi a obtenção de dados fidedignos (sobre manutenção, consumos, fatores de emissão, etc.) relativos à frota atual. Como alternativa, sugere-se a utilização de um software de gestão de frota com georreferenciação, pois a recolha de informações reais e de campo é fundamental para melhorar a análise das tecnologias propostas e reduzir a incerteza associada a alguns dados.

Referências

- [1] E. Eckermann, *World History of the Automobile*. Society of Automotive Engineers, 2001.
- [2] H. Lund and B. V. Mathiesen, 'Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050', *Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 524–531, May 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.04.003.
- [3] J. Nurmi and M. S. Niemelä, 'PESTEL Analysis of Hacktivism Campaign Motivations', in *Secure IT Systems*, vol. 11252, N. Gruschka, Ed., in Lecture Notes in Computer Science, vol. 11252. , Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 323–335. doi: 10.1007/978-3-030-03638-6_20.
- [4] C. G. Schuetz, E. Mair, and M. Schrefl, 'PESTEL Modeler: Strategy Analysis Using MetaEdit+, iStar 2.0, and Semantic Technologies', in *2018 IEEE 22nd International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW)*, Stockholm: IEEE, Oct. 2018, pp. 216–219. doi: 10.1109/EDOCW.2018.00040.
- [5] G. Bueno, 'Análisis de la sostenibilidad energética de los biocarburantes en la Directiva 2009/28/CE de energías renovables', 2011, doi: 10.13140/RG.2.1.3397.0960.
- [6] European Commission. Joint Research Centre., *Towards net-zero emissions in the EU energy system by 2050: insights from scenarios in line with the 2030 and 2050 ambitions of the European Green Deal*. LU: Publications Office, 2020. Accessed: Dec. 28, 2023. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/081488>
- [7] 'The European Green Deal Investment Plan and JTM explained', European Commission - European Commission. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24
- [8] Eurocid, 'Alterações Climáticas | Eurocid - Informação europeia ao cidadão'. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <http://eurocid.mne.gov.pt/alteracoes-climaticas>
- [9] U. Motowidlak, 'Conditions for the sustainable development of electromobility in the European Union road transport from the perspective of the European Green Deal', *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, vol. 25, no. 4, pp. 7–25, Dec. 2022, doi: 10.4467/2543859XPKG.22.018.17142.
- [10] International Energy Agency, *Global EV Outlook 2021: Accelerating ambitions despite the pandemic*. in Global EV Outlook. OECD, 2021. doi: 10.1787/3a394362-en.
- [11] Diário da República, 'Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020'. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>
- [12] Gomes, 'PNEC 2030', Portugal. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://pt.figroup.com/plano-nacional-integrado-de-energia-e-clima-pnec/>
- [13] C. M. Costa, J. C. Barbosa, H. Castro, R. Gonçalves, and S. Lanceros-Méndez, 'Electric vehicles: To what extent are environmentally friendly and cost effective? – Comparative study by european countries', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 151, p. 111548, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111548.
- [14] K. M. Tan, J. Y. Yong, V. K. Ramachandramurthy, M. Mansor, J. Teh, and J. M. Guerrero, 'Factors influencing global transportation electrification: Comparative analysis of electric and internal combustion engine vehicles', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 184, p. 113582, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113582.
- [15] R. Koppelaar and W. Middelkoop, *The Tesla Revolution: Why Big Oil Has Lost the Energy War*. Amsterdam University Press, 2017. doi: 10.2307/j.ctt1n2tx45.

- [16] W. Zhou, C. J. Cleaver, C. F. Dunant, J. M. Allwood, and J. Lin, 'Cost, range anxiety and future electricity supply: A review of how today's technology trends may influence the future uptake of BEVs', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 173, p. 113074, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2022.113074.
- [17] G. Berckmans, M. Messagie, J. Smekens, N. Omar, L. Vanhaverbeke, and J. Van Mierlo, 'Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030', *Energies*, vol. 10, no. 9, p. 1314, Sep. 2017, doi: 10.3390/en10091314.
- [18] P. Hummel, D. Lesne, and J. Radlinger, 'UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?', UBS, 2017. [Online]. Available: <https://neo.ubs.com/shared/d1wkuDIEbYPjF/>
- [19] ACEA, 'VEHICLES IN USE EUROPE 2023', ACEA, 2023.
- [20] 'APREN'. Accessed: Dec. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- [21] C. Kouridis and C. Vlachokostas, 'Towards decarbonizing road transport: Environmental and social benefit of vehicle fleet electrification in urban areas of Greece', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, p. 111775, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111775.
- [22] C. Corradi, E. Sica, and P. Morone, 'What drives electric vehicle adoption? Insights from a systematic review on European transport actors and behaviours', *Energy Research & Social Science*, vol. 95, p. 102908, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.erss.2022.102908.
- [23] M. E. Biresselioglu, M. Demirbag Kaplan, and B. K. Yilmaz, 'Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 109, pp. 1–13, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.tra.2018.01.017.
- [24] C. Corradi, E. Sica, and P. Morone, 'What drives electric vehicle adoption? Insights from a systematic review on European transport actors and behaviours', *Energy Research & Social Science*, vol. 95, p. 102908, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.erss.2022.102908.
- [25] B. K. Sovacool, J. Kester, L. Noel, and G. Z. De Rubens, 'The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric mobility preferences in the Nordic region', *Global Environmental Change*, vol. 52, pp. 86–100, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2018.06.008.
- [26] O. Y. Edelenbosch, D. L. McCollum, H. Pettifor, C. Wilson, and D. P. Van Vuuren, 'Interactions between social learning and technological learning in electric vehicle futures', *Environ. Res. Lett.*, vol. 13, no. 12, p. 124004, Nov. 2018, doi: 10.1088/1748-9326/aae948.
- [27] I. Veza, M. Z. Asy'ari, M. Idris, V. Epin, I. M. Rizwanul Fattah, and M. Spraggon, 'Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV', *Alexandria Engineering Journal*, vol. 82, pp. 459–467, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.10.020.
- [28] W. Enang and C. Bannister, 'Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review)', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 1210–1239, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.075.
- [29] C. C. Chan, 'The state of the art of electric and hybrid vehicles', *Proc. IEEE*, vol. 90, no. 2, pp. 247–275, Feb. 2002, doi: 10.1109/5.989873.
- [30] B. Kaban, E. Vinot, Y. Cheng, R. Trigui, and C. Dumand, 'Improvement of a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle Architecture', in *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Belfort: IEEE, Dec. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/VPPC.2017.8330943.
- [31] R. Mayer, A. Péres, and S. Oliveira, 'Multiphase Bidirectional DC/DC Non-isolated Converter for Light Duty Electric Drive System in Electric Vehicle and Hybrid Electric Vehicle', *REP*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, Sep. 2015, doi: 10.18618/REP.2015.3.2521.

- [32] D. Zhang, Z. Wang, P. Liu, Z. Sun, N. Li, and C. Wang, 'Statistical Analysis of Demonstration Operation for Fuel Cell Vehicle', in *2021 6th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, Wuhan, China: IEEE, Oct. 2021, pp. 1043–1048. doi: 10.1109/ICTIS54573.2021.9798670.
- [33] H. Deng, Y. Zhang, R. Fang, and Z. Pei, 'Study on Fuel Cell Vehicle Power System Selection and Simulation', in *2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Chengdu, China: IEEE, Dec. 2019, pp. 2382–2385. doi: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997909.
- [34] V. M. Macharia, V. K. Garg, and D. Kumar, 'A review of electric vehicle technology: Architectures, battery technology and its management system, relevant standards, application of artificial intelligence, cyber security, and interoperability challenges', *IET Electrical Syst in Trans*, vol. 13, no. 2, p. e12083, Jun. 2023, doi: 10.1049/els2.12083.
- [35] S. G. Selvakumar, 'Electric and Hybrid Vehicles – A Comprehensive Overview', in *2021 IEEE 2nd International Conference On Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*, Bhopal, India: IEEE, Dec. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEPES52894.2021.9699557.
- [36] N. Hashemnia and B. Asaei, 'Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles', in *2008 18th International Conference on Electrical Machines*, Vilamoura, Portugal: IEEE, Sep. 2008, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICELMACH.2008.4800157.
- [37] G. Harper *et al.*, 'Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles', *Nature*, vol. 575, no. 7781, Art. no. 7781, Nov. 2019, doi: 10.1038/s41586-019-1682-5.
- [38] R. Balamurugan, P. RamKumar, B. Singaraj, C. Vasudev, K. K. Kumar, and M. W. Iruthayarajan, 'A Survey on various Electric Vehicle batteries – Battery power management and performance monitoring system', in *2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, Coimbatore, India: IEEE, Feb. 2022, pp. 1497–1503. doi: 10.1109/ICAIS53314.2022.9743050.
- [39] D. R, V. L, K. V. N, P. S, P. C. K, and R. A, 'An Overview of EV Batteries and Study Analysis on Charging Methodology', in *2022 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India: IEEE, Jan. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCI54379.2022.9740935.
- [40] SGORME, 'Formas de Carregamento de Veículos Eléctricos em Portugal'. 2011.
- [41] 'EV charging cable', MENNEKES. Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.mennekes.org/emobility/products/ev-charging-cable/>
- [42] 'Protocol Development | CHAdeMO'. Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.chademo.com/technology/protocol-development>
- [43] 'Infraestrutura de carregamento de E-mobility | Phoenix Contact'. Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/pt-pt/industrias/e-mobility/infraestrutura-de-carregamento>
- [44] M. Kinter-Meyer, 'Standards for PHEV/EV Communications Protocol'.
- [45] J. D. Harper, 'Development and Implementation of SAE DC Charging Digital Communication for Plug-in Electric Vehicle DC Charging', presented at the SAE 2013 World Congress & Exhibition, Apr. 2013, pp. 2013-01–1188. doi: 10.4271/2013-01-1188.
- [46] M. Marinelli *et al.*, 'Electric Vehicles Demonstration Projects - An Overview Across Europe', in *2020 55th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Turin, Italy: IEEE, Sep. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/UPEC49904.2020.9209862.
- [47] 'Transport in the European Union - Current Trends and Issues'. [Online]. Available: <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2019-03/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>
- [48] 'Zero-Emission Vehicles Factbook: COP28 Edition', BloombergNEF. Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/zero-emission-vehicles-factbook-cop28-edition/>

- [49] L. L. P. Souza, E. E. Silva Lora, J. C. Escobar Palacio, M. H. Rocha, and M. L. G. Renó, 'Análise do ciclo de vida de veículos convencional, elétrico e híbrido plug-in para condições brasileiras', *R/CA*, vol. 7, no. 3, pp. 144–159, Nov. 2016, doi: 10.6008/SPC2179-6858.2016.003.0012.
- [50] T. Colaço, 'Aplicação da Economia Circular aos Veículos Elétricos'. 2022. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/142605/2/571623.pdf>
- [51] 'Analysis of electric car lifecycle CO2 emissions', European Federation for Transport and Environment. [Online]. Available: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/05/Final-TE_LCA_Update.pdf
- [52] Diário da Republica, 'Despacho n.º 5126/2023, de 3 de maio'. Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/5126-2023-212536244>
- [53] 'Incentivos à Aquisição de Veículos Elétricos – UVE'. Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/incentivos-aquisicao-veiculos-eletricos/>
- [54] Schmitt-Elevadores, 'Modelo'. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.schmitt-elevadores.com/a-empresa/descobrir/modelo/>
- [55] 'Procedimento de ensaio dos veículos comerciais ligeiros (WLTP) e emissões reais de condução (RDE) harmonizados a nível mundial | EUR-Lex'. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/summary/worldwide-harmonised-light-duty-vehicles-test-procedure-wltp-and-real-driving-emissions-rde.html>
- [56] 'Quanto custa percorrer 100 km com um veículo 100% elétrico? – UVE'. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.uve.pt/page/quanto-custa-100-km/>
- [57] 'Tarifas e preços - eletricidade - ERSE'. Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>
- [58] 'Pontos de carregamento de veículos elétricos | Manutenção de veículos elétricos | Peugeot Portugal'. Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.peugeot.pt/eletricos-e-hibridos-plug-in/carregamento-manutencao-eletricos.html>

Anexos

Anexo A – Perfis de Utilização

Distância Percorrida Diária Média por Viatura (km)	Perfil de Utilização	Quantidade de Viaturas	Distância Percorrida Anual do Perfil (km)	Distância Percorrida Anual Média por Viatura (km)	Distância Percorrida Diária Média por Viatura (km)	Idade Média do Perfil (Anos)	Combustível (litros)	Combustível Total do Perfil (litros)	Consumo de Combustível Médio (/100km)	Portagens (€)	Impostos (€)	Reparação (€)	Custo 100 km (€)	Contribuição do Perfil no Consumo de Combustível	Contribuição do Perfil no Consumo de Combustível
<100	UM_A	49	90878	18549	7390	10,45	1261	61783	6,80	22135€	9636€	11000€	2063€	15,62%	0,32%
	UM_B	29	55957	19033	7583	10,17	1298	37648	6,82	89994€	8492€	12000€	2403€	9,52%	0,33%
100-150	UM_C	35	107300	30649	122,11	8,57	2027	70931	6,61	36916€	9513€	15300€	1816€	17,93%	0,51%
	UM_D	29	914525	31335	125,64	7,45	2066	59912	6,55	10000€	6657€	14200€	1936€	15,14%	0,52%
150-200	UM_E	12	48398	40300	160,56	6,92	2715	32583	6,74	66689€	8168€	15600€	1713€	8,24%	0,69%
	UM_F	11	46532	41503	165,35	6,45	2457	27025	5,92	14400€	9249€	14400€	1717€	6,83%	0,62%
>150	UM_G	3	162116	54039	215,29	7,33	3606	10817	6,67	89480€	9798€	22600€	1699€	2,73%	0,91%
	UM_H	2	110164	55082	219,45	8,50	3473	6947	6,31	22000€	13088€	21700€	1861€	1,76%	0,88%
<100	IP_A	8	13262	16533	65,87	8,25	884	7147	5,41	22736€	14836€	7930€	1648€	1,81%	0,23%
	IP_B	7	126879	18126	72,21	8,57	977	6833	8,57	5880€	14907€	19300€	2501€	1,73%	0,25%
100-150	IP_C	13	397650	30588	121,87	6,77	1656	21522	5,41	59654€	14843€	15200€	1695€	5,44%	0,42%
	IP_D	8	25336	31920	127,17	7,25	1837	14693	5,76	10900€	14915€	28400€	2322€	3,71%	0,46%
150-200	IP_E	4	163530	40883	162,88	8,25	2129	8517	5,21	65901€	14876€	25800€	1711€	2,15%	0,54%
	IP_F	5	21521	43104	171,73	6,80	2352	11758	5,46	15000€	15495€	33100€	2086€	2,97%	0,99%
>150	IP_H	2	121404	60702	281,84	4,50	3327	6654	5,48	25200€	14856€	14800€	1588€	1,68%	0,84%
	IP_G	1	56749	56749	226,09	4,00	3139	3139	5,53	36100€	14721€	14800€	1838€	0,79%	0,79%

Anexo B – EVs (Levantamento de Mercado)

Modelo Específico	Tipologia	Capacidade total da bateria (kWh)	Consumo (kWh/100km)	Autonomia	Preço Autonomia (€/km)	Preço s/iva	Preço c/iva
Citroën e-Berlingo	Lig. Mercadoria	50	16,4	280	84 €	23 432 €	30 431 €
BYD ETP3	Lig. Mercadoria	44,9	16	275	93 €	25 477 €	33 087 €
Nissan Townstar	Lig. Mercadoria	45	20	301	87 €	26 296 €	34 150 €
Renault Kangoo Express Elétrico	Lig. Mercadoria	33	19,2	200	157 €	31 447 €	40 840 €
PEUGEOT E-PARTNER	Lig. Mercadoria	50	17,7	346	81 €	27 944 €	36 291 €
CITROEN AMI ELECTRIC 8	Micro-Car	5,5	7,86	75	82 €	6 152 €	7 990 €
Dacia SPRING ELECTRIC 45	Lig.Pass	13,9	13,9	230	69 €	15 793 €	20 510 €
Dacia SPRING ELECTRIC 65	Lig.Pass	10	10	220	77 €	16 979 €	22 050 €
Citroen e-C3	Lig.Pass	44	16,4	300	60 €	18 095 €	23 500 €
Peugeot 208	Lig.Pass	50	15,4	363	75 €	27 304 €	35 460 €
Peugeot 308	Lig.Pass	54	14,9	416	77 €	32 128 €	41 724,99
Peugeot 308 SW	Lig.Pass	54	15,1	410	80 €	32 995 €	42 850 €
Peugeot 2008 SUV	Lig.Pass	50	15,8	343	88 €	30 099 €	39 090 €
Nissan Leaf	Lig.Pass	40	22,7	385	76 €	29 299 €	38 050 €
Renault Mégane E-TECH	Lig.Pass	60	19,2	367	83 €	30 407 €	39 490 €
Renault ZOE	Lig.Pass	52	19	339	82 €	27 912 €	36 249 €
Kia Niro	Lig.Pass	64	16,2	460	66 €	30 435 €	39 526 €
Citroen e-C4	Lig.Pass	46	19,3	420	73 €	30 854 €	40 070 €
HYUNDAI KUAJ 49	Lig.Pass	49	14,6	377	83 €	31 245 €	40 578 €
HYUNDAI KUAJ 64	Lig.Pass	66	14,7	514	73 €	37 538 €	48 750 €
HYUNDAI IONIQ 5	Lig.Pass	77,4	17	507	89 €	45 165 €	58 655 €
BYD ATTO 3	Lig.Pass	60,5	15,6	420	77 €	32 336 €	41 995 €
BYD Seal	Lig.Pass	82,5	16,6	520	71 €	36 952 €	47 990 €
MG MG4 Standard	Lig.Pass	51	18,3	350	70 €	24 583 €	31 926 €
MG ZS EV	Lig.Pass	50,3	17,8	320	71 €	22 836 €	29 657 €
BYD Dolphin	Lig.Pass	44,9	15,2	340	70 €	23 631 €	30 690 €
Tesla Model 3	Lig.Pass	75	22,2	513	60 €	30 799 €	39 999 €

Anexo C – Cenário Objetivo

Perfil de Utilização	Perfil de Solução	Quantidade de Viaturas	Contribuição no Consumo de Combustível (Perfil)	Contribuição no Consumo de Combustível (p/Viatura)	Porcentagem Utilizada da Autonomia	Indicadores Financeiros / Incentivos Fiscais				Poupança Ambiental		
						Aplicabilidade B. Fiscais	TIR	Payback	VAL	Cash-Flow Acumulado (6 Anos)	Toneladas CO2 eq	Tep./ano
LM_G	Solucao Peugeot Lig. Mercabrias	3	2,73%	0,91%	62,22%	Não Aplicável	33,45%	2,90	87.318,63€	52.343,64€	16,37	4,76
LM_H	Solucao Peugeot Lig. Mercabrias	2	1,76%	0,88%	63,42%	Não Aplicável	31,16%	3,09	52.794,68€	30.785,86€	10,04	2,82
LP_F	Solucao Peugeot Lig. Passageiros	5	2,97%	0,59%	44,84%	Aplicável	47,50%	1,57	184.915,30€	137.048,01€	17,01	4,79
LP_D	Solucao Peugeot Lig. Passageiros	8	3,71%	0,46%	33,20%	Aplicável	40,90%	1,82	236.722,48€	174.329,44€	22,19	6,44
LP_E	Solucao Peugeot Lig. Passageiros	4	2,15%	0,54%	42,55%	Aplicável	40,31%	1,85	115.684,32€	85.184,28€	11,81	3,22
LP_G	Solucao Peugeot Lig. Passageiros	1	0,79%	0,79%	59,03%	Aplicável	40,26%	1,85	28.870,02€	21.261,04€	4,59	1,30
LM_E	Solucao Peugeot Lig. Mercabrias	12	8,24%	0,69%	46,40%	Não Aplicável	22,52%	4,05	197.154,00€	99.975,60€	49,65	14,50

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Sérgio Luís Magalhães Queiroz

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 27 de junho de 2024