



TÉCNICO
LISBOA

Otimização energética de frota automóvel de empresa de obras públicas

Hélder Henrique Salavessa Machado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Dr. Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Dr. Patrícia de Carvalho Baptista

Júri

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientador: Dr. Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Vogal: Prof. Amílcar José Martins Arantes

Outubro 2020

Agradecimentos

Quero agradecer a todas as pessoas que participaram de forma direta ou indireta para o sucesso e conclusão desta etapa do meu percurso académico.

À minha família, em especial aos meus pais, irmã e avó a quem devo tudo o que sou hoje, por me inculcarem os bons valores pelos quais rezo a minha vida hoje e sempre, e por me terem apoiado nos momentos mais importantes.

Aos Doutores Gonçalo Duarte e Patrícia Baptista e ao Professor António Luís Moreira, pelo excepcional acompanhamento, disponibilidade, dedicação, interesse e incansável paciência desde o início ao fim deste projeto. Foi um enorme prazer aprender convosco.

Ao João Paulo Nunes e à Cátia Margarido por me terem recebido de forma admirável na empresa e por me terem fornecido toda a base de dados sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Por fim agradeço aos meus amigos mais próximos e a todos os meus colegas de curso por todos estes anos de amizade, auxílio e partilha de momentos, por vezes de desespero, outras vezes de paixão por este fascinante ramo da engenharia.

Resumo

Este projeto foca-se na caracterização energética da frota automóvel da empresa, baseada nos dados disponíveis para o ano de 2018, para quantificar os impactes energéticos, ambientais e económicos associados à implementação de três medidas desenvolvidas para a redução do consumo de energia da mesma. O presente trabalho foi desenvolvido na SOTÉCNICA - Sociedade Eletrotécnica S.A, no âmbito do programa Galp 21.

A 1ª medida consistiu na substituição de 38 veículos ligeiros menos eficientes por modelos com menor consumo de combustível. Para uma redução do consumo de energia e das emissões de CO_2 de 2,3% e uma redução de custos de 3,5%.

A 2ª medida consistiu na sensibilização de 127 condutores para a prática de medidas de condução eficiente através de ações de formação, possibilitando reduções de 7,5% a 2,8% (cenário otimista ou pessimista) do consumo de energia, das emissões de CO_2 e dos custos totais.

Propôs-se ainda a substituição de 8 veículos ligeiros por modelos equivalentes elétricos, para uma redução de custos de apenas 1,2%, sendo por isso menos significativa que as outras medidas apresentadas, destacando-se, no entanto, a elevada redução do consumo de energia (5,2%) e das emissões de CO_2 (4,7%).

A implementação das medidas implica um investimento de 20 258 € com um tempo de retorno entre 4 a 7 meses. Resultando numa redução do consumo energético de 12,2 a 7,5%, das emissões de CO_2 entre 12,6 a 7,9% e na poupança anual de 61 248 a 36 449 €, correspondendo a uma redução dos custos associados à utilização da frota entre 11,5 a 7,2%.

Palavres chave: Caraterização energética; impacte energético/financeiro/ambiental; otimização de veículos; eco-condução; veículos elétricos.

Abstract

This project focuses on the energy characterization of a company automobile fleet, based on the data available for 2018, to quantify the energy, environmental and economic impacts associated with the implementation of three measures developed to reduce its energy consumption.

The project was developed at SOTÉCNICA- Sociedade Eletrotécnica S.A, within the scope of the Galp 21 program.

The 1st measure consisted in replacing 38 less efficient light duty vehicles by models with lower fuel consumption, resulting in a reduction of energy consumption and CO₂ emissions of 2.3% and a cost reduction of 3.5%.

The 2nd measure consists of educating 127 drivers to the practice of efficient driving habits through training actions, allowing reductions of 7.5% to 2.8% (optimistic or pessimistic scenario) on energy consumption, CO₂ emissions and total costs.

Finally, the replacement of 8 light duty vehicles with equivalent electric models was also analyzed, indicating a cost reduction of only 1.2%, which is therefore less significant than the other measures presented. However, this measure has high impacts on reducing energy consumption (5.2%) and pollutant emissions (4.7%).

The combined implementation of the three measures analyzed requires a total investment of 20 258 €, with a payback period between 4 and 7 months. These measures result in a reduction of energy consumption of 12.2 to 7.5%, a reduction in CO₂ emissions from 12.6 to 7.9% and an annual saving of 61 248 to 36 449 €, corresponding to a reduction in total costs associated with fleet utilization between 11.5% to 7.2%

Key words: Energy characterization; energy/financial/environmental impact; optimization of vehicles; eco drive; electric vehicles.

Índice

1	Introdução	10
1.1	Enquadramento	10
1.2	Estado da arte	12
1.3	Objetivos	21
1.4	Estrutura da dissertação	22
2	Metodologia	23
2.1	Caso de estudo	23
2.2	Caracterização energética da frota automóvel.....	24
2.3	Definição de medidas de eficiência energética	29
2.3.1	Otimização de veículos utilizados	30
2.3.2	Sensibilização para a prática de medidas de condução eficiente.....	38
2.3.3	Substituição por veículos elétricos.....	47
3	Resultados	61
3.1	Otimização de veículos utilizados	61
3.2	Sensibilização para a prática de medidas de condução eficiente.....	63
3.3	Substituição de veículos convencionais por veículos elétricos.....	65
3.4	Implementação integrada das três medidas	76
4	Conclusões e trabalho futuro	80
	Referências bibliográfica	83
	Anexos	88

Lista de Figuras

Figura 1- Média das emissões de CO ₂ para novos veículos no ano de 2019. Fonte: [39]	11
Figura 2- Ecoscore calculado para diversos tipos de tecnologias de propulsão. Fonte: [41]	16
Figura 3- Comparação da % da redução do consumo de energia para VE e veículos convencionais resultantes da prática de medidas de condução eficiente. Fonte: [43]	18
Figura 4- Rotas avaliadas no estudo de Ahn e Rakha (2007). Fonte: [17]	19
Figura 5- Excerto representativo dos dados de caracterização da frota	25
Figura 6- Comparação dos indicadores de eficiência energética por BU: a) Custo médio por km; b) Consumo médio de combustível; c) Custo médio por veículo; d) Média de emissões de CO ₂ .	26
Figura 7- Distância (em %) percorrida por BU	28
Figura 8- Esquema para a avaliação da viabilidade de implementação das medidas propostas	29
Figura 9- Autonomia Renault ZOE Z.E 50, Fonte: [35]	59
Figura 10- Redução do consumo total de energia (em tep) em função do ano de substituição dos veículos	62
Figura 11- Redução do consumo de energia da frota automóvel em função do cenário considerado	64
Figura 12- Indicadores de comparação para veículos LM	66
Figura 13- Indicadores de comparação para veículos LP	67
Figura 14 - Autonomia Renault Kangoo Z.E 33, Fonte: [34]	68
Figura 15-Redução de custos em percentagem, por categoria de veículo, para o 1º e 2º cenário	69
Figura 16 - Redução do consumo total de energia (em tep) em função do ano de substituição dos veículos por VE	72
Figura 17 - Tempos de carregamento (100%) para Renault ZOE Z.E 40 Fonte: [34]	72
Figura 18 - Tempos de carregamento (100%) para Renault Kangoo Z.E 33 Fonte: [35]	73
Figura 19- Ciclo diário para fornecimentos em BTE e BTN em Portugal Continental	74
Figura 20- Redução anual de custos em função do período de carregamento do VE (preço eletricidade)	75
Figura 21- Redução do consumo total de energia da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas	77

Figura 22- Redução das emissões de CO ₂ da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas.	78
Figura 23- Redução dos custos associados à utilização dos veículos da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas	78

Lista de Tabelas

Tabela 1- Nº de veículos por tipologia e tipo de combustível	25
Tabela 2- Tipologia de viaturas por BU	27
Tabela 3- Distâncias percorridas e custo monetário associado por BU	28
Tabela 4- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe1-LP (a verde destaca-se o veículo com menor consumo de combustível médio)	31
Tabela 5- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe2-LP ..	32
Tabela 6- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe1-LM..	32
Tabela 7- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe2-LM..	33
Tabela 8- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por classe definida	33
Tabela 9-Dados necessários para análise de substituição do veículo considerado	33
Tabela 10- Dados necessários do veículo de substituição (referência)	34
Tabela 11- Condições do contrato de aluguer do veículo analisado e do veículo de referência.....	35
Tabela 12- Exemplo de comparação dos consumos médios de combustível por modelo analisado	41
Tabela 13- Dados necessários para análise de condução eficiente do modelo de veículo considerado	42
Tabela 14- Dados para análise de condução eficiente de modelos únicos	44
Tabela 15- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por tecnologia de propulsão (LM)	48
Tabela 16- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por tecnologia de propulsão (LP)	48
Tabela 17- Dados para o cálculo dos indicadores de comparação (LM)	49
Tabela 18- Dados para o cálculo dos indicadores de comparação (LP).....	49

Tabela 19- Indicadores de comparação veículos LM	51
Tabela 20- Indicadores de comparação veículos LP	51
Tabela 21- Dados para cálculo do impacte financeiro (tradicional vs. elétrico)	52
Tabela 22-Análise das médias diárias de km percorridos por viatura.....	53
Tabela 23- Condições do contrato de aluguer dos VE de substituição.....	54
Tabela 24- Comparação do valor dos contratos de aluguer VE-Veículo analisado	55
Tabela 25-Resultados da substituição de veículos por modelos com um consumo de combustível inferior.....	61
Tabela 26- Resultados da sensibilização dos colaboradores para práticas de medidas de condução eficiente	63
Tabela 27- Resultados da substituição de veículos por VE.....	70
Tabela 28- Impacte financeiro e ambiental para as medidas propostas (implementação das 3 medidas)	79
Tabela 29- Investimento e PBP para as medidas propostas (implementação das 3 medidas).....	79

Lista de Acrónimos

GEE – Gases com Efeito de Estufa

UE/EU – União Europeia/ European Union

RGCE – Regulamento de Gestão do Consumo de Energia

RGCEST – Regulamento de Gestão do Consumo de Energia para o Setor dos Transportes

PRCE – Plano de Racionalização do Consumo de Energia

ICEV – Internal Combustion Engine Vehicle

HEV – Hybrid Electric Vehicle

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

VE – Veículo elétrico

PEMS – Portable Emissions Measurement System

BU – Business Units

LP – Veículo Ligeiro de Passageiros

LM – Veículo Ligeiro de Mercadorias

NEDC – New European Driving cycle

WLTP – Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

WTW – Well-To-Wheel (Poço-à-Roda)

WTT – Well-To-Tank (Poço-ao-Deposito)

TTW – Tank-To-Wheel (Deposito-à-Roda)

Lista de Símbolos

CV_{ref} – Custo monetário para o Veículo de referência (em euros)

CC_{ref} – Consumo médio de Combustível do veículo de referência (em l/100km)

km_i – Distância anual percorrida (em km) para o veículo analisado (i)

PC_i – Preço do Combustível (em euros/litro) para o veículo analisado (i)

CV_i – Custo monetário (em euros) para o Veículo analisado (i)

CC_i – Consumo médio de Combustível (em l/100km) para o veículo analisado (i)

R_i – Valor mensal do contrato de aluguer (Renda) do veículo analisado (i)

R_{ref} – Valor mensal do contrato de aluguer (Renda) do veículo de referência

R_{VE} – Valor mensal do contrato de aluguer (Renda) do veículo elétrico de substituição

$\rho_{combustível}$ – Massa volúmica do combustível (kg/L)

$PCI_{combustível}$ – Poder Calorífico Inferior do combustível (tep/Ton)

$FE_{combustível}$ – Fator de Emissão do combustível (kgCO₂/tep)

CC_{min} – Consumo de Combustível Mínimo (em l/100km) para o modelo de veículo analisado (i)

$CC_{médio}$ – Consumo de Combustível Médio (em l/100km) para o modelo de veículo analisado (i)

$FE_{eletricidade}$ – Fator de Emissão para a produção de eletricidade (gCO₂/kWh)

$FE_{PROD.combustível}$ – Fator de Emissão para a extração de combustível (gCO₂/MJ)

CE_{VE} – Consumo de Energia para o Veículo Elétrico (em kWh/100km)

$P_{Eletricidade}$ – Preço para o kWh de eletricidade fornecido (em euros/kWh)

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O setor dos transportes é atualmente um dos setores que mais contribui para o consumo de energia, bem como para a emissão de gases poluentes, representando cerca de 31,6% do consumo total final de energia e cerca de 25% das emissões de GEE na Europa [1]. Destaca-se também que, de acordo com a tendência registada nas últimas décadas, a época atual é caracterizada essencialmente pelo constante crescimento no consumo de energia. Sendo que o relatório de 2006 da *Internacional Energy Agency* (IEA) estima que a procura mundial de energia primária aumentará em média 1,6% ao ano entre 2006 e 2030, tendo-se estimado um crescimento neste período, até 2015 em cerca de 25%, segundo o relatório da *British Petroleum* (BP) de 2016, o valor atingido foi de 20% [2] [3].

Porém, ao contrário de outros setores apenas foi registada uma diminuição das emissões em 2007 [4], pelo que, considerando as consequências ambientais cada vez mais presentes, a contínua investigação e desenvolvimento pelo aumento da eficiência energética e a diminuição dos impactos ambientais são de vital importância e foram já promovidas por meio de regulamentos da UE [5], nomeadamente as novas metas de redução das emissões de CO₂ para os automóveis de passageiros novos [6].

No caso geral do sector dos transportes, à exceção dos meios marítimos, a UE traçou a meta de redução para 2030 e 2050, de 20% e 60% dos GEE, relativamente aos valores emitidos em 2008 e 1990, respetivamente [7].

Particularizando no caso dos automóveis de passageiros, os objetivos traçados pela UE para 2015, relativamente às emissões de CO₂, ditavam que os veículos novos registados na UE teriam de cumprir um limite máximo de emissão de 130 gCO₂e/km, o que correspondia a um consumo médio de combustível de 5,6 l/100km de gasolina e 4,9 l/100km de gasóleo. A nova meta proposta para 2021, corresponde a um máximo de 95 gCO₂e/km e a um consumo médio de 4,1 e 3,6 l/100km para gasolina e gasóleo, respetivamente [6].

Na Figura 1 apresentam-se os dados fornecidos pela *European Environmental Agency*, para a média das emissões de CO₂ para novos veículos, no ano de 2019. Como é possível observar o valor apresentado é ainda significativamente superior ao valor definido para a meta de 2021, constatando-se também que houve um aumento da média de emissões de CO₂ a partir do ano de 2016. Pelo que de acordo com a tendência registada prevê-se que não será possível atingir a meta definida para 2021.

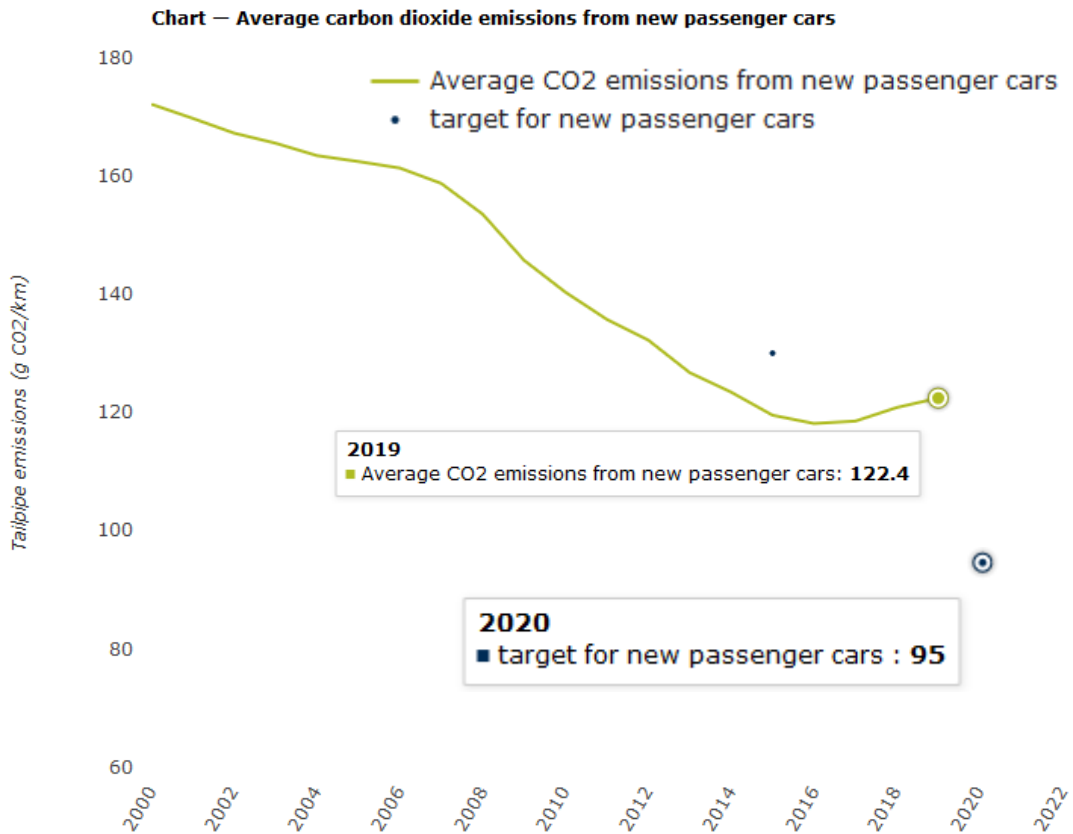


Figura 1- Média das emissões de CO₂ para novos veículos no ano de 2019. Fonte: [39]

Além disso, verifica-se que 93% do consumo total de energia final para este setor provém do petróleo [8], sugerindo assim, que existe um grande desequilíbrio no setor dos transportes, que deve ser combatido com tecnologias ou fontes de energia alternativas, mais limpas e eficientes, contribuindo por isso para a diversificação das fontes de energia neste setor. Neste âmbito a UE, adotou duas metas a atingir até 2020, em acréscimo à anteriormente referida, relacionada com o aumento de eficiência energética em 20% (comparativamente ao ano de 1990) e 20% de utilização de fontes de energia renovável [9].

Em Portugal a preocupação relativamente ao nível de consumos intensivos de energia encontra-se em prática há bastante tempo. Através da Portaria nº 359/82 de 7 de abril de 1982, foi colocado em execução o primeiro Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), com aplicação às instalações consumidoras intensivas de energia. À semelhança dos restantes países da UE, o setor dos transportes é um dos principais consumidores de energia em Portugal. Por este motivo foi aprovado um regulamento próprio para este setor (RGCEST) através da Portaria nº 228/90 de 27 de março de 1990 [10].

O RGCEST define as regras que visam a racionalização dos consumos de energia de empresas de transportes e empresas com frota própria, que excedam um consumo anual global superior a

500 *Tep*, obrigando essas empresas a avaliar regularmente a sua situação energética. Esta avaliação é realizada através de auditorias energéticas, das quais resultaram propostas de medidas de eficiência energética apresentadas no Plano de Racionalização de Energia (PRCE) proposto pela empresa auditora, que deverá ser implementado, tendo em vista a otimização dos consumos energéticos, durante um período de 3 anos. Estas medidas serão importantes para a empresa auditada em termos práticos, na redução de consumos e custos energéticos bem como na redução de emissões de CO₂ e poluentes locais, existindo uma meta de redução de 5% para um período de 3 anos.

Para o desenvolvimento das medidas de redução do consumo de energia revela-se assim necessário definir um caso de estudo (apresentado na secção 2.1), resultante da análise dos veículos da frota automóvel da empresa, sendo que este deverá ser representativo face à totalidade dos veículos da frota analisados, permitindo simultaneamente o desenvolvimento de medidas eficazes e eficientes atuando por isso na(s) classe(s) de veículos mais significativa(s).

Neste contexto, compreende-se a importância da caracterização do consumo de energia de grandes consumidores de energia nos transportes, bem como a realização de análises para o desenvolvimento de medidas que permitam a sua redução. No entanto, o desenvolvimento destas medidas e a sua aplicação revela-se benéfica para qualquer empresa, mesmo que não seja ultrapassado o limite definido.

No presente trabalho serão assim desenvolvidas medidas de racionalização do consumo de energia da frota automóvel da empresa, que podem ser aplicadas no contexto real de qualquer empresa com uma frota própria, analisando a viabilidade da sua implementação pela estimativa do impacte financeiro e ambiental das mesmas.

1.2 Estado da arte

Tendo em consideração a significativa contribuição das emissões de gases poluentes para a atmosfera associados à utilização dos transportes rodoviários, foram desenvolvidos diversos métodos para a quantificação dos seus impactes energéticos e ambientais.

Existem assim diferentes métodos, tanto numéricos como experimentais, para efetuar a caracterização do consumo de energia e a emissão de poluentes em condições específicas de circulação.

Os **métodos experimentais** existentes possibilitam a quantificação de impactes energéticos e ambientais em condições controladas, nomeadamente através de ensaios em bancos de rolos com ciclos de condução específicos, ou alternativamente em condições reais de circulação através de medições em estrada [11]. As análises experimentais permitem recolher informação

para diferentes tecnologias de veículos e, no caso de medições em estrada, para diferentes trajetos. No entanto, a sua utilização para a quantificação de impactes energéticos e ambientais nem sempre se revela possível e/ou prática [11].

Os **métodos numéricos** apresentam-se assim como alternativa aos métodos experimentais para a caracterização energética e ambiental de veículos. Através de métodos numéricos, é possível estimar o consumo de energia e emissão de poluentes de diferentes tecnologias de propulsão, recorrendo a metodologias baseadas em parâmetros médios de atividade do veículo na viagem a analisar, ou em ciclos de condução específicos, sendo que também estes poderão ser recolhidos experimentalmente [12]. Comparativamente aos métodos experimentais, os métodos numéricos são soluções mais práticas e acessíveis, que permitem uma maior amostragem e abrangência de percursos/tecnologias a testar, porém, os resultados obtidos podem não representar da melhor forma os fenómenos de condução em condições de circulação real [11].

Independentemente do método utilizado, experimental ou numérico, o consumo de energia e respetiva emissão de poluentes de um veículo depende de diversos fatores, nomeadamente, da **tecnologia do veículo** (tipo de motor/ tecnologia de propulsão, aerodinâmica do veículo, etc.), do **comportamento do condutor** (que define o perfil de condução específico ao utilizador), do **contexto de utilização** (escolha do percurso, carga transportada, taxa de ocupação, tráfego envolvente), entre outros parâmetros, para os quais a influência sobre o consumo energético do veículo se revela bastante difícil de integrar, acabando assim por dificultar a representação rigorosa dos impactes criados em condições reais de circulação. Revela-se assim necessário compreender não só quais os principais fatores que contribuem para o consumo energético da frota automóvel, bem como quantificar a sua influência sobre o consumo energético do veículo, de modo a desenvolver estratégias que, através da atuação sobre os fatores referidos, possibilitem a redução do consumo energético global da frota automóvel analisada.

Como foi referido acima, a tecnologia de propulsão do veículo utilizado numa viagem influencia os impactes energéticos e ambientais resultantes da realização da mesma. Atualmente existem vários tipos de tecnologia de veículos disponíveis, com diferentes características, sendo que o objetivo principal é transversal a todos os tipos de tecnologia: maior eficiência e economia associada a um impacte ambiental inferior.

De forma a avaliar a variabilidade de impactes entre veículos com diferentes tipos de tecnologia de propulsão, um estudo de C. Lorf et al. (2013) analisou os resultados do *Royal Automobile Club 2011 RAC Future Car Challenge*, um desafio anual de automobilismo em que os participantes procuram alcançar o menor consumo de energia possível para o trajeto percorrido de 92 km que separam Brighton e Londres, em Inglaterra [14]. Nesta prova participaram 6 veículos com motor de combustão interna (ICEV), 26 veículos ligeiros elétricos (VE), 4 híbridos plug-in (PHEV) e 4 híbridos (HEV).

Os ICEV consistem em veículos cujo motor (térmico) transforma a energia proveniente de uma reação química, obtida pela queima de um combustível (Ex: gasóleo ou gasolina) em energia mecânica para posterior utilização na propulsão do veículo.

No caso dos VE um banco de baterias é utilizado como fonte primária de energia. A energia armazenada nas baterias em forma química é convertida em energia elétrica, que por sua vez alimenta o motor elétrico que converte a mesma em energia mecânica utilizada na propulsão do veículo.

Os HEV e PHEV conciliam o funcionamento de ambos os motores descritos (motor térmico e motor elétrico) para a propulsão dos veículos. Sendo que nos HEV a bateria é recarregada através do motor elétrico (usado como gerador) acionado pelo motor de combustão, enquanto que os PHEV permitem também o carregamento das baterias através de uma fonte de energia externa ao veículo. Existem essencialmente três tipos de HEV [42]:

- Automóveis híbridos em que o motor de combustão é responsável pela propulsão do automóvel e o motor elétrico funciona como auxílio extra para melhorar o desempenho do mesmo. Este tipo é bastante usado em automóveis de pequeno porte e é conhecido como híbrido-paralelo.
- Outro método utilizado consiste no motor elétrico como responsável pela locomoção do automóvel, sendo que o motor de combustão apenas movimenta um gerador responsável por gerar a energia necessária para a propulsão do automóvel e para carregar as baterias do mesmo. Geralmente automóveis de grande porte utilizam esse sistema, conhecido como híbrido-série.
- Por fim apresenta-se o sistema híbrido misto, que combina aspetos do sistema em série com o sistema paralelo. Tendo como objetivo maximizar os benefícios de ambos. Este sistema permite fornecer energia para propulsão do veículo e simultaneamente gerar eletricidade para o carregamento das baterias. Neste caso é possível usar apenas o sistema elétrico, dependendo das condições de carga, sendo também permitido que os dois motores atuem de forma simultânea.

Os resultados obtidos nesta competição [14] demonstraram que a tecnologia de propulsão representa o fator dominante no consumo de energia, tendo-se verificado o menor consumo energético médio para os veículos elétricos, cerca de 40% inferior à média global. As restantes tecnologias classificaram-se na seguinte ordem: PHEV, HEV e por último os ICEV, que apresentaram um consumo, em média, cerca de 4 vezes superior ao verificado para os EV.

Observou-se também que a recuperação de energia nos eventos de travagem dos veículos elétricos constitui um importante fator para a redução de energia destes veículos, correspondendo até 32% da energia utilizada na prova. Ao nível das emissões de CO₂, verificaram-se as menores emissões para os veículos mais eficientes energeticamente [14].

Este estudo destaca também que, para os 4 veículos elétricos utilizados (4 modelos Nissan Leaf com as mesmas especificações), embora os parâmetros do veículo, o número de passageiros, a rota e a distância percorrida sejam iguais, o consumo de energia médio por km percorrido para os quatro veículos variou entre 130 e 160Wh/km. Demonstrando assim que, neste caso, o perfil de condução do utilizador do veículo pode resultar em diferenças do consumo de energia até cerca de 23%, indicando por isso a significativa influência deste parâmetro sobre o consumo de energia do veículo [14].

Os resultados obtidos por este estudo [14] são idênticos aos do estudo realizado em relação à mesma prova, mas para o ano anterior, ou seja, para a *Royal Automobile Club 2010 (RAC) Future Car Challenge* [40]. Nesta prova participaram 51 veículos, e à semelhança da prova do ano seguinte foram utilizados diversos tipos de tecnologia de propulsão nomeadamente: veículos com motor de combustão interna (ICEV), veículos ligeiros elétricos (EV), híbridos plug-in (PHEV) e híbridos (HEV) e também veículos elétricos de célula a combustível de hidrogénio (HFEV). Os resultados obtidos nesta competição demonstraram novamente que os veículos elétricos em média apresentam o menor consumo de energia por km percorrido (0,62 MJ/km), seguidos pelos veículos híbridos (1.14 MJ/km) e por fim os veículos com motor de combustão interna (1.68 MJ/km). Os veículos elétricos de célula a combustível de hidrogénio apresentaram em média um consumo de energia de 1,2 MJ/km [40].

Por fim, destaca-se também um estudo desenvolvido pela universidade Livre de Bruxelas [41] confirmando os resultados obtidos pelos outros dois estudos ([14], [40]). Este estudo analisa também o impacto ambiental para os diversos tipos de tecnologias de propulsão, sendo que para tal se desenvolveu uma metodologia semelhante à avaliação para o ciclo de vida (LCA), denominada por Ecoscore. Nesta metodologia são considerados os diversos danos causados pelos vários tipos de poluentes emitidos pelos veículos (aquecimento global, danos ao sistema respiratório, chuvas ácidas, poluição sonora, danos a infraestruturas, etc.). O Ecoscore resulta assim da ponderação dos indicadores criados para avaliar os vários tipos de danos causados pela emissão de poluentes (25% efeitos de estufa, 50% danos causados ao sistema respiratório, 10% para contribuição de chuvas ácidas, 10% para a poluição sonora e 5% para danos causados a infraestruturas). Esta metodologia destaca-se pelo facto de ter sido desenvolvida especificamente para avaliar o impacto ambiental causado pela emissão de poluentes em contexto urbano e por permitir avaliar diferentes tipos de tecnologias de propulsão.

Apresenta-se de seguida, na Figura 2 os valores de Ecoscore calculados para diversos tipos de veículos, destacando-se que os veículos elétricos constituem a solução que permite menor impacto ambiental resultante da sua utilização.

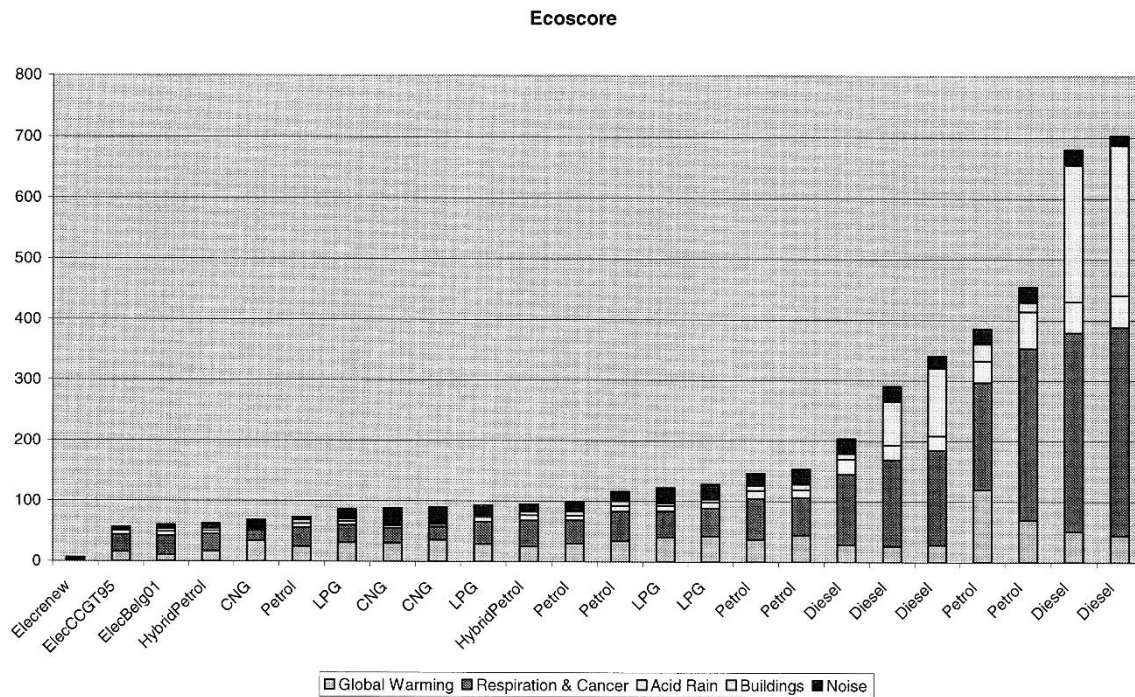


Figura 2- Ecoscore calculado para diversos tipos de tecnologias de propulsão. Fonte: [41]

O estudo anteriormente referido [14] permitiu também constatar que o perfil de condução característico do utilizador do veículo exibe influência sobre o consumo energético do mesmo, dado que, diferentes perfis de condução, criados por diferentes condutores, resultam em diferentes impactes para a mesma viagem ou até mesmo para a utilização de veículos idênticos. No entanto, apenas foi feita referência à influência deste parâmetro para os veículos elétricos. Porém, a influência do perfil de condução não é exclusiva a este tipo de tecnologia de propulsão, pelo que serão referidos outros estudos que permitem confirmar a significativa influência deste parâmetro para veículos com motor de combustão interna.

Um estudo efetuado na Bélgica [15], demonstrou que um estilo de condução agressivo poderá refletir um aumento do consumo de combustível até 40% comparativamente a um estilo de condução normal e um aumento das emissões de poluentes (CO, HC e NO_x) até um factor de 8. Os resultados foram obtidos através da realização de vários testes em diferentes contextos de condução, utilizando para isso 9 veículos ligeiros de passageiros (ICE-convencionais) conduzidos por dois tipos de condutor: o primeiro com um estilo de condução calmo e o segundo com um estilo de condução mais agressivo. As viagens foram monitorizadas com um dispositivo PEMS (Portable Emission Measurement Systems), o que permitiu confrontar os impactes dos diferentes estilos de condução.

De destacar ainda que as diferenças verificadas entre os tipos de condução foram mais evidentes para os veículos a gasolina, comparativamente aos veículos diesel testados [15]. Estes resultados constituem uma tendência conhecida e que se verifica noutros artigos sobre o tema [24] [25], o que tem originado um crescente interesse sobre técnicas de alteração dos comportamentos de condução dos veículos para a redução do consumo de energia dos mesmos.

Uma dessas técnicas é a eco condução, tendo como principal objetivo a poupança de combustível e a redução de emissões de poluentes através de **sistemas de regulação de velocidade e aceleração dos veículos**, em função das condições externas de circulação (tráfego, condições climatéricas, etc.). A utilização de **dispositivos** que permitam **indicações para uma eco condução** em tempo real, permite reduções de 10 a 20% no consumo de combustível e emissões de CO₂ [16] [44].

Outros estudos sugerem diferentes técnicas para a implementação da prática de medidas de condução eficiente, tais como a formação dos condutores através de ações de formação em sala seguidas da avaliação dos comportamentos de condução pelos formandos em situações reais de condução [45] [46].

Através destas ações de formação os condutores serão educados relativamente ao **estilo de condução mais apropriado** para a redução do consumo de combustível, através da introdução de diferentes comportamentos tais como [45]:

- Alteração da mudança do veículo (caixa de velocidades) o mais cedo possível para um máximo de 2500 *rpm*;
- Utilização suave do pedal do acelerador, de modo a evitar travagens desnecessárias causadas por uma aceleração excessiva para as condições de tráfego desapropriadas para tal;
- Utilização moderada do pedal do travão, visto que em algumas situações a desaceleração (causada pelo largar do pedal do acelerador) é suficiente;
- Não reduzir a mudança do veículo demasiado cedo.

As ações de formação permitem também educar os condutores relativamente aos **aspetos técnicos do veículo** que influenciam o consumo de combustível do mesmo, tais como [45]:

- Carga transportada (relacionada como peso do veículo);
- Utilização de malas de tejadilho (aerodinâmica do veículo mais desfavorável para a sua circulação);
- Pressão dos pneus, etc.

Os efeitos da eco condução são também transversais às várias tecnologias de veículos, tal como demonstrado pelo estudo (2019) realizado pelo *Riverside Center for Environmental Research & Technology* da universidade da Califórnia [43], no qual foram avaliados e comparados os efeitos de técnicas de eco condução sob o consumo de energia de veículos elétricos e convencionais. Foram utilizadas diferentes tipologias de veículos (veículos ligeiros de passageiros/*Passenger car*, veículos pesados de transporte de passageiros/*Transit Bus* e veículos pesados de transporte de mercadorias/*HD truck*) para ambas as tecnologias de propulsão. A Figura 3 apresenta o resumo dos resultados obtidos pelo estudo referido [43].

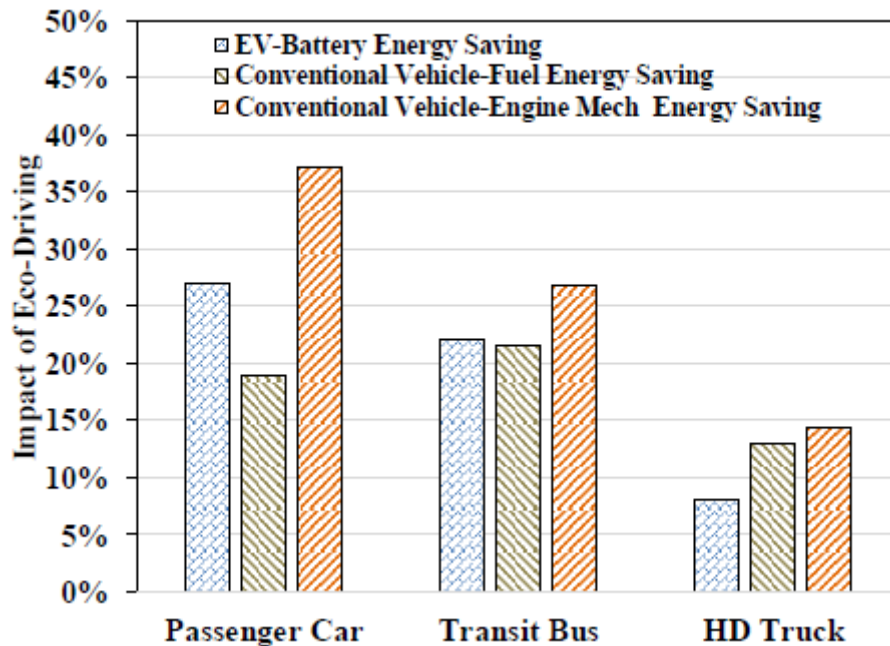


Figura 3- Comparação da % da redução do consumo de energia para VE e veículos convencionais resultantes da prática de medidas de condução eficiente. Fonte: [43]

O gráfico da Figura 3 demonstra claramente que a utilização de medidas de condução eficiente permite a redução do consumo de energia para ambas as tecnologias de propulsão. Comparando com os VE, a eco condução resulta, para os veículos convencionais, em reduções da energia mecânica do sistema de propulsão (terceira coluna- laranja) superiores, principalmente pelo facto do veículo elétrico, através do sistema de travagem regenerativa, recuperar parte da energia mecânica desperdiçada por travagens excessivas (característica de uma condução agressiva). [43]

No entanto, devido ao efeito da redução da eficiência do motor térmico para baixas cargas (característica das medidas de eco condução), a poupança de combustível alcançada para os veículos convencionais (segunda coluna- castanho) revela-se inferior à poupança da energia consumida pelo VE (primeira coluna- azul). Com exceção dos veículos pesados de transporte de mercadorias em que a redução do consumo de energia é superior para os veículos convencionais. [43]

Por fim, procede-se à análise dos fatores abrangidos pelo último parâmetro definido (contexto de utilização do veículo), fazendo referência a vários fatores que influenciam o consumo de energia do veículo, tais como a escolha do percurso (distância percorrida, tipo de estrada, declive da estrada), o tráfego envolvente (relacionado com o horário de circulação) e a carga transportada/taxa de ocupação (dependente da função a desempenhar pelo veículo).

O planeamento da viagem é maioritariamente baseado na experiência do condutor (para destinos conhecidos), na informação disponível sobre a duração da viagem, na distância e outros fatores relacionados com a viagem. Habitualmente, os condutores optam por rotas que

minimizam o tempo de viagem, ainda que estas possam representar percursos mais longos em termos de distância. Um estudo de Ahn e Rakha (2007), realizado nos EUA, decidiu averiguar se a escolha de uma rota mais longa, porém mais rápida, poderia representar poupanças do consumo de energia e consequentemente redução dos impactes ambientais associados a esse percurso [17]. Foram assim analisados os dados experimentais (ciclos de condução, topografia e coordenadas) resultantes da monitorização de 21 viagens (recolhidos através de um dispositivo GPS e posterior tratamento de dados através de uma ferramenta numérica) para duas rotas no estado de Virgínia, nos EUA, apresentadas na Figura 4, em que uma das rotas apresenta um tempo de viagem inferior, porém uma distância total percorrida superior à rota alternativa, sendo por isso coerente com a questão colocada acima colocada.

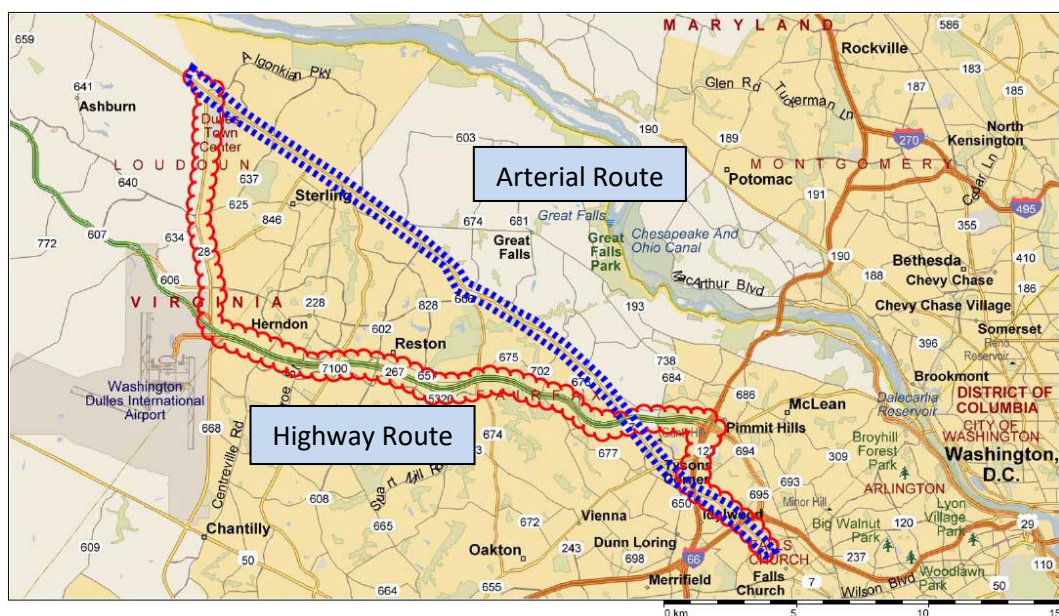


Figura 4- Rotas avaliadas no estudo de Ahn e Rakha (2007). Fonte: [17]

Os resultados obtidos demonstram que a utilização do percurso mais rápido nem sempre representa a melhor escolha de um ponto de vista energético e ambiental, dado que, em certos casos, a utilização da rota alternativa permitiu melhorias até 63, 71, 45, e 20% nas emissões de HC, CO, NO_x e CO₂, respetivamente, apesar de este inferir um tempo de viagem superior em 17%. Este tipo de resultados, comprovado com outros estudos [18], demonstram a influência da escolha do percurso no consumo de energia do veículo, sendo por isso necessário a consideração deste fator para a análise dos impactes energéticos e ambientais de uma viagem do ponto A ao ponto B.

O tráfego e o congestionamento afetam o consumo energético do veículo para a realização de uma determinada viagem, dado que, principalmente em meios urbanos, o congestionamento reduz a velocidade média de circulação do veículo para a totalidade da distância a percorrer, comparativamente à realização dessa mesma viagem num período sem congestionamento. Apesar do congestionamento ser um parâmetro externo, com carácter aleatório, a sua ocorrência é mais provável em períodos de hora de ponta. Este condicionamento do fluxo de tráfego tem

consequências ao nível do consumo energético e das emissões de poluentes, confirmadas na literatura em vários estudos [18] [19] [20], tendo-se observado aumentos entre os 7 e os 32 % para o consumo de combustível e entre 9 e os 33 % nas emissões de CO, HC e NO_x para viagens realizadas em hora de ponta, comparativamente a viagens realizadas fora de hora de ponta, em função do percurso utilizado [18].

A inclinação da estrada, de acordo com vários estudos analisados [18] [21], apresenta também uma influência significativa no consumo de combustível e na emissão de poluentes por parte dos veículos. Esta influência encontra-se relacionada com o facto de que, a um declive positivo da estrada estar associada a necessidade de uma maior potência extraída do motor para manter o veículo à mesma velocidade, o que por sua vez origina valores superiores de consumo de energia e respetivas emissões [21]. Um dos estudos referidos, procurou quantificar essas diferenças através da monitorização (dispositivo PEMS) de viagens reais realizadas por veículos ligeiros a gasolina, sendo que, as emissões médias de NO_x, para declives iguais ou superiores a 5%, foram superiores por um fator de 4, comparativamente a declives iguais ou inferiores a 0%, e relativamente ao consumo de combustível médio verificaram-se diferenças entre 40 a 100% [18]. Foram também realizados estudos com o objetivo de aferir a influência da inclusão da inclinação da estrada nas ferramentas numéricas de quantificação de impactes. Num desses estudos, focado na ferramenta MOVES e na utilização de dados experimentais recolhidos através de um dispositivo GPS e um leitor OBD, verificou-se que a não inclusão de dados relativos ao perfil de altitude da viagem origina erros nos fatores de emissão entre 10 a 48% [21].

Por fim, destacam-se também outros fatores, tais como a carga transportada e a taxa de ocupação do veículo, que revelam uma influência sobre o consumo de combustível do automóvel menos significativa, comparativamente aos outros fatores anteriormente referidos, visto que por cada 100 kg de carga adicional transportada se estima apenas um aumento médio do consumo entre 6 a 7% e por cada passageiros extra transportado se verifica somente um aumento médio do consumo de combustível do veículo de aproximadamente 5% [25].

Contudo, considerando a diversidade e aleatoriedade do tipo de serviços, a dispersão geográfica e por vezes os horários na qual os veículos são utilizados na empresa que serve de caso de estudo ao presente trabalho, através da análise apresentada acima sobre os fatores que contribuem mais significativamente para o consumo de combustível do veículo conclui-se que, deverão ser aplicadas medidas relacionadas com a alteração da tecnologia dos veículos utilizados, dado que, nos estudos indicados [14] [40], se verificou que os veículos elétricos apresentaram um consumo energético médio cerca de 40% inferior à média global, podendo por isso constituir uma boa opção para uma redução do consumo de combustível da frota automóvel. Também através dos estudos apresentados [15] [16], conclui-se que medidas que promovam uma condução mais eficiente poderão revelar-se bastante eficazes para a redução do consumo global da frota uma vez que um estilo de condução agressiva poderá representar um aumento até 40% do consumo de energia do veículo.

Não foi possível encontrar estudos com resultados da redução do consumo de energia resultantes da implementação de medidas semelhantes a duas medidas apresentadas neste trabalho (1ª e 3ª medida). O facto de este tipo de projeto estar associado a auditorias privadas realizadas nas empresas por entidades particulares, resulta naturalmente na falta de partilha de informações referentes às mesmas, tanto relativamente às medidas propostas como às metodologias para a avaliação do impacto energético, ambiental e financeiros. Pelo que se considera que este projeto representa uma mais valia no âmbito da melhoria da eficiência energética da frota automóvel de qualquer empresa analisada (com uma frota semelhante), apresentando medidas para a redução do consumo de energia de aplicação transversal a qualquer empresa, metodologias para a avaliação dos impactos resultantes das mesmas, bem como uma extensa quantidade de resultados obtidos baseados em dados reais de circulação (consumos reais de circulação, comparação de várias tecnologias de veículos, simulação de vários cenários de eco condução etc.)

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consistiu na quantificação dos impactos energéticos, ambientais e económicos associados à implementação de medidas para a redução do consumo energético da frota automóvel de uma empresa de prestação de serviços multi-técnicos, permitindo simultaneamente a redução do impacto ambiental associado à utilização da mesma.

Para tal, procedeu-se à caracterização energética detalhada da frota baseada nos dados disponíveis para a totalidade do ano de 2018. Seguidamente, com base nessa caracterização foi avaliada a viabilidade de implementação de medidas de melhoria de eficiência energética de base tecnológica e comportamental, através da estimativa do impacto energético, ambiental e financeiro resultante da implementação das mesmas.

Neste projeto tem-se ainda em consideração a meta de redução de 5%, para um período de 3 anos, dos consumos e custos energéticos, bem como das emissões de CO₂ e poluentes locais, definido pelo RGCEST (referido na secção 1.1).

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada encontra-se dividida em 4 capítulos:

No primeiro capítulo da tese é introduzida a temática em análise, discutindo-se a importância do setor dos transportes e os seus impactes, em particular dos transportes rodoviários. São também abordados alguns desafios atuais associados ao setor dos transportes rodoviários e analisados os principais fatores que influenciam o consumo de combustível do veículo para que, subsequentemente, através da criação de medidas que influenciam os fatores que se revelaram mais significativos, seja possível a redução do consumo de energia da totalidade da frota. Inserem-se ainda neste capítulo, os objetivos e a estrutura da tese.

O segundo capítulo corresponde à metodologia utilizada na realização deste trabalho. Neste capítulo apresenta-se o caso de estudo sobre o qual o projeto será desenvolvido, a caracterização energética da frota resultante do tratamento de dados aplicado à base de dados fornecida e por fim a metodologia utilizada para o desenvolvimento das medidas de redução do consumo energético, bem como os fundamentos teóricos necessários para a quantificação de impactes.

No terceiro capítulo apresenta-se os resultados obtidos pelas medidas propostas no capítulo anterior, ou seja, o impacto energético, financeiro e ambiental de cada medida desenvolvida. Apresenta-se também a descrição de estratégias e tempos de implementação das medidas propostas, os investimentos necessários à implementação das mesmas e os respetivos tempos de retorno, bem como soluções alternativas que poderão melhorar os resultados obtidos.

Por último, o quarto capítulo, onde são apresentadas as principais conclusões sobre o projeto desenvolvido, nomeadamente os seus resultados face ao objetivo inicial proposto. São também apresentadas sugestões de trabalho futuro, relativamente às medidas apresentadas que possam refletir melhorias na redução do consumo de energia da frota automóvel da empresa.

2 Metodologia

Nesta secção será apresentado o caso de estudo considerado e descrita a metodologia utilizada para a caracterização da frota automóvel, sendo posteriormente apresentados os dados resultantes da mesma. Apresentar-se-á por fim, a descrição das medidas a serem implementadas e a metodologia utilizada na quantificação dos respetivos impactes energético, financeiro e ambiental.

2.1 Caso de estudo

O trabalho desenvolvido no âmbito do estudo apresentado, foi realizado na empresa SOTÉCNICA - Sociedade Electrónica S.A., através de um estágio de 6 meses no âmbito do Programa de estágios GALP 21. Trata-se duma empresa multinacional de serviços multi-técnicos com mais de 65 anos de atividade que se encontra bem representada em território nacional, tendo atualmente várias filiais (Faro, Évora, Lisboa, Coimbra, Porto), sendo que a sua unidade central está sediada em São Julião do Tojal, Lisboa, local onde foi desenvolvido o trabalho.

As áreas de especialidade da empresa consistem em: manutenção técnica e gestão de instalações, climatização, instalações elétricas, mecânicas e hidráulicas, eletricidade de baixa, média e alta tensão e energias renováveis.

Tendo em conta as diversas áreas de atividade da empresa, existem diferentes unidades de negócio internas (Business Units, BU), implicando assim, uma utilização das viaturas de forma distinta quando comparadas entre si. Justifica-se por isso, a separação e análise de veículos atribuídos a cada uma dessas BU, tal como será descrito mais detalhadamente na secção 2.2 (caraterização energética de frota). De todas as BU existentes foram analisados os veículos atribuídos às seguintes:

- *Head office* (HO): Serviços de suporte às áreas produtivas;
- *Vinci Facilities* (VFP): *Facilities Management e Building Solutions*, fornecendo soluções sob medida de baixo custo e sustentáveis para clientes dos setores público e privado;
- Área de manutenção Norte e Sul (AMTN/S): soluções de manutenção multitécnica e de *Facilities Management* em edifícios de serviços, unidades industriais, espaços comerciais e habitação;
- Omexom (OMX): Promove o acesso a eletricidade, melhora a segurança no fornecimento e desenvolve energia sustentável;
- Omexom empreitadas contínuas (OMX-EC);
- Área de instalações mecânicas e hidráulicas (AIM);
- Área de baixa tensão (ABT); e

- Área fabril (AFB), conceção e execução de quadros elétricos e monoblocos de média tensão, mesas de comando e controle e tratamento de superfícies.

Dada a diversidade de áreas de negócio, a empresa possui, naturalmente, uma frota de grande dimensão sendo constituída por 216 veículos, à data do estudo, para utilização por parte dos colaboradores nas deslocações inerentes à sua função, a clientes, locais de intervenção ou simplesmente no trajeto diário casa-escritório. A frota automóvel possui também, uma elevada variedade de tipologia de veículos, apresentando desde veículos ligeiros de passageiros e mercadorias a veículos pesados, bem como máquinas e retroscavadoras.

Relativamente à amostragem utilizada, dos 216 veículos existentes, foram apenas considerados 191 veículos, uma vez que, como será explicado na próxima secção (2.2 caracterização da frota), o estudo foi baseado em dados recolhidos para a totalidade do ano de 2018, sendo que os restantes veículos constituem ou veículos de 2019, ou veículos sem registo de quilometragem.

A empresa encontra-se, atualmente, em constante expansão em relação ao seu volume de negócios, sendo que o número de viaturas da frota e conseqüentemente o consumo energético associado têm aumentado. Em 2018 foram percorridos mais de 5 milhões de quilómetros, sendo que o consumo energético da frota representou um total de 345 *Tep*, o que com a crescente expansão da empresa poderá ser problemático, caso seja ultrapassado o limite permitido por lei de 500 *Tep* consumidas anualmente pela frota automóvel, uma vez que necessitaria de ser realizada uma auditoria energética à mesma [10].

Dado o contexto acima descrito, é possível compreender a importância de medidas de racionalização energética associada à frota automóvel e o potencial impacto que uma redução no consumo de combustível, ainda que pequena, poderá ter em termos monetários e ambientais.

2.2 Caracterização energética da frota automóvel

O sistema de abastecimento da empresa é feito através de postos da Galp, com a utilização do cartão Galp Frota. Os litros abastecidos são registados de forma automática, contrariamente o registo da quilometragem que é função do motorista do veículo, devendo este ser efetuado no ato de abastecimento.

A caracterização da frota foi baseada nos dados reais registados para a totalidade do ano de 2018, através do software de controlo de abastecimentos referido.

Nesta caracterização, separam-se as viaturas pelas várias BU internas, sendo seguidamente pormenorizadas as seguintes informações (conforme exemplificado na Figura 5):

- Tipologia de veículos utilizados: descrição da marca, modelo, motorização, tipo de veículo e combustível utilizado;
- Consumo energético por veículo: litros de combustível consumidos, valor monetário associado em euros, distância percorrida (*km*), e por fim o respetivo cálculo do consumo médio em litros de combustível por 100 *km* percorridos;
- Impacte ambiental: correspondendo ao valor anunciado, na ficha técnica da viatura, das emissões de CO₂ por *km* percorrido.

Area	VIATURA								consumo energético 2018 (litros)	km's percorridos	consumo médio anual (l/100km)	custo monetário associado
	MARCA	MODELO	MATRICULA	DATA	CILIND	CO2 (g/Km)	COMB.	TIPO				
AAF (HO)	RENAULT	MEGANE BREAK DYNAMIQUE		15/09/2010	1461	115	Diesel	passageiros	1961,22	29495	6,65	2 644,10 €
AAL (HO)	RENAULT	CLIO IV 1.5Dci Zen 90Cv		28/09/2017	1461	82	Diesel	passageiros	1426,68	29000	4,92	1 915,97 €
DO (HO)	MITSUBISHI	OUTLANDER PHEV		17/10/2017	1998	42	Hibrido Plug In Gasolina	passageiros	1286,81	24708	5,21	1 992,12 €
AAL(HO)	VOLKSWAGEN	POLO VAN 1.4Tdi		04/04/2008	1422	119	Diesel	passageiros	853,96	16116	5,30	1 131,69 €
		4 VEICULOS										
VFP	PEUGEOT	Partner L1 Premium 1.6 BlueHDi 100CV		16/11/2017	1560	112	Diesel	mercadorias	3671,03	50513	7,27	4 861,15 €
VFP	CITROEN	BERLINGO VAN 1.6HDI		28/08/2009	1560	153	Diesel	mercadorias	1852,71	23993	7,72	2 473,31 €
VFP	CITROEN	BERLINGO VAN 1.6HDI L1 Club 3L 75CV		22/01/2016	1560	131	Diesel	mercadorias	959,90	12478	7,69	1 276,22 €

Figura 5- Excerto representativo dos dados de caracterização da frota

Apresentam-se na Tabela 1, as informações resultantes da caracterização da frota, relativamente ao número de veículos e tipo de combustível para cada classe automóvel.

Tabela 1- Nº de veículos por tipologia e tipo de combustível

Tipo de veículo	Nº de veículos	%	Gasóleo	Gasolina	Híbrido (gasolina)	Híbrido Plug in (gasolina)	Elétrico
Ligeiro de passageiros (LP)	63	33,0	57	1	2	3	-
Ligeiro de mercadorias (LM)	114	59,7	113	-	-	-	1
Pesado	7	3,7	7	-	-	-	-
Máquina	2	1	2	-	-	-	-
Retroescavadora	3	1,6	3	-	-	-	-
Trator agrícola	2	1	2	-	-	-	-
TOTAL	191	-	184	1	2	3	1

Para a amostra considerada, no ano de 2018 foram percorridos cerca de 5 089 745 *km*, com um consumo de 397 098,33 litros de combustível (média de 7,4l/100km) e um custo monetário associado de 532 502,81 €.

Como é possível observar na Tabela 1, a classe de veículos ligeiros (passageiros e mercadorias) é a mais representativa, constituindo 92,7% da totalidade da frota automóvel. Esta classe representa também, 88,3% (470 106,86 €) da despesa total de combustíveis.

Conclui-se assim que, de forma a atuar mais eficazmente no consumo energético da frota, será nestas categorias que se devem concentrar as medidas de redução do consumo energético, pelo que o desenvolvimento das propostas e quantificação do impacte financeiro e ambiental é exclusivo a esta classe de veículos.

Estando definida a classe de veículos sobre a qual o estudo deverá incidir, pretende-se seguidamente determinar qual(is) a(s) BU(s) que contribuem de forma mais significativa para o consumo total de combustível. Para tal, foram calculados os seguintes indicadores de eficiência energética (ver Figura 6): valor médio do custo por quilómetro percorrido (€/km), valor médio do consumo de combustível por 100 km percorridos (l/100km), o valor médio do custo de combustível por veículo (€/veículo) e por fim o valor médio de emissões de CO₂ por quilómetro percorrido (g/km).

Para facilitar a comparação dos indicadores de eficiência energética entre as várias BU, são apresentados na Figura 6 os gráficos representativos dos dados obtidos para os vários indicadores definidos.

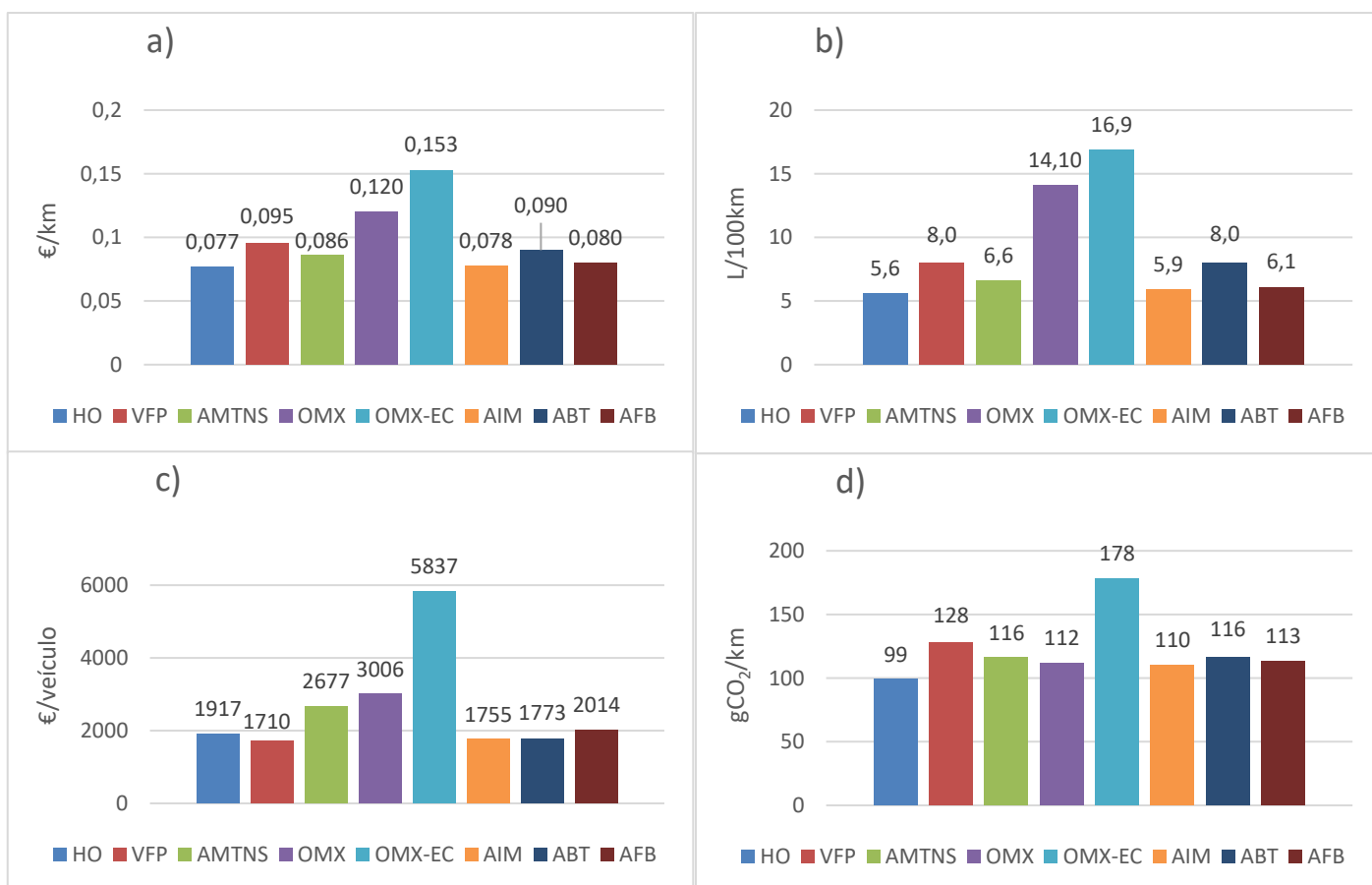


Figura 6- Comparação dos indicadores de eficiência energética por BU: a) Custo médio por km; b) Consumo médio de combustível; c) Custo médio por veículo; d) Média de emissões de CO₂.

Como se pode observar o custo por quilómetro percorrido está relacionado com o consumo médio dos veículos pertencentes a cada BU, sendo que será superior para valores superiores de consumo médio. Relativamente a estes dois primeiros indicadores, conclui-se que os valores superiores são registados para as BU OMX-EC e OMX, com médias de consumo de 16,9l/100km (0,1529 €/km) e 14,1l/100km (0,1204 €/km), respetivamente.

Inicialmente, poderia ser assumido que a origem destes elevados valores estaria relacionada com uma utilização ineficiente de veículos (ou veículos pouco eficientes) por parte das BU referidas. No entanto, após análise da tipologia de veículos por BU, apresentada na Tabela 2, conclui-se que a média do consumo de energia é mais elevada, pelo facto de serem estas as BU às quais estão atribuídas as viaturas pesadas, incluído também máquinas e tratores, que naturalmente apresentam um consumo de combustível superior, bem como emissões de CO₂ mais elevadas.

Tabela 2- Tipologia de viaturas por BU

BU	LP	LM	Pesado	Máquina	Retro.	Trator	TOTAL(BU)	%veículos por BU
HO	11	-	-	-	-	-	11	5,8
VFP	6	12	-	-	-	-	18	9,4
AMTNS	14	71	-	-	-	-	85	44,5
OMX	11	3	4	2	-	1	21	11,0
OMX-EC	2	13	3	-	3	1	22	11,5
AIM	6	5	-	-	-	-	11	5,8
ABT	8	9	-	-	-	-	17	8,9
AFB	5	1	-	-	-	-	6	6,1
TOTAL	63	114	7	2	3	2	191	100%

Continuando a análise dos indicadores da Figura 6, relativamente à média do custo energético por viatura (€/veículo) destaca-se que, para a área da manutenção (AMTNS), embora o consumo médio de combustível apresente um valor reduzido, quando comparado com outras BU de destaque, tais como OMX e OMX-EC, o custo energético por veículo consiste no terceiro mais elevado, o que poderia indicar, também nesta BU, a existência de uma utilização menos eficiente dos veículos disponíveis.

Porém, analisando a Tabela 2 e 3, apresentando esta última os quilómetros distribuídos por cada BU e o respetivo custo associado, é possível concluir que se trata (AMTNS), não só da BU com o maior número de veículos atribuídos (44,5 % do valor total), mas também a BU em que são percorridos 51,3% dos quilómetros totais para o ano de 2018 (Figura 7), justificando assim a disparidade entre os valores dos indicadores referidos.

Tabela 3- Distâncias percorridas e custo monetário associado por BU

BU	Distância (km)	%	Custo de combustível (€)	%
HO	214 519	4,2	21 084,17	4,0
VFP	316 797	6,2	30 787,03	5,8
AMTNS	2 610 731	51,3	227 580,86	42,7
OMX	510 788	10	63 118,09	11,9
OMX-EC	706 032	13,9	128 410,91	24,1
AIM	246 803	4,8	19 305,13	3,6
ABT	333 365	6,6	30 134,93	5,7
AFB	150 710	3	12 081,69	2,2
TOTAL	5 089 745	100%	532 502,81	100%

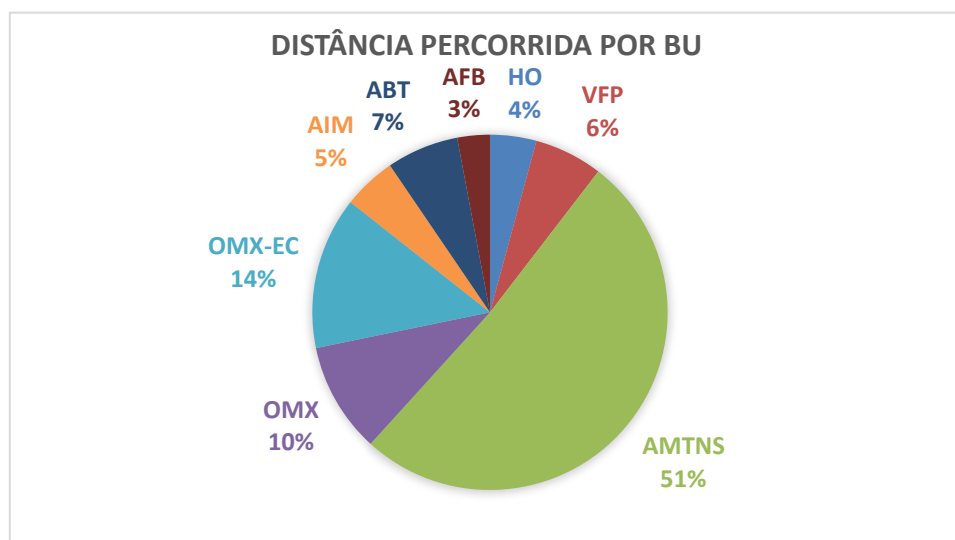


Figura 7- Distância (em %) percorrida por BU

Da caracterização apresentada conclui-se que, as BU AMTNS e OMX-EC são as mais representativas face aos gastos totais de combustível, quer pelo elevado número de veículos atribuídos e quilómetros percorridos (AMTNS), quer também pela tipologia de veículos com elevado consumo de combustível médio (OMX-EC), pelo que devem ser desenvolvidas medidas de redução de consumo energético que se foquem nestas duas áreas em específico.

Para a AMTNS, dado o elevado número de quilómetros percorridos, é fundamental o desenvolvimento de medidas que resultem na utilização de veículos mais eficientes de forma a minimizar os impactes associados à sua utilização. Já para a OMX-EC revela-se importante a implementação de boas práticas de condução que minimizem o consumo médio de combustível, tais como a eco-condução, face ao elevado valor deste parâmetro.

Tendo em conta as restrições apresentadas, procuraram-se medidas transversais a todas as BU, apresentadas na secção 2.3, para que fossem otimizados o maior número de veículos possível, que serão detalhadas relativamente à sua metodologia nas seguintes secções.

2.3 Definição de medidas de eficiência energética

Nesta secção apresentar-se-á, a descrição das medidas propostas para implementação e a metodologia utilizada na quantificação dos respetivos impactes financeiro, energético e ambiental. Apresenta-se de seguida (Figura 8) um esquema ilustrativo da metodologia utilizada para a avaliação da viabilidade de implementação das medidas propostas.

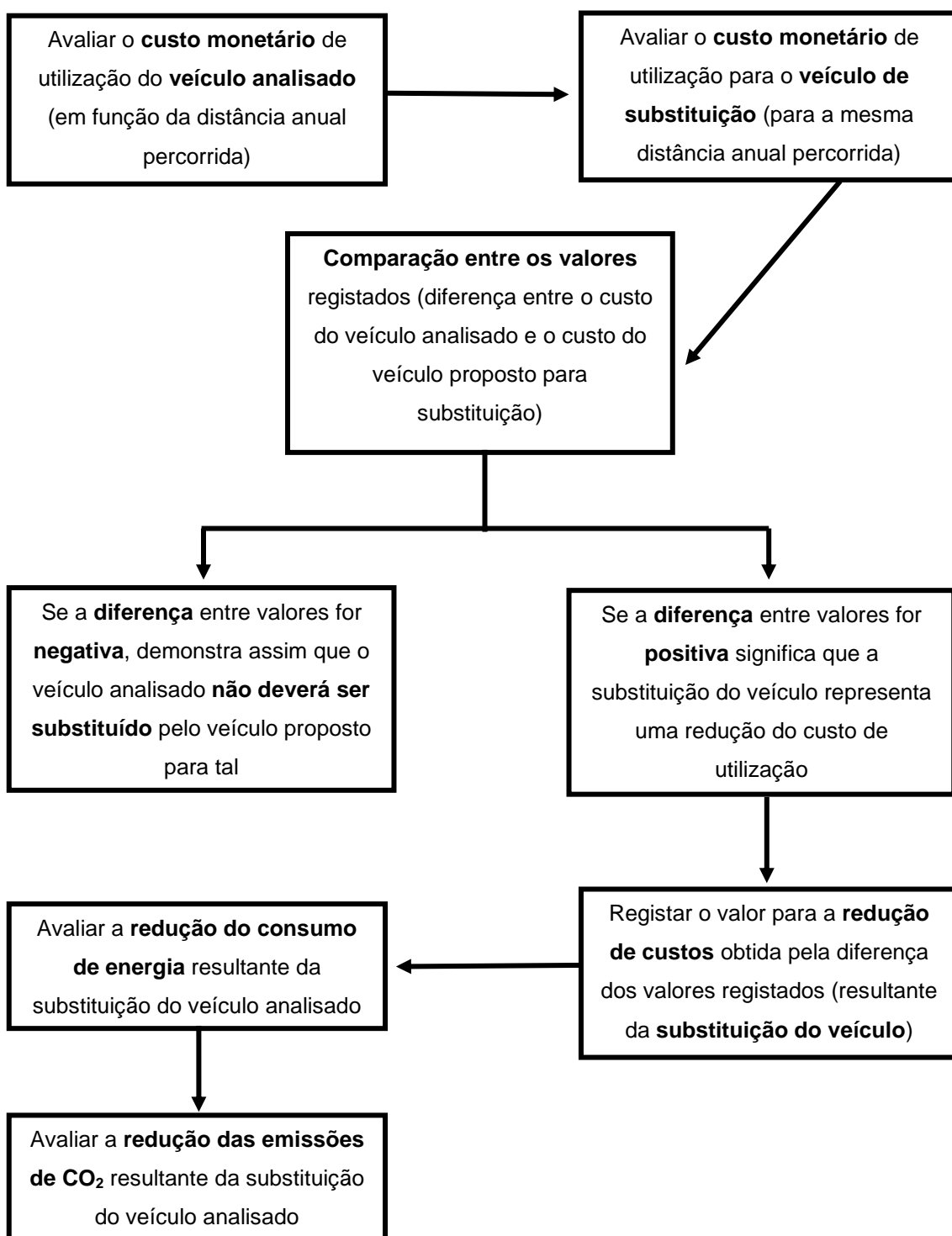


Figura 8- Esquema para a avaliação da viabilidade de implementação das medidas propostas

2.3.1 Otimização de veículos utilizados

Tendo em consideração a diversidade de veículos existentes na frota automóvel da empresa com a mesma tipologia e função, nomeadamente, para a classe de veículos mais representativa (veículos LP e LM), esta medida tem como objetivo a substituição de veículos com consumo energético mais elevado por modelos de veículos mais eficientes (menor consumo de combustível). Posteriormente foi estimado o impacto financeiro e ambiental resultante desta mesma substituição.

Para tal, foi necessária a comparação dos consumos médios de combustível entre os vários modelos de veículos existentes, procedendo-se assim à criação de 4 classes de comparação distintas, 2 para os veículos LP e 2 para os veículos LM.

- Primeira classe de LP (classe1-LP): correspondendo a veículos LP de menor dimensão (carroçaria tipo *hatchback*);
- Segunda classe de LP (classe2-LP): correspondendo a veículos LP de maior dimensão (carroçaria tipo *wagon*);
- Primeira classe de LM (classe1-LM): correspondendo a veículos LM de menor dimensão (carroçaria tipo L1); e
- Segunda classe de LM (classe2-LM): correspondendo a veículos LM de maior dimensão (carroçaria tipo L2).

De salientar que, das várias viaturas constituintes da frota automóvel da empresa, existe uma fração que pertence efetivamente à mesma ($\approx 35\%$), porém as restantes viaturas ($\approx 65\%$) são veículos de aluguer, funcionando em sistema de renting. Neste caso, em função das condições do contrato (kms, duração do contrato, manutenção, pneus), é definido um valor mensal que deverá ser pago à empresa de aluguer de viaturas pela utilização das mesmas. A atualização ou permanência dos veículos pertencentes à frota, prende-se com a renovação do contrato de aluguer, na data de término do período contractual. Desta forma, para manter a utilização da viatura considerada, seria sempre necessário um novo investimento na renovação do contrato de aluguer.

A medida subjacente à otimização da frota de veículos utilizados, centra-se na análise atual da frota, de forma a que aquando da renovação do contrato de aluguer, a viatura em questão seja substituída pelo modelo pertencente à mesma classe, que se revele mais económico (menor consumo médio de combustível). Consequentemente, esta substituição não representa um investimento adicional, permitindo assim reduzir a despesa associada ao consumo de combustível e, caso o valor de aluguer seja inferior, reduzir também o custo global associado à frota automóvel. No entanto, podem surgir casos em que o valor de aluguer da viatura de substituição seja superior ao da viatura a ser substituída, nessa situação deverá ser ponderado

o valor da redução de custos devido à redução do consumo de combustível, face ao aumento dos custos relacionados com o valor do contrato de aluguer.

Procedeu-se à comparação dos consumos médios de combustível dos modelos mais recentes da frota automóvel, visto que, a substituição por esses modelos se revela benéfica quanto ao impacto ambiental, dado que se tratam dos veículos em que o valor de emissões de poluentes por quilómetro percorrido é inferior. No caso das viaturas que pertencem efetivamente à empresa, não foi verificado nenhum caso em que a redução do custo anual devido à redução do consumo de combustível fosse superior ao investimento anual no aluguer de uma nova viatura de substituição, aumentando assim a despesa total associada à utilização destes veículos.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7, são apresentados os modelos de comparação considerados e os respetivos valores médios dos consumos de combustível, tendo em consideração as classes acima definidas. Estas tabelas permitem identificar os veículos mais eficientes para utilizar como referência para substituição aquando da renovação dos contratos de aluguer.

Tabela 4- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe1-LP (a verde destaca-se o veículo com menor consumo de combustível médio)

Marca e Modelo	Nº veículos	$\overline{l/100km}$	Desvio padrão	Variabilidade - Consumo em l/100km	
Renault Clio IV 1.5Dci Zen 90Cv (2016-2018)	4	4,96	0,399	5,36	4,56
Peugeot 208 Active 1.6Blue HDI 75Cv 5P (2017)	2	5,55	0,076	5,63	5,48
Peugeot 108 Style 1.0 VTi 68cv 5P (2017)	1	7,26	0	-	-
Citroen C3 1.6Blue HDI Seduction (2016)	1	5,73	0	-	-
Toyota Yaris 1.5HSD Confort Pack Style (2018)	2	5,47	0,05	5,52	5,42

Tabela 5- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe2-LP

Marca e Modelo	Nº veículos	$\overline{l/100km}$	Desvio padrão	Variabilidade - Consumo em l/100km	
Peugeot 308SW Gasóleo 1.5BlueHDI Allure 5d (2016-2018)	3	5,96	0,683	6,64	5,28
Renault Megane tourer 1.5dCI 95cV (2015-2017)	4	5,80	0,192	5,99	5,61
Renault Clio Sport Tourer Zen Energy Dci 90Cv (2016-2018)	4	5,48	0,626	6,10	4,85
Renault Megane IV Sport Tourer Zen Energy Dci 90CV (2017-2018)	5	6,31	1,252	7,57	5,06

Tabela 6- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe1-LM

Marca e Modelo	Nº veículos	$\overline{l/100km}$	Desvio padrão	Variabilidade - Consumo em l/100km	
Citroen Berlingo van 1.6HDI L1 Club 3L 75CV (2016-2018)	10	6,77	0,683	7,45	6,08
Citroen Berlingo van Blue1.6Hdi L1 Club 3Lug 100Cv (2017)	17	6,21	0,607	6,81	5,60
Citroen Nemo 1.3HDI 75Cv (2016)	9	6,27	0,494	6,76	5,78
Peugeot Partner L1 Premium 1.6 Blue HDi 100CV (2017)	15	6,55	0,854	7,40	5,70
Peugeot Partner Blue1.6Hdi 75Cv L1 Premium (2016)	14	6,54	0,434	6,98	6,11
Renault Kangoo Express 2 L1 Business 90Cv (2017)	5	6,35	0,479	6,83	5,87

Tabela 7- Comparação de valores médios de consumo de combustível classe2-LM

Marca e Modelo	Nº veículos	$\overline{l/100km}$	Desvio padrão	Variabilidade - Consumo em l/100km	
Citroen Berlingo L2 1.6BlueHDI 100 CV Club 3Lug (2017)	5	6,54	0,420	6,97	6,12
Citroen Berlingo van 1.6HDI L2 Club 90Cv (2016)	2	6,77	0,522	7,29	6,25

Na Tabela 8 são apresentadas as caracterizações dos modelos de veículos com menor consumo energético para as diversas classes consideradas.

Tabela 8- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por classe definida

Classes	Marca	Modelo	$\overline{l/100km}$	Anos de produção	Potência (cv)	Cilindrada (cm ³)	Combustível
Classe1-LP	Renault	Clio IV	4,96	2016-2019	90	1461	Gasóleo
Classe2-LP	Renault	Clio IV Sport Tourer	5,48	2016-2019	90	1461	Gasóleo
Classe1-LM	Citroen	Berlingo Van L1 Club (3Lug.)	6,21	2015-2019	100	1560	Gasóleo
Classe2-LM	Citroen	Berlingo Van L2 Club (3Lug.)	6,54	2015-2019	100	1560	Gasóleo

Definidos os veículos de referência, apresenta-se de seguida a aplicação desta medida para um veículo específico com carácter exemplificativo da metodologia aplicada a todos os veículos pertencentes às diversas classes analisadas que apresentem um consumo médio de combustível superior em relação aos de referência.

Para a implementação da medida apresentada, são necessários os seguintes dados (Tabela 9) relativamente ao veículo a ser substituído:

Tabela 9-Dados necessários para análise de substituição do veículo considerado

Marca e Modelo	Consumo de energia (Litros)	Distância percorrida (km)	Consumo médio (l/100km)	Custo monetário (€)	Combustível
Fiat Panda Cross 1.3JTD 95 Cv	3 565,46	66 360	5,37	4 799,03	Gasóleo

De seguida é necessária a identificação da classe associada ao veículo analisado e o respetivo veículo de referência.

Para o exemplo demonstrado o veículo considerado pertence à classe 1-LP, cujas características do veículo de referência definido se encontram na Tabela 10.

Tabela 10- Dados necessários do veículo de substituição (referência)

Marca e Modelo	Consumo médio (l/100km)
Renault Clio IV 1.5Dci Zen 90Cv	4,96

Dado a comparação do consumo médio da viatura em análise e do veículo de referência, apresentados na Tabela 9 e 10, respetivamente, conclui-se que a substituição pelo modelo de referência poderá revelar-se vantajosa. No entanto, é necessário proceder-se ao cálculo exato da redução de custos associados à redução do consumo médio de combustível, correspondendo assim ao cálculo do custo de combustível para o veículo de referência caso fosse percorrida a mesma distância anual que o veículo em análise.

O custo monetário para o veículo de referência (CV_{ref} em euros), calcula-se através da multiplicação do consumo médio de combustível ($L/100km$) do veículo de referência (CC_{ref} em $L/100km$), pela distância percorrida pelo veículo em análise (km_i) e pelo preço do combustível do mesmo ($PC_i = \frac{\epsilon_i}{L_i}$ em euros/litro), visto que se trata do mesmo tipo de combustível para ambos os veículos (Eq.1). Tendo em consideração a variação semanal dos preços de combustível, e as quantidades abastecidas em cada período, não é possível a definição de um preço de combustível transversal a todos os veículos da frota automóvel. Desta forma, o preço do combustível considerado para o cálculo em questão, é obtido para cada caso analisado através da divisão do custo monetário anual de combustível para o veículo em análise (ϵ_i), pela quantidade anual de litros de combustível abastecidos pelo mesmo (L_i).

$$CV_{ref} = CC_{ref} * \frac{km_i}{100} * PC_i \quad (Eq.1)$$

Analogamente o custo monetário para o veículo em análise CV_i (em euros) poderá ser calculado pela equação 1 substituindo o valor do consumo de combustível do veículo de referência pelo do veículo analisado (Eq.2).

$$CV_i = CC_i * \frac{km_i}{100} * PC_i \quad (Eq.2)$$

A redução de custos (Eq.3) é obtida pela diferença entre o custo monetário para o veículo em análise (CV_i em euros), calculado através da equação 2 ou retirado diretamente da Tabela 9, e o custo calculado para o veículo de referência (CV_{ref} em euros).

Para o exemplo considerado obtém-se:

$$CV_{ref} = 4,96 * \frac{66360}{100} * \frac{4799,03}{3565,46} = 4430,23€$$

$$\text{Redução de custos de combustível} = CV_i - CV_{ref} = (\text{Eq. 3})$$

$$= 4799,03 - 4430,23 = 368,80€$$

No entanto, é necessário proceder à comparação dos valores mensais do contrato de aluguer dos veículos em questão, neste caso os contratos dos veículos analisados encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11- Condições do contrato de aluguer do veículo analisado e do veículo de referência

Marca e Modelo	Duração (meses)	Distância (km)	Valor mensal de aluguer (€)
Fiat Panda Cross 1.3JTD 95Cv	48	200 000	470,99
Renaut Clio IV 1.5Dci Zen 90Cv	48	200 000	387,76

De notar que para que a comparação entre os valores dos contratos de aluguer seja representativa, os valores comparados deverão ser referentes às mesmas condições de contrato (duração e distância). Neste cálculo, sempre que possível, foram utilizados valores de comparação entre os veículos analisados nas mesmas condições de contrato. Porém, dado que estes valores correspondem a condições de contrato reais de veículos existentes na frota automóvel (retirados do mapa de renting da empresa), em algumas situações não foi possível efetuar essa comparação na mesma base, tendo nesses casos sido utilizado, os valores dos contratos cujas condições se revelaram mais semelhantes (preferencialmente o valor da distância estabelecida).

A diferença entre os valores dos contratos de aluguer (Eq. 4) é assim dada pela subtração do valor mensal do contrato de aluguer (renda) do veículo de referência (R_{ref} em euros/mês), que deverá ser considerado consoante as condições do contrato de aluguer do veículo analisado com valor mensal de aluguer (R_i em euros/mês).

$$\text{Diferença de valores de aluguer anual} = (R_i - R_{ref}) * 12 \quad (\text{Eq. 4})$$

Para o exemplo considerado consiste em:

$$\text{Diferença de valores de aluguer anual} = (470,99 - 387,76) * 12 = +998,76€$$

Para o exemplo utilizado observa-se facilmente que se trata de uma redução de custos (valor da Eq. 4 positivo) associado ao aluguer das viaturas, contribuindo conseqüentemente para o aumento da redução total de custos associados à utilização dos veículos pertencentes à frota automóvel. No entanto, existem casos em que o valor da Eq. 4 é negativo, correspondendo a um aumento do valor de aluguer, proveniente da substituição do veículo analisado pelo modelo de referência. Nestas situações surge a necessidade da comparação entre o valor da redução do custo de combustível (Eq. 3) e a diferença de valores de aluguer anual (Eq. 4).

A redução total de custos é assim dada pela soma dos valores das equações 3 e 4. Para o exemplo em questão obtém-se que a redução total de custos é dada por:

$$\text{Redução total de custos anual} = 368,80 + 998,76 = 1367,56\text{€/ano}$$

Apresenta-se, por fim a Eq. 5 para o cálculo direto da redução total de custos, permitindo assim, facilmente, a decisão de substituição pelo veículo de referência (valor da Eq. 5 > 0) ou não (valor de Eq. 5 < 0) e simultaneamente a respetiva quantificação da redução de custos em função do seu valor.

$$\text{Redução total anual de custos} = \left[(CC_i - CC_{ref}) * \frac{km_i}{100} * PC_i \right] + [(R_i - R_{ref}) * 12] \quad (Eq. 5)$$

Para o cálculo do impacte ambiental é inicialmente necessário calcular o valor da redução de litros de combustível consumidos devido à substituição do veículo analisado (Eq. 6). Posteriormente, esse valor é convertido para toneladas equivalentes de petróleo (Tep) através do valor do poder calorífico inferior (PCI em tep/ton de combustível) do combustível considerado (Eq. 7). Multiplicando o valor da redução do consumo energético em tep (Eq. 7) pelo fator de emissão (FE) do combustível considerado, em kgCO₂e/Tep, obtém-se o valor da redução de emissões de CO₂ em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tonCO₂e), apresentado na equação 8.

$$\text{Redução anual do consumo de combustível em litros} = (CC_i - CC_{ref}) * \frac{km_i}{100} \quad (Eq. 6)$$

$$\text{Redução anual do consumo de energia em Tep} = Eq. 6 * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} \quad (Eq. 7)$$

$$\text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e} = Eq. 7 * \frac{FE_{combustível}}{1000} \quad (Eq. 8)$$

Os valores para o $PCI_{combustível}$ e $FE_{combustível}$ são retirados da Tabela 1 (anexo 1) do despacho n.º 17313/2008 [33]. Para os cálculos efetuados foram utilizados os seguintes valores de conversão. Poder calorífico inferior gasóleo: 1,034 tep/ton; FE gasóleo: 3098,2 kgCO₂e/tep [33]; densidade do gasóleo: 0,84 Kg/L [34].

Para o exemplo em questão (veículos gasóleo) obtém-se a seguinte redução anual de emissões de CO₂ através da aplicação das equações 6, 7 e 8:

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 &= (5,37 - 4,96) * \frac{66360}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} \\ &= 0,7321 \text{ tonCO}_2/\text{ano} \end{aligned}$$

A emissão de CO₂ está linearmente relacionada com o consumo de combustível [24], sendo que, no caso de ocorrer uma diminuição no consumo de combustível ocorrerá também uma diminuição, de igual percentagem, das emissões de CO₂ e vice-versa.

No entanto, poderão surgir situações em que o valor da Eq. 5 é positivo, correspondendo a uma redução total de custos, resultante não da diminuição do consumo de combustível, mas sim da diminuição do valor do contrato de aluguer devido à substituição da viatura. Nestes casos, embora seja possível uma redução total de custos, não se verifica uma redução do consumo energético e conseqüentemente uma redução do impacto ambiental associado à utilização do veículo. A fim de promover, não só a redução dos custos associados à utilização dos veículos da frota automóvel, mas também do impacte ambiental associado à utilização dos mesmos, devem ser excluídos os casos em que o valor da Eq. 6 seja negativo (consumo energético) ainda que o valor da Eq. 5 seja positivo (redução de custos).

Na quantificação dos impactes resultantes deste tipo de medidas é habitual, a quantificação do impacte energético, usualmente em Tep, em acréscimo à quantificação do impacte financeiro e ambiental, sendo que o impacte energético resultante da medida apresentada, consiste naturalmente na redução do consumo de litros de combustível convertido em Tep, resultante da substituição do veículo, sendo por isso dado pela equação 7.

$$\text{Redução do consumo energético em Tep} = \text{Eq. 6} * \frac{\rho_{\text{combustível}}}{1000} * PCI_{\text{combustível}} (\text{Eq. 7})$$

Para o exemplo considerado obtém-se:

$$\begin{aligned} \text{Redução do consumo energético em Tep} &= (5,37 - 4,96) * \frac{66360}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 \\ &= 0,2363 \text{ tep/ano} \end{aligned}$$

Terminada ambas a análise financeira e ambiental, para o exemplo considerado, conclui-se que a substituição do veículo analisado pelo respetivo modelo de referência, permite uma redução total do custo de utilização de 1367,56 €/ano, uma redução das emissões de CO₂ de 0,7321 tonCO₂e/ano e a redução do consumo energético de 0,2363tep/ano face à situação atual.

2.3.2 Sensibilização para a prática de medidas de condução eficiente

A medida anteriormente apresentada, tem como objetivo a redução do consumo de combustível, através da substituição do veículo utilizado por um modelo mais eficiente. Nesta secção, a medida proposta apresenta o mesmo objetivo, atuando ao nível do condutor, sensibilizando-o para a adoção de práticas de condução mais eficientes. A revisão bibliográfica indica que uma condução agressiva poderá refletir um aumento até 24% do consumo de combustível, sendo que a prática de medidas de condução eficiente poderão reduzir o consumo de combustível entre 6 a 8%, confirmando assim a importância desta medida [25].

Visto que o foco desta medida consiste no modo de condução dos veículos, trata-se assim de uma medida transversal às várias tipologias e funções de veículos, permitindo não só reduzir o consumo de combustível do veículo sem a necessidade de substituição do mesmo, bem como, potenciar a redução de custos associados à implementação de outras medidas propostas, tais como, a substituição de veículos por modelos mais económicos, quer se trate da alteração por veículos tradicionais (motores de combustão interna) ou veículos de propulsão 100% elétrica.

A implementação desta medida será realizada através da formação dos colaboradores da empresa. As formações propostas têm uma duração média de 4 horas integrando uma componente teórica e prática. A formação inicia-se por uma exposição teórica, por parte do formador, sobre a importância do tema tratado, os riscos associados à prática duma condução agressiva e os principais fatores que influenciam o consumo de combustível relacionados com o veículo. Segue-se a componente prática, na qual, o formador define um trajeto a percorrer, sendo que, neste percurso o formando desconhece ainda quais as medidas específicas que contribuem para uma condução eficiente, sendo registado no fim do percurso, a duração da viagem e o consumo médio de combustível. O formador fará novamente uma exposição teórica, desta vez direcionada para a prática de medidas de condução eficiente, sendo que a viagem anterior permite também ao formador a identificação dos comportamentos, por parte do formando, que poderão contribuir para um consumo de combustível mais elevado. Por fim, segue-se novamente uma parte prática, em que deverá ser percorrido o mesmo trajeto, no qual o formador corrige os comportamentos de condução prejudiciais ao consumo de combustível e sugere novamente medidas que permitem uma condução mais segura e económica. No fim do percurso são comparados os valores da duração de viagem, bem como do consumo de combustível médio. Contrariamente ao que seria expectável, a aplicação das medidas de condução eficiente sugeridas, permitem a redução da duração da viagem, ainda que o consumo de combustível seja inferior ao anteriormente registado.

Por forma a calcular o impacto financeiro e ambiental associado à implementação desta medida, surge a necessidade da definição dos perfis de condução eficiente através da análise da frota, a fim de determinar a percentagem de redução do consumo médio de combustível resultante da implementação de medidas de condução eficiente. Existem na literatura várias referências para

a redução do consumo de combustível associado à formação dos colaboradores em condução eficiente [24] [25]. No entanto, considerando o elevado número de veículos constituintes da frota automóvel, verifica-se naturalmente a existência de mais de um veículo igual para a maioria dos modelos de veículos analisados. Desta forma, uma alternativa à utilização do valor teórico (para a redução do consumo de combustível), passa por considerar os perfis de condução mais eficiente para os mesmos modelos de veículos. Isso permite a definição da percentagem de redução do consumo de combustível através da comparação dos consumos médios de combustível dos vários casos existentes por modelo analisado.

Para este trabalho, foram considerados dois cenários, um otimista e outro pessimista, sendo que, para ambos os cenários, foi considerado um valor adicional relativo aos casos em que apenas existia um veículo correspondente ao modelo analisado (modelos únicos).

Para o primeiro cenário (otimista), após analisados os vários valores de consumo de combustível por modelo de veículo considerado, assumiu-se que, apenas o condutor com a menor média de consumo de combustível pratica medidas de condução eficiente, pelo que, através de ações de formação em condução eficiente, todos os outros condutores com veículos iguais poderiam reduzir o seu consumo médio de combustível para o valor apresentado por este colaborador.

No entanto, a hipótese assumida para o primeiro cenário poderá resultar em conclusões demasiado otimistas ou até irrealistas, visto que, o consumo de combustível é influenciado por vários fatores, em acréscimo aos comportamentos de condução, nomeadamente [25]:

- A utilização de **sistemas auxiliares**, tais como A/C, direção assistida, entre outros que poderão refletir um aumento do consumo de combustível até 9%,4,5% e 6,5%, respetivamente;
- **A aerodinâmica do veículo**, relacionada com a utilização de acessórios de transporte no tejadilho do veículo, ou a realização de viagens com janelas abertas, que poderão contribuir para um aumento do consumo de combustível até 5% e 5,1% respetivamente;
- **Condições climáticas** (vento, temperatura e pressão barométrica), sendo que o consumo de combustível poderá aumentar em cerca de 0,5% por °C abaixo dos 20°C e até 30% para períodos de forte precipitação;
- **Estado de manutenção do veículo**, relacionado com boas práticas de manutenção do veículo, tais como, a mudança de óleo em tempo adequado, a verificação periódica da pressão dos pneus, bem como a utilização adequada do tipo de pneus, visto que a utilização do tipo correto de óleo e substituição atempada do mesmo poderá contribuir para uma redução do consumo em cerca de 4%, adicionalmente a redução do coeficiente de atrito de rolamento dos pneus poderá reduzir o consumo de combustível entre 10 a 20%. Contrariamente uma variação de pressão de 0,2 bar abaixo do valor recomendado poderá resultar num aumento do consumo de combustível em 1,4%, considerando ainda que filtros de ar obstruídos e direção desalinhada podem também contribuir para um aumento de 4 a 5% do consumo de combustível;

- **Carga transportada**, visto que por cada 100 kg de carga adicional transportada se estima um aumento do consumo entre 6 a 7%;
- **Taxa de ocupação**, dado que mais passageiros transportados refletem mais peso a transportar (aumento de 5% do consumo por passageiro extra), no entanto, resulta numa diminuição do valor das emissões de CO₂ por passageiro, sendo assim importante adotar medidas que potenciem o aumento da taxa de ocupação por veículo (ex: car-sharing);
- **Estrada (morfologia, superfície e tráfego)**, englobando as condições de estrada de circulação, tais como as condições do pavimento e declive, bem como, as condições de tráfego, sendo que a variação da qualidade da superfície de estrada poderá aumentar o consumo em 1,9%, declives superiores a 2% poderão refletir um aumento do consumo em 18% e por fim as condições do tráfego poderão resultar em aumentos do consumo de combustível até 50%.
- **Propriedades do combustível utilizado**

Desta forma, quando são comparados os valores médios do consumo de combustível para o mesmo modelo de veículo, pode ser assumido que alguns fatores relacionados com a aerodinâmica do veículo, estado de manutenção do veículo, taxa de ocupação, propriedades do combustível e até certo ponto a carga transportada (para veículos com função semelhante), não influenciam individualmente o consumo de combustível das viaturas analisadas, dado que são transversais para o mesmo modelo de veículo analisado. Porém, continuam a existir fatores que influenciam diretamente o consumo individual de cada veículo, tais como, a utilização de sistemas auxiliares (dependente do condutor) e aerodinâmica (no caso do condutor viajar com os vidros abertos). Existem também fatores que não podem ser controlados ou corrigidos pelo condutor, tais como as condições climáticas (variando consoante a região, tendo em consideração a distribuição de veículos por todo o território nacional), os fatores relacionados com a estrada percorrida, dado a variação das condições de tráfego e declive de estrada, quando comparadas diferentes regiões geográficas do país, por exemplo os consumos de combustível de veículos que circulam em Lisboa (muito tráfego) e os consumos de veículos que circulam nas regiões interiores (Ex: Alentejo).

Adicionalmente a todos estes fatores, surge ainda o facto de que, o sucesso da implementação deste tipo de formação depende essencialmente da vontade/disponibilidade dos condutores a aderirem e a sensibilizarem-se com a finalidade da formação em eco condução, e de alguns condutores perderem os hábitos adquiridos na formação alguns meses após a ocorrência desta [26] [27].

Considerou-se assim, que poderia não ser possível a redução do consumo médio de combustível para o valor mínimo registado, sendo alternativamente proposto um segundo cenário (pessimista), no qual se considera que, apenas os condutores com um consumo médio de combustível igual ou inferior à média dos valores dos consumos de combustível do modelo analisado, praticam medidas de condução eficiente, sendo por isso possível, para todos os

condutores com um consumo médio de combustível superior a esse valor (média dos consumos para o modelo analisado) reduzirem o consumo da sua viatura para esse mesmo valor médio.

Para os casos em que não existe mais nenhum veículo com o mesmo modelo analisado e o consumo médio registado continua a ser bastante superior ao valor anunciado na ficha técnica do veículo, o valor adicional a ter em consideração para ambos os cenários corresponde à redução do consumo de combustível em 6,3%, dado que este valor é considerado o valor médio de redução do consumo de combustível após a formação em condução eficiente [24].

Como foi referido, esta medida é aplicável a todas as classes de veículos, porém dado que os VL são a classe mais representativa da frota e também pelo facto de as outras medidas propostas serem de aplicação exclusiva para esta classe, estimou-se o impacte financeiro e ambiental desta medida exclusivamente para os veículos ligeiros.

Apresenta-se de seguida, a aplicação desta medida para um modelo de veículo, com carácter exemplificativo da metodologia aplicada a todos os veículos ligeiros.

O modelo de veículo considerado para o exemplo em questão trata-se do Renault Clio IV 1.5 Dci Zen 90Cv (veículo ligeiro de passageiros).

Foram assim ser identificados todos os veículos existentes na frota automóvel correspondentes a este modelo e comparados os respetivos consumos médios de combustível, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12- Exemplo de comparação dos consumos médios de combustível por modelo analisado (verde- consumo de combustível mínimo; amarelo- médio dos consumos de combustível)

Marca e Modelo	Bu	Veículo nº	$\overline{l/100km}$	Combustível
Renault Clio IV 1.5Dci Zen 90Cv	HO	1	4,92	Gasóleo
	AMTNS	2	4,82	Gasóleo
	AMTNS	3	4,50	Gasóleo
	AIM	4	5,59	Gasóleo
	-	MÉDIA	4,96	-

Desta forma, para o 1º cenário, os veículos com um consumo médio superior ao valor mínimo registado (veículo3- destacado a verde), ou seja, os veículos 1,2 e 4 poderiam reduzir o consumo médio de combustível para o valor de referência. Relativamente ao 2º cenário, apenas os veículos com um consumo superior ao valor médio registado (destacado a amarelo) poderiam reduzir o consumo médio de combustível para o valor médio registado, neste caso em particular apenas o veículo 4.

Tendo em consideração que, também nesta medida apenas o consumo de combustível é reduzido, o cálculo para a estimativa do impacte financeiro e ambiental será semelhante ao apresentado anteriormente (secção 2.3.1). Sendo assim necessário obter as mesmas informações relativamente aos veículos analisados, nomeadamente, o custo monetário associado (ϵ_i) aos litros consumidos anualmente (L_i) por forma a estimar o preço médio anual

para o combustível por veículo ($PC_i = \frac{\epsilon_i}{L_i}$ em euros por litro), bem como as distâncias percorridas em quilómetros (km_i) por cada viatura analisada, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13- Dados necessários para análise de condução eficiente do modelo de veículo considerado

Marca e Modelo	Veículo nº	Consumo energético (Litros)	Custo monetário (€)	Distância percorrida (Km)	Tipo de combustível
Renault Clio IV 1.5Dci Zen 90Cv	1	1426,68	1 915,97 €	29 000	Gasóleo
	2	3629,17	4 796,71 €	75 342	Gasóleo
	3	-	-	-	Gasóleo
	4	840,74	1 125,92 €	14 794	Gasóleo

De seguida, através da aplicação da equação 9, semelhante à equação 5 substituindo, porém, o consumo de combustível do veículo do veículo de referência (Eq.5) pelo consumo de combustível mínimo (CC_{min} em l/100km) para o modelo de veículo analisado, obtém-se o impacte financeiro para o cenário otimista (1ºcenário), para cada veículo associado à formação do condutor em condução eficiente.

$$\text{Redução anual de custos (1ºcenário)} = (CC_i - CC_{min}) * \frac{km_i}{100} * PC_i \text{ (Eq. 9)}$$

Para o cenário pessimista (2º cenário), a estimativa do impacte financeiro calcula-se pela aplicação da equação 10, novamente semelhante à equação 5, com a substituição do consumo de combustível do veículo de referência (Eq.5) pelo consumo de combustível médio (CC_{medio} em l/100km) para o modelo de veículo analisado.

$$\text{Redução anual de custos (2ºcenário)} = (CC_i - CC_{medio}) * \frac{km_i}{100} * PC_i \text{ (Eq. 10)}$$

Obtém-se assim para o exemplo analisado, assumindo o 1º cenário, uma redução de custos anual associada à redução do consumo de combustível pela prática de medidas de condução eficiente de:

$$\text{Redução anual de custos (veículo 1)} = (4,92 - 4,5) * \frac{29000}{100} * \frac{1915,97}{1426,68} = 163,97 \text{ €/ano}$$

$$\text{Redução anual de custos (veículo 2)} = (4,82 - 4,5) * \frac{75342}{100} * \frac{4796,71}{3629,17} = 318,66 \text{ €/ano}$$

$$\text{Redução anual de custos (veículo 4)} = (5,59 - 4,5) * \frac{14794}{100} * \frac{1125,92}{840,74} = 215,95 \text{ €/ano}$$

Enquanto que para o 2º cenário a redução de custos anual consiste em:

$$\text{Redução anual total de custos (veículo 4)} = (5,59 - 4,96) * \frac{14794}{100} * \frac{1125,92}{840,74} = 124,82\text{€/ano}$$

O impacte ambiental associado à formação do condutor em condução eficiente, para o 1ºcenário, é calculado através da equação 11, semelhante às equações 6, 7 e 8 substituindo, o consumo de combustível do veículo do veículo de referência (Eq.6) pelo consumo de combustível mínimo (CC_{min} em l/100km) para o modelo de veículo analisado.

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (1ºcenário)} &= \\ &= (CC_i - CC_{min}) * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} * \frac{FE}{1000} \text{ (Eq. 11)} \end{aligned}$$

Para o cenário pessimista (2ºcenário), a estimativa do impacte ambiental calcula-se pela aplicação da equação 12, novamente semelhante às equações 6,7e 8 com a substituição do consumo de combustível do veículo de referência (Eq.6) pelo consumo de combustível médio ($CC_{médio}$ em l/100km) para o modelo de veículo analisado.

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (2ºcenário)} &= \\ &= (CC_i - CC_{médio}) * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} * \frac{FE}{1000} \text{ (Eq. 12)} \end{aligned}$$

Para o exemplo considerado, sendo assumido o 1º cenário, obtém-se uma redução das emissões de CO₂ correspondente a:

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{(veículo1)} &= (4,92 - 4,5) * \frac{29000}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} = \\ &= 0,3278 \text{ tonCO}_2\text{/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{(veículo2)} &= (4,82 - 4,5) * \frac{75342}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} = \\ &= 0,6488 \text{ tonCO}_2\text{/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{(veículo4)} &= (5,59 - 4,5) * \frac{14794}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} = \\ &= 0,4339 \text{ tonCO}_2\text{/ano} \end{aligned}$$

Assumindo o 2º cenário, obtém-se uma redução das emissões de CO₂ correspondente a:

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{(veículo4)} &= (5,59 - 4,96) * \frac{14794}{100} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} = \\ &= 0,2508 \text{ tonCO}_2\text{/ano} \end{aligned}$$

Concluída a análise para o exemplo considerado, apresenta-se também um exemplo para um modelo de veículo único na frota automóvel, não sendo por isso possível a comparação entre os valores médios de consumo de combustível, a fim de exemplificar a metodologia a aplicar nestes casos (cenário adicional), no qual, como foi anteriormente referido, se utiliza um valor definido na literatura de 6,3% para a redução do consumo de combustível [24].

De notar que nem todos os veículos únicos na frota serão abrangidos pelo cenário adicional, apenas os que apresentam um consumo de combustível bastante superior ao anunciado pela ficha técnica do veículo, pelo que se exemplifica também a metodologia de seleção dos veículos que integram este cenário.

Apresenta-se na Tabela 14 os dados relativos ao modelo de veículo para o exemplo a considerar.

Tabela 14- Dados para análise de condução eficiente de modelos únicos

Marca e Modelo	Consumo energético (Litros)	Custo monetário (€)	Distância percorrida (Km)	Consumo médio de combustível (L/100km)	Tipo de combustível	Emissões-ficha técnica (gCO ₂ e/km)
Renualt Megane 1.5 Dci 110HP (2014)	1 224,44	1 633,69	21 869	5,60	Gasóleo	90

Pelo valor das emissões de CO₂ apresentado na ficha técnica do veículo, é possível estimar o consumo médio de combustível, através do poder calorífico inferior (1,034 tep/t), do FE (3098,3kgCO₂/tep) e da massa volúmica ($\rho=0,84\text{kg/L}$) para o combustível considerado (gasóleo) [33] (ver anexo 1).

Por cada litro de Gasóleo consumido são emitidos 2,691kgCO₂e dado que:

$$1 \text{ litro consumido(diesel)} = 0,84 * 10^{-3} \text{ ton} * 1,034 \frac{\text{tep}}{\text{ton}} * 3098,2 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{tep}} = 2,691 \text{kgCO}_2\text{e}$$

Segundo o valor da ficha técnica do veículo, conclui-se que por cada 100km percorridos ocorre a emissão de 9 kgCO₂e, visto que:

$$90 \text{ gCO}_2\text{e} / \text{km} = 90 * 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e} * 100\text{km} = 9 \text{kgCO}_2\text{e} / 100\text{km}$$

Por fim é possível concluir que o consumo médio de combustível equivalente corresponde a 3,34l/100km, tendo em consideração que:

$$9 \text{kgCO}_2\text{e} / 100\text{km} = \frac{9 \text{kgCO}_2\text{e} / 100\text{km}}{2,691 \text{kgCO}_2\text{e} / \text{Litro(diesel)}} = 3,34 \text{l} / 100\text{km}$$

Os valores das emissões de CO₂, bem como os consumos médios de combustível são obtidos através da realização de testes padrão, em condições controladas, com o objetivo de reproduzir ciclos standard de condução, que diferem consoante as categorias de veículos e de região para região, sendo utilizados o ciclo *New European Driving Cycle* (NEDC) ou, mais recentemente, o *World Harmonized Light Vehicles Test Procedure* (WLTP) na união europeia (EU). A legislação define que a partir de dia 1 de setembro de 2019, todos os veículos ligeiros registados nos países pertencentes à EU, bem como na Suíça, Noruega, Islândia e Turquia, deverão respeitar os padrões definidos pelo WLTP em substituição do NEDC até agora utilizado [28]. Tendo em consideração que, os veículos analisados correspondem a modelos cujo o ano de produção é anterior a 2019, os valores anunciados nas fichas técnicas foram obtidos pelo NEDC.

Como se pode observar, o valor obtido pela ficha técnica é bastante inferior ($\approx 40\%$) ao valor apresentado na Tabela 14, obtido pelas condições reais de condução (5,6l/100km). Dada a diferença de valores obtida, poderia assumir-se que o condutor do veículo em questão apresenta uma condução muito agressiva, podendo por isso ser benéfico a aplicação da prática de medidas de condução eficiente. No entanto, é importante notar que a dinâmica dos ciclos de condução utilizados na certificação automóvel tem sido criticada pela fraca representatividade de condições reais de circulação, sendo que, especificamente no caso da utilização do NEDC, origina disparidades significativas entre a certificação e os valores obtidos em condições reais [29] [30].

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de quantificar os desvios existentes entre os valores homologados e o verificado em utilização real, nos quais se comprovou que a atual certificação subestima consumos de combustível, em média, entre 10 a 15% para veículos a gasolina e entre 12 a 20% para veículos a gasóleo [31]. Destaca-se ainda um estudo adicional que reafirma a disparidade dos valores obtidos para o consumo médio de combustível, quando comparados com os valores obtidos em condições reais de condução, em cerca de 23,9% (inferior) pela utilização do NEDC e 16,3% (inferior) pela utilização do WLTP [32].

Sendo assim, para os modelos de veículos únicos na frota, deverá ser quantificada a percentagem de desvio entre o valor calculado (ficha técnica) e o valor real obtido, de forma a evitar a hipótese de redução do consumo de combustível através de medidas de condução eficiente, devido à diferença entre os consumos registados (teórico vs real), que poderá ter origem não pela a prática de uma condução agressiva, mas sim pela diferença inerente aos valores obtidos pelo NEDC face aos valores reais.

Para o exemplo considerado, mesmo assumindo que, $\approx 20\%$ da diferença obtida ($\approx 40\%$, pelo cálculo anteriormente apresentado) entre os valores do consumo de combustível real e os valores da ficha técnica (NEDC), é justificada pela fraca representatividade de condições reais de circulação dada a utilização do NEDC, existe ainda uma percentagem adicional de consumo de combustível, que poderá ser justificada pela condução agressiva por parte do condutor. O critério de seleção para os veículos que deverão integrar este cenário adicional, consiste assim, no registo de um valor de um consumo real superior em cerca de 15% face ao valor obtido pela

ficha técnica para veículos a gásóleo e 12,5% para veículos a gasolina. Este critério mantém a sua importância mesmo após a introdução do WLTP, sendo apenas necessário a atualização das percentagens de diferença de valores a considerar.

Uma vez validada a hipótese acima demonstrada, apresenta-se o cálculo para a estimativa do impacto financeiro e ambiental devido à redução do consumo de combustível (em 6,3%), pela prática de medidas de condução eficiente para o veículo apresentado na Tabela 14.

$$\text{Redução anual de custos (cenário adicional)} = 0,063 * CC_i * \frac{km_i}{100} * PCI_i \text{ (Eq. 13)}$$

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (cenário adicional)} &= \\ &= 0,063 * CC_i * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} * \frac{FE}{1000} \text{ (Eq. 14)} \end{aligned}$$

Para o exemplo considerado obtém-se:

$$\text{Redução anual de custos (cenário adicional)} = 0,063 * 5,6 * \frac{21869}{100} * \frac{1633,69}{1224,44} = 102,93\text{€}$$

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (cenário adicional)} &= \\ &= 0,063 * 5,6 * \frac{21869}{100} * \frac{0,84}{1000} * \frac{0,84}{1000} * 1,034 * \frac{3098,2}{1000} = 0,2076 \text{ tonCO}_2\text{/ano} \end{aligned}$$

O cálculo da redução de custos total para o 1º/2º cenário é obtido através da soma do somatório da redução de custos para todos os veículos analisados no 1º/2º cenário e o somatório de todos os veículos analisados pelo cenário adicional (Eq. 15). O mesmo se verifica para o cálculo da redução total anual das emissões de CO₂ para ambos os cenários (Eq. 16).

$$\begin{aligned} \text{Redução total anual de custos (1ºcenário/2ºcenário)} &= \\ &= \sum \text{Redução anual de custos (1ºcenário/2ºcenário)} \\ &+ \sum \text{Redução anual de custos (cenário adicional)} \text{ (Eq. 15)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Redução total anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (1ºcenário/2ºcenário)} &= \\ &= \sum \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (1ºcenário/2ºcenário)} \\ &+ \sum \text{Redução anual de emissões de CO}_2 \text{ em tonCO}_2\text{e (cenário adicional)} \text{ (Eq. 16)} \end{aligned}$$

À semelhança da medida anterior, também para esta medida existe a necessidade da quantificação do impacto energético, sendo obtida novamente pela equação 7, com a substituição do consumo de combustível do veículo de referência (CC_{ref}) pelo consumo de combustível mínimo (CC_{min}) do modelo de veículo analisado, para o 1º cenário ou pelo consumo de combustível médio ($CC_{médio}$), para o 2º cenário.

Redução energética em tep(1º cenário)

$$= (CC_i - CC_{min}) * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} \text{ (Eq. 17)}$$

Redução energética em tep(2º cenário)

$$= (CC_i - CC_{médio}) * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} \text{ (Eq. 18)}$$

Para o cenário adicional a redução do consumo energético é dada por:

Redução energética em tep(cenário adicional)

$$= 0,063 * CC_i * \frac{km_i}{100} * \frac{\rho_{combustível}}{1000} * PCI_{combustível} \text{ (Eq. 19)}$$

Sendo que a redução energética total (todos os veículos), consoante o cenário considerado, é dada por:

Redução energética total em tep(1º cenário/2º cenário) =

$$= \sum \text{Redução energética total em tep (1º cenário/2º cenário)} \\ + \sum \text{Redução energética total em tep (cenário adicional)} \text{ (Eq. 20)}$$

2.3.3 Substituição de veículos convencionais por veículos elétricos

As medidas até agora apresentadas, permitiram uma redução do consumo energético do veículo utilizado, tanto pela substituição do veículo, como pela formação do condutor, no entanto, em ambas as medidas propostas não se considerou a possibilidade da alteração tecnológica do veículo utilizado. Porém, diversos estudos indicam que o veículo elétrico representa, atualmente, a opção de mobilidade que permite um consumo de energia inferior, comparativamente a todas as outras tecnologias de propulsão [14] [40]. Justificando assim a crescente tendência registada na aposta na investigação de soluções alternativas à utilização de veículos com motores de combustão interna (exclusivamente), por parte dos grupos fabricantes de automóveis.

Existem atualmente diversas soluções no mercado e, inclusivamente, a frota automóvel da empresa apresenta uma grande variedade de modelos de veículos, incluindo dois veículos

híbridos (gasolina), três veículos híbridos plug-in (gasolina), bem como um veículo elétrico. Procedeu-se por isso à comparação do consumo médio de combustível para os vários tipos de veículos, possibilitando a verificação da hipótese apresentada por estes estudos [14] [40].

Foram comparados os melhores casos (menor consumo médio de combustível) das várias alternativas existentes (gasóleo, gasolina, híbrido, híbrido plug-in e elétrico) por categoria de veículo considerado (veículos LP e LM), definindo-se 3 indicadores de comparação, nomeadamente, o consumo médio de combustível em MJ/km, dado que se procede à comparação de diferentes combustíveis, as emissões de CO₂ e o custo por quilómetro percorrido.

Apresenta-se assim, nas Tabela 15 e 16, a caracterização dos veículos para os vários tipos de tecnologias de propulsão analisadas, lembrando que para cada tipo de tecnologia foram selecionados os veículos com menor consumo de combustível.

Tabela 15- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por tecnologia de propulsão (LM)

Combustível	Marca	Modelo	Ano	Bateria (kWh)	Motor elétrico (cv)	Motor térmico (cv)	Potência combinada (cv)	Cilindrada (cm ³)
Gasóleo	Citroen	Berlingo Van L1	2016	-	-	100	100	1560
Elétrico	Renault	Kangoo Z.E 33	2018	33	54	-	54	-

Tabela 16- Caracterização dos modelos com menor consumo médio de combustível por tecnologia de propulsão (LP)

Combustível	Marca	Modelo	Ano	Bateria (kWh)	Motor elétrico (cv)	Motor térmico (cv)	Potência combinada (cv)	Cilindrada (cm ³)
Gasóleo	Renault	Clio IV	2016	-	-	90	90	1461
Gasolina	Peugeot	108 Style 5P	2017	-	-	68	68	998
Híbrido (gasolina)	Toyota	Yaris Confort Pack Style	2017	0,94	61	75	100	1497
Híbrido Plug in (gasolina)	Mitsubishi	Outlander PHEV	2017	12	80	150	200	1998
Elétrico	Renault	ZOE life Z.E 40	2018	41	108	-	108	-

Apresenta-se de seguida, nas Tabelas 17 e 18, os dados necessários para a definição dos indicadores de comparação dos veículos considerados.

Tabela 17- Dados para o cálculo dos indicadores de comparação (LM)

Marca e Modelo	Combustível	Consumo energético (Litros ou kWh)	Custo monetário (€)	Distância percorrida (Km)	Consumo médio de combustível (L/100km ou kWh/100km)	Emissões-ficha técnica (gCO ₂ /km)
Citroen Berlingo Van L1	Gasóleo	730,94	1007,65	12 661	5,77	112
Renault Kangoo Z.E 33	100% elétrico	1 156	150,05	5 826	19,84	0

Tabela 18 - Dados para o cálculo dos indicadores de comparação (LP)

Marca e Modelo	Combustível	Consumo energético (Litros ou kWh)	Custo monetário (€)	Distância percorrida (Km)	Consumo médio de combustível (L/100km ou kWh/100km)	Emissões-ficha técnica (gCO ₂ /km)
Renault Clio IV	Gasóleo	866,74	1 143,73	19 267	4,5	82
Peugeot 108	Gasolina	1 184,70	1 787,15	16 323	7,26	95
Toyota Yaris	Híbrido (gasolina)	1 546,19	2 340,25	28 533	5,42	75
Mitsubishi Outlander PHEV	Híbrido Plug in (gasolina)	1 286,81	1 992,12	24 708	5,21	42
Renault ZOE life Z.E 40	100% elétrico	-	-	-	15,83	0

Tendo em consideração os valores dos poderes caloríficos inferiores dos combustíveis, $PCI_{diesel} = 43,3 \text{ MJ/kg}$ e $PCI_{gasolina} = 45 \text{ MJ/kg}$, [33] bem como as massas volúmicas dos mesmos, $\rho_{diesel} = 0,84 \text{ kg/L}$ e $\rho_{gasolina} = 0,755 \text{ kg/L}$ [34] e ainda que $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$, é possível calcular (equações 21 e 22) e comparar o consumo energético de cada veículo em MJ/km .

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético}(\text{MJ/km}) &= \\ &= \frac{\text{consumo de combustível}(\text{L}/100\text{km})}{100} * \rho_{\text{combustível}} * PCI_{\text{combustível}} \text{ (Eq. 21)} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo energético}(\text{MJ/km}) = \frac{\text{consumo energético}(\text{kWh}/100\text{km})}{100} * 3,6 \text{ (Eq. 22)}$$

Calcula-se também o valor das emissões reais de CO_2e (gCO_2e/km) através da multiplicação dos valores obtidos pela Eq. 21 pelos respetivos FE (Eqs. 23 e 24), sendo o $FE_{diesel} = 74kgCO_2e/GJ$, $FE_{gasolina} = 69,2kgCO_2e/GJ$ [33], e o $FE_{eletricidade} = 324,7gCO_2e/kWh$ [33]. O valor apresentado para o $FE_{eletricidade}$ foi obtido do site da *European Environment Agency*, embora fosse conhecido o valor apresentado pelo fornecedor do serviço de eletricidade para 2018, optou-se pela utilização de um valor fornecido por uma entidade independente, correspondendo, porém, ao valor para o ano de 2016.

$$Emissões\ reais\ TTW(gCO_2e/km) = Eq.\ 21(MJ/km) * \frac{FE_{combustivel}(kgCO_2e/GJ)}{10^3} * 10^3 (Eq.\ 23)$$

$$Emissões\ reais\ WTW(gCO_2e/km) = \frac{consumo\ energético(kWh/100km)}{100} * FE_{eletricidade}(gCO_2e/kWh) (Eq.\ 24)$$

Salienta-se que o valor obtido pela equação 23 corresponde apenas às emissões de CO_2e para a fase de utilização dos veículos com motor de combustão interna (ICE), denominada por depósito-à-roda (*Tank-To-Wheel*, TTW). Enquanto que os valores obtidos para os VE pela equação 24 correspondem às emissões de CO_2e para a fase de produção de energia elétrica e para a fase de utilização do VE, denominada por poço-à-roda (*Well-To-Wheel*, WTW), visto que as emissões dos VE na fase de utilização (TTW) são nulas. O $FE_{eletricidade}$ está assim apenas associado à produção da energia elétrica utilizada pelo VE.

Desta forma, não seria adequado a comparação direta dos valores obtidos pelas equações 23 e 24. Revela-se assim necessário adicionar os valores de emissão de CO_2e para a fase de extração/produção dos combustíveis fósseis (gasóleo e gasolina), denominada por poço-a-deposito (*Well-To-Tank*, WTT), através da equação 25. O FE de extração/produção para o gasóleo é de $FE_{PROD.Diesel} = 15,4gCO_2e/MJdiesel$ e para a gasolina $FE_{PROD.Gasolina} = 13,8gCO_2e/MJgasolina$ (anexo 2) [36].

$$Emissões\ reais\ WTW(gCO_2e/km) = Emissões\ reais\ TTW + Emissões\ reais\ WTT = (Eq.\ 23) + Eq.\ 21(MJ/km) * FE_{PROD.Combustivel} (Eq.\ 25)$$

O custo por km é retirado diretamente dos dados das Tabelas 17 e 18, para todos os exemplos considerados, com exceção do veículo ligeiro de passageiros elétrico, visto que este não constitui um caso real da frota automóvel, não existindo, por isso, registo dos dados necessários. No entanto, através do consumo energético (retirado do site da marca automóvel, [35]) e do preço para o kWh ($preço_{kWh} = 150,05€/1156kWh = 0,1298€/kWh$) obtido através dos dados relativos ao veículo ligeiro de mercadorias elétrico torna-se possível, também para este caso, estimar o custo por km percorrido (Eq. 26).

$$\text{Custo por km para veículo LP}(100\% \text{ elétrico}) = \frac{\text{consumo energético}(kWh/100km)}{100} * \text{preço}_{\text{eletricidade}} (\text{€/kWh}) \text{ (Eq. 26)}$$

Apresenta-se por fim, nas Tabelas 19 e 20, os indicadores de comparação calculados para os veículos analisados, para posterior análise (secção 3.3 resultados).

Tabela 19- Indicadores de comparação veículos LM

Marca e Modelo	Combustível	Consumo energético (MJ/km)	Emissões reais-TTW (gCO ₂ /km)	Emissões reais-WTW (gCO ₂ /km)	Custo por km (€/km)
Citroen Berlingo Van L1	Gasóleo	2,10	155	188	0,080
Renault Kangoo Z.E 33	Elétrico	0,71	64	64	0,026

Tabela 20- Indicadores de comparação veículos LP

Marca e Modelo	Combustível	Consumo energético (MJ/km)	Emissões reais-TTW (gCO ₂ /km)	Emissões reais-WTW (gCO ₂ /km)	Custo por km (€/km)
Renault Clio IV	Gasóleo	1,64	121	147	0,059
Peugeot 108	Gasolina	2,45	169	203	0,109
Toyota Yaris	Híbrido (gasolina)	1,84	127	152	0,082
Mitsubishi Outlander PHEV	Híbrido Plug in (gasolina)	1,77	122	147	0,081
Renault ZOE life Z.E 40	Elétrico	0,57	51	51	0,021

Depois de definida a metodologia para a análise da melhor solução de mobilidade, pretende-se estimar o potencial de redução de custos associado à substituição dos veículos tradicionais por veículos elétricos e avaliar simultaneamente a magnitude da limitação associada à autonomia das baterias dos veículos elétricos através da comparação dos valores de redução de custos para dois cenários distintos.

Inicialmente foi criado um 1º cenário, no qual se propôs a substituição da totalidade dos veículos ligeiros da frota por modelos equivalentes elétricos. Seguido da criação de um 2º cenário (mais realista), no qual, através da análise das médias diárias de quilómetros percorridos por viatura, se propôs a substituição de apenas os veículos com uma média de km diários máxima inferior ao valor da autonomia anunciada pelo fabricante automóvel, para uma velocidade média de 90 km/h, ou seja, 179 km para o veículo LM e 259 km para o veículo LP. Nesta primeira análise não foram, ainda, considerados os valores dos contratos de aluguer associados à substituição dos veículos, visto que se pretende apenas compreender a limitação relacionada com a autonomia dos veículos elétricos.

À semelhança das medidas anteriores será utilizado um exemplo, a fim de demonstrar a metodologia utilizada para o cálculo do impacte financeiro e o critério de seleção dos veículos que deverão integrar o 2º cenário.

É assim necessário identificar todos os veículos ligeiros equivalentes aos modelos elétricos propostos para substituição, uma vez verificada a equivalência entre veículos, devem ser registados os dados necessários ao cálculo do impacte financeiro resultante da substituição proposta e a BU associada ao veículo.

Tabela 21- Dados para cálculo do impacte financeiro (tradicional vs. elétrico)

Marca e Modelo	BU	Combustível	Consumo energético (Litros ou kWh)	Custo monetário (€)	Distância percorrida (Km)	Consumo médio de combustível (L/100km ou Kwh/100km)
Citroen C3 1.6HDI (2016)	OMX	Gasóleo	1606,79	2 156,17	28020	5,73
Renault ZOE life Z.E 40	-	Elétrico	-	-	-	15,83

Para o 1º cenário, dado que todos os veículos ligeiros serão incluídos, é apenas necessário calcular o impacte financeiro pela equação 28 com os dados da Tabela 21.

$$\text{Redução anual de custos} = CV_i - CE_{VE} * \frac{km_i}{100} * P_{Elettricidade} \text{ (Eq. 28)}$$

Em que CV_i representa o custo para o veículo analisado a ser substituído, sendo por isso obtido pela equação 2 ($CV_i = CC_i * \frac{km_i}{100} * PC_i$) ou diretamente pelo valor do custo monetário apresentado na Tabela 21 ($CV_i = \epsilon_i$). CE_{VE} representa o consumo energético do veículo elétrico (VE) em $kWh/100km$ e $P_{Elettricidade}$ representa o preço da eletricidade, obtido do exemplo do veículo elétrico LM ($P_{Elettricidade} = 0,1298\text{€/kWh}$).

Obtém-se assim para o caso considerado:

$$\text{Redução anual de custos} = 2 156,17 - 15,83 * \frac{28020}{100} * 0,1298 = 1580,43\text{€/ano}$$

Calculado o impacte financeiro, é necessário compreender se o caso analisado será incluído no 2º cenário (mais realista), procede-se por isso à estimativa das médias diárias de km percorridos por viatura, através do registo mensal dos quilómetros percorridos efetuado pela empresa, tendo sido assumido uma distribuição uniforme para os 20 dias úteis de cada mês.

Na Tabela 22, exemplifica-se a análise das médias diárias de km percorridos para o exemplo considerado.

Tabela 22-Análise das médias diárias de km percorridos por viatura (vermelho- média diária de km percorridos máxima; amarelo- valor médio das médias de km diários percorridos)

Marca e Modelo	Mês	Km percorridos	Média diária de km percorridos
Citroen C3 1.6HDI (2016)	1	3136	156,8
	2	1528	76,4
	3	3167	158,35
	4	3688	184,4
	5	1504	75,2
	6	1554	77,7
	7	2460	123
	8	2341	117,05
	9	809	40,45
	10	2055	102,75
	11	2835	141,75
	12	2943	147,15
Valor médio das médias de km diários percorridos (anual)	-	-	116,75

O resultado obtido para o valor médio das médias de km diários percorridos poderia ser considerado demasiado conservador, pois assume que os colaboradores não utilizam os veículos durante o fim-de-semana. No entanto, verificou-se vários casos em que existe de facto a necessidade dos colaboradores da empresa utilizarem o veículo durante este período por situações esporádicas de trabalho adicional. Esta hipótese assume também que, em todos os dias úteis de cada mês, são percorridos o mesmo número de km. Essa hipótese poderá não ser absolutamente correta, tendo por isso sido registados dois resultados da análise efetuada, nomeadamente, o valor médio das médias diárias de km percorridos por veículo (destacado a amarelo) e o valor máximo das médias diárias de km percorridos registado (destacado a vermelho), sendo que este último valor será comparado com a autonomia do veículo. Desta forma é garantida a hipótese mais conservadora, ou seja, o cenário que conduz a um valor máximo de km percorridos por dia, por forma a tentar garantir, com maior grau de confiança, que

a autonomia do veículo é suficiente para percorrer as distâncias diárias efetuadas pelos veículos analisados.

Uma vez que, o valor máximo de km diários percorridos pelo veículo analisado, corresponde a 184 km e que o veículo de substituição elétrico apresenta uma autonomia de 259 km [35], o veículo utilizado como exemplo deverá também ser incluído no 2º cenário. Caso se tratasse de um veículo LM, o valor seria comparado com os 179 km de autonomia apresentados pelo veículo elétrico de substituição [34].

No entanto, a análise do impacto financeiro não estaria completa, caso não fossem considerados os valores dos contratos de aluguer do veículo a ser substituído e do veículo de substituição, visto que, à semelhança da 1ª medida proposta, também esta medida propõe que quando seja necessária a renovação do contrato de aluguer, a viatura em questão seja substituída, neste caso, pelo modelo equivalente elétrico.

Desta forma, o cálculo do impacto financeiro total é dado pela Eq. 29, consistindo na Eq. 28, que indica a redução de custos associada à redução do consumo energético, com a ponderação entre a diferença dos valores dos contratos de aluguer dos veículos analisados.

$$\text{Redução anual de custos total} = \left(CV_i - CE_{VE} * \frac{km_i}{100} * P_{Elettricidade} \right) + (R_i - R_{VE}) * 12 \text{ (Eq. 29)}$$

Na qual R_i (euros/mês) representa o valor mensal do contrato de aluguer do veículo a ser substituído e R_{VE} (euros/mês) representa o valor mensal do contrato de aluguer do veículo elétrico de substituição.

Na Tabela 23 são apresentados os valores mensais para os contratos de aluguer dos VE, sendo que, o valor para o VE ligeiro de mercadorias foi retirado do mapa de renting da empresa, uma vez que se trata de um caso real da frota automóvel da empresa e o valor para o VE ligeiro de passageiros foi retirado de uma proposta comercial solicitada a uma empresa externa dedicada ao aluguer de veículos.

Tabela 23- Condições do contrato de aluguer dos VE de substituição

Marca e Modelo	Duração (meses)	Distância (Km)	Valor mensal de aluguer (€)
Renault ZOE life Z.E 40	48	100 000	416,90
Renault Kangoo Z.E 33	60	120 000	403,97

Mais uma vez destaca-se que, para que a comparação entre os valores dos contratos de aluguer seja representativa, os valores comparados deverão ser referentes às mesmas condições de contrato (duração e distância). Também neste cálculo, sempre que possível, foram utilizados valores de comparação entre os veículos analisados nas mesmas condições de contrato. Porém,

para esta medida em específico, dado que apenas existe um valor de referência por veículo elétrico (só existe 1 VE na frota e apenas foi fornecido um valor de contrato de aluguer para o veículo elétrico de passageiros), constatou-se várias situações em que a comparação dos contratos de aluguer nas mesmas condições não foi possível, tendo nesses casos sido utilizado os valores dos contratos cujas condições se revelaram mais semelhantes, não obstante do facto de que poderão resultar em conclusões menos representativas.

Apresenta-se para o exemplo considerado o valor do contrato de aluguer da viatura e respetivo valor para o VE equivalente.

Tabela 24- Comparação do valor dos contratos de aluguer VE-Veículo analisado

Marca e Modelo	Duração (meses)	Distância (Km)	Valor mensal de aluguer (€)
Citroen C3 1.6HDI	48	120 000	323,92
Renault ZOE life Z.E 40	48	100 000	416,90

Para o exemplo considerado obtém-se, pela equação 29:

$$\text{Redução anual de custos total} = 1580,43\text{€/ano} + (323,92 - 416,90) * 12 = 464,67\text{€/ano}$$

Como se pode observar o valor do contrato de aluguer do veículo elétrico prejudica bastante a redução de custos total, uma vez que é consideravelmente superior à do veículo a ser substituído.

Este exemplo constitui também um caso, em que a comparação dos valores mensais dos contratos de aluguer nas mesmas condições não foi possível, pois o modelo apresentado é único na frota, pelo que não é possível retirar outro valor para o contrato de aluguer, ou seja, noutros casos em que existe mais que um modelo na frota procura-se o valor do contrato de aluguer do mesmo modelo, nas condições mais aproximadas possíveis do VE de substituição.

Nesta situação, surge uma alternativa de comparação dos valores dos contratos de aluguer, em €/km. A fim de comparar o valor dos contratos de aluguer nas mesmas condições, deve ser dividido o valor da distância do contrato pela sua duração em meses, obtendo-se assim o valor estimado para a distância percorrida por mês e de seguida através da divisão do valor monetário mensal do contrato de aluguer pelo valor anteriormente obtido é possível retirar o valor monetário por km percorrido dos contratos de aluguer (Eq. 30).

$$\begin{aligned} & \text{Valor do contrato de aluguer}(\text{€/km}) \\ & = \frac{\text{valor monetário mensal do contrato}(\text{€/mês})}{\text{Distância}(\text{km para } x \text{ meses})/\text{duração}(\text{em meses})} \quad (\text{Eq. 30}) \end{aligned}$$

Para o exemplo considerado obtém-se para o VE:

$$\text{Valor do contrato de aluguer (€/km)} = \frac{416,90}{100000/48} = 0,20\text{€/km}$$

E para o veículo a ser substituído:

$$\text{Valor do contrato de aluguer (€/km)} = \frac{323,92}{120000/48} = 0,13\text{€/km}$$

Como se pode observar o veículo elétrico apresenta um valor de contrato de aluguer 35% superior ao do veículo convencional a ser substituído.

Existe assim, através da definição do valor monetário do contrato de aluguer por km, um cálculo alternativo ao apresentado pela equação 29 para a redução total de custos, dado pela equação 31:

$$\text{Redução anual de custos total} = \left(CV_i - CE_{VE} * \frac{km_i}{100} * P_{Eletricidade} \right) + (R_i - R_{VE}) * km_i \text{ (Eq. 31)}$$

Na qual R_i representa, não o valor mensal do contrato de aluguer do veículo a ser substituído, mas sim o valor do contrato de aluguer do veículo a ser substituído por km percorrido e R_{VE} representa assim valor do contrato de aluguer do veículo elétrico de substituição por km percorrido. Na análise realizada, optou-se pela utilização da equação 29 em alternativa à utilização da equação 31, uma vez que os valores dos contratos de aluguer estão sujeitos a condições de negociação e variam não linearmente em função dos quilómetros e duração acordados para os mesmos.

O cenário final de substituição dos veículos da frota automóvel por VE é assim definido por todos os veículos pertencentes ao 2º cenário, cujo resultado da equação 29 seja positivo. Sendo que, para este cenário, foram excluídos os veículos LP que apresentavam uma carroçaria tipo *wagon*, ainda que o resultado da equação 29 fosse positivo para esses casos, visto que a diferença de espaço para armazenamento de bagagem entre veículo elétrico de passageiros e estes veículos é bastante considerável, o que poderia ser problemático, caso esse espaço se tratasse, não de uma comodidade, mas sim de uma necessidade para o colaborador com esse tipo de veículos atribuídos.

Definidos os critérios de seleção para o cenário final de substituição por VE (autonomia, redução de custos positiva e tipo de carroçaria semelhante) e calculado o respetivo impacto financeiro, procede-se à apresentação do cálculo para a estimativa do impacto ambiental resultante da substituição do veículo. Nesta medida, uma vez que são comparados veículos com tecnologia de propulsão diferentes (combustível vs. eletricidade), o cálculo do impacto ambiental não será tão direto como para as outras medidas apresentadas.

Primeiro, deve ser registrado o valor anual de litros de combustível consumidos pelo veículo a ser substituído (L_i) retirado da Tabela 22. Esse valor, deve depois, ser convertido para MJ através do $PCI_{combustível}(MJ/kg)$ e por fim através do $FE_{combustível}(kgCO_2e/GJ)$ obtém-se o valor anual das emissões de CO_2 anual em $tonCO_2e/ano$ (Eq. 32).

$$\begin{aligned} \text{Emissões de } CO_2(\text{veículo analisado}) \text{ em } tonCO_2e &= \\ &= L_i(\text{litros}) * \rho_{combustível}(kg/L) * PCI_{combustível}(MJ/kg) \\ &* \frac{FE_{combustível}(kgCO_2e/GJ)}{10^3} * 10^{-3} \text{ (Eq. 32)} \end{aligned}$$

Para o exemplo considerado (gasóleo) obtém-se:

$$\text{Emissões de } CO_2 \text{ em } tonCO_2e = 1606,79 * 0,84 * 43,3 * 74 * \frac{10^{-3}}{10^3} = 4,325 tonCO_2e/ano$$

Para o veículo elétrico, deve ser estimada a energia elétrica consumida (Eq. 33), em kWh , para percorrer a mesma distância que o veículo analisado (km_i) através do consumo energético em $kWh/100km$ do VE (Tabela 18 para LM e Tabela 19 para LP), posteriormente através do $FE_{eletricidade}(gCO_2e/kWh)$ considerado calcula-se as emissões de CO_2 anuais do VE de substituição (Eq. 34) [33].

$$\text{Energia elétrica consumida} = \text{consumo energético do VE}(kWh/100km) * \frac{km_i}{100} \text{ (Eq. 33)}$$

$$\text{Emissões de } CO_2(VE) \text{ em } tonCO_2e = \text{Eq. 33} * FE_{eletricidade}(gCO_2e/kWh) * 10^{-6} \text{ (Eq. 34)}$$

Para o exemplo considerado obtém-se:

$$\text{Energia elétrica consumida} = 15,83 * \frac{28020}{100} = 4435,57 kWh/ano$$

$$\text{Emissões de } CO_2(VE) \text{ em } tonCO_2e = 4435,57 * 324,7 * 10^{-6} = 1,440 tonCO_2e/ano$$

Por fim, através da diferença entre os valores registrados pelas equações 32 e 34, obtém-se a redução do impacto ambiental resultante da substituição do veículo analisado pelo VE equivalente.

$$\text{Redução das emissões de } CO_2 = \text{Eq. 32} - \text{Eq. 34}$$

Que para o exemplo considerado resulta em:

$$\text{Redução das emissões de } CO_2 = 4,325 - 1,440 = 2,885 tonCO_2e/ano$$

Relativamente à redução do consumo energético devido à substituição do veículo analisado, uma vez que são comparadas fontes de energia distintas, o valor dos litros de combustível consumidos pelo veículo analisado deve ser convertido para MJ , através do $PCI_{combustível}(MJ/$

kg). De seguida, deve converter-se o valor da energia elétrica consumida pelo VE para MJ (1kWh = 3,6MJ), sendo que, por fim, obtém-se a redução do consumo energético em Tep, através da diferença de valores (Eq. 35 e 36), tendo em consideração que 1 tep = 41 868 MJ [33].

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético anual (veículo analisado) em MJ} &= \\ &= L_i(\text{litros}) * \rho_{\text{combustível}}(\text{kg/L}) * PCI_{\text{combustível}}(\text{MJ/kg}) \quad (\text{Eq. 35}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético (VE) em MJ} &= \\ &= \text{Consumo energético VE}(\text{kWh}/100\text{km}) * \frac{\text{kmi}}{100} * 3,6(\text{MJ}/\text{kWh}) \quad (\text{Eq. 36}) \end{aligned}$$

$$\text{Redução do consumo energético em Tep} = \frac{(\text{Eq. 32} - \text{Eq. 34})}{41868(\text{MJ}/\text{Tep})}$$

Para o exemplo em análise obtém-se:

$$\text{Consumo energético anual (veículo analisado) em MJ} = 1606,79 * 0,84 * 43,3 = 58442,17 \text{ MJ}$$

$$\text{Consumo energético (VE) em MJ} = 15,83 * \frac{28020}{100} * 3,6 = 15968,04 \text{ MJ}$$

$$\text{Redução do consumo energético em Tep} = \frac{(58442,17 - 15968,04)}{41868} = 1,014 \text{ Tep/ano}$$

Pelo que a substituição do veículo analisado pelo VE permite uma redução de custos total de 464,67€/ano, a redução da emissão de 2,885 tonCO₂e/ano e a redução do consumo energético em 1,014 Tep/ano.

Entre a data da realização do estudo efetuado e data de escrita do relatório, foram já apresentadas diversas novas soluções de mercado, tais como, o novo modelo para o veículo LP elétrico considerado (*Renault Zoe Z.E. 50*- Figura 9) com um autonomia superior em cerca de 70km em relação à versão anterior, visto que apresenta uma bateria de 52kWh, bem como o novo veículo elétrico da *Peugeot (Peugeot 208-e)*.

Tendo em consideração a rápida evolução das soluções de mercado apresentadas para VE, por parte das marcas fabricantes de automóveis e a complexidade da análise realizada para a viabilidade de substituição de um veículo tradicional por um VE, surge assim a necessidade da definição de um parâmetro direto que permita a decisão, por parte do gestor de frota da empresa, de substituição ou não do veículo analisado pelo modelo equivalente elétrico.

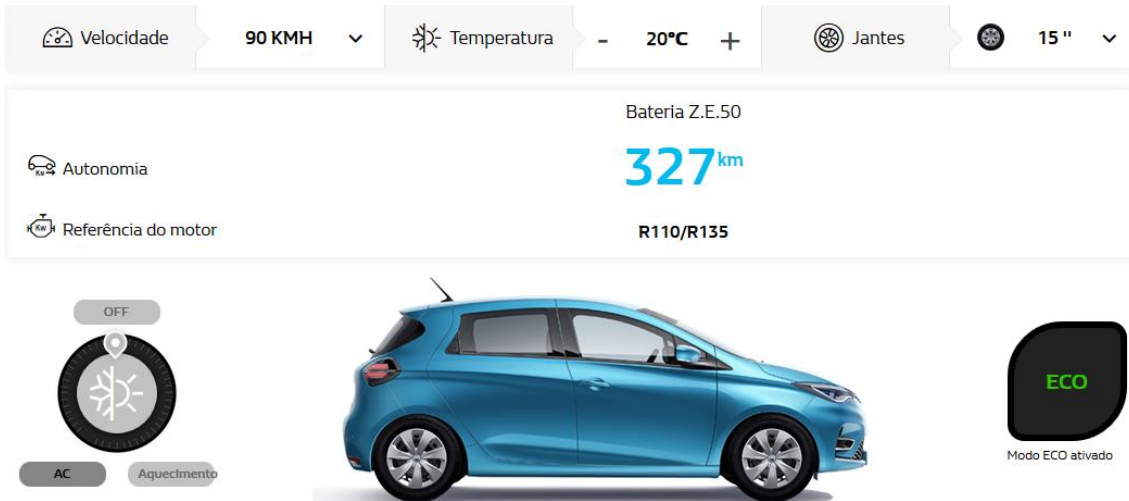


Figura 9- Autonomia Renault ZOE Z.E 50, Fonte: [35]

Apresenta-se a equação de redução de custos total, definida para a substituição de um veículo tradicional por um VE (equação 29):

$$\begin{aligned} \text{Redução anual de custos total} &= \left(CV_i - CE_{VE} * \frac{km_i}{100} * P_{Eletricidade} \right) + (R_i - R_{VE}) * 12 = \\ &= (CC_i * PC_i - CE_{VE} * P_{Eletricidade}) * \frac{km_i}{100} + (R_i - R_{VE}) * 12 \end{aligned}$$

Na qual CC_i representa o consumo de combustível ($L/100km$), PC_i o preço de combustível ($€/L$), km_i a distância anual percorrida (km) e R_i o valor do contrato de aluguer ($€/mês$) do veículo analisado(i), enquanto que CE_{VE} representa o consumo energético ($kWh/100km$), $P_{Eletricidade}$ o preço do kWh de eletricidade fornecida ($€/kWh$) e R_{VE} o valor do contrato de aluguer ($€/mês$) do veículo elétrico de substituição (VE).

Considerando que a equação apresentada permite obter a redução de custos associada à substituição do veículo e que caso essa equação seja igualada a zero, ou seja, perante a situação limite em que a substituição do veículo por um VE não permitiria uma redução de custos, mas também não corresponderia a um aumento da despesa associada à utilização do veículo analisado, conhecidos os valores de caracterização dos veículos ($CC_i, PC_i, R_i, CE_{VE}, P_{Eletricidade}$ e R_{VE}) e isolando a equação em ordem aos km percorridos, é possível obter os km acima dos quais (km_{limite}) a substituição do veículo analisado por um VE se revela vantajosa (valor da Eq. 29 positivo) (Eq. 37).

$$\text{Redução anual de custos total} = (CC_i * PC_i - CE_{VE} * P_{Eletricidade}) * \frac{km_i}{100} + (R_i - R_{VE}) * 12 = 0$$

$$km_{limite}(km/ano) = \frac{-100 * 12 * (R_i - R_{VE})}{(CC_i * PC_i - CE_{VE} * P_{Eletricidade})} \quad (Eq. 37)$$

Esta equação é válida para $CC_i * PC_i > CE_{VE} * P_{Elettricidade}$ que, tendo em consideração os valores dos consumos energéticos e os preços de energia atuais, se revela sempre verdadeiro, facto esse implícito à vantagem da substituição de veículos convencionais por VE e para $R_{VE}(\text{euros/mês}) > R_i(\text{euros/mês})$, situação que se verificou para todos os veículos analisados, caso $R_{VE} < R_i$ e $CC_i * PC_i > CE_{VE} * P_{Elettricidade}$, naturalmente a análise apresentada não seria necessária, pois o VE apresentaria sempre um custo de utilização inferior ao veículo convencional, sendo por isso sempre vantajosa a sua implementação na frota automóvel.

Desta forma o gestor de frota da empresa, poderá facilmente comparar o valor de km_{limite} obtido pela Eq. 37, com o valor dos quilómetros anuais percorridos pela viatura (km_i), para qual a análise de substituição está a ser efetuada, podendo ocorrer duas situações:

- $km_{limite} > km_i$, caso em que os quilómetros percorridos pelo veículo analisado são inferiores ao valor obtido, concluindo-se assim que a substituição pelo VE não será adequada;
- $km_{limite} < km_i$, caso em que os quilómetros percorridos pelo veículo analisado são superiores ao valor obtido, concluindo-se assim que a substituição pelo VE poderá ser vantajosa.

Para o caso em que, $km_{limite} < km_i$, calculou-se também o valor da redução de custos devido à substituição pelo VE, através da introdução do valor de km_i na Eq. 29. Não obstante do facto de que, nesta situação, deverá proceder-se a análise das médias diárias de km percorridos pelo veículo (Tabela 23) e comparado o respetivo valor máximo registado com a autonomia definida para o VE. Evita-se, porém, a análise das médias de quilómetros diários percorridos por viatura, processo esse que se revela bastante moroso, para situações em que $km_{limite} > km_i$.

Apresenta-se em anexo a ferramenta numérica resultante da análise acima descrita, para vários casos da frota automóvel, quer para veículos LP quer para veículos LM (ver anexo 3).

3 Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos pelas metodologias descritas na secção anterior para as várias medidas propostas. Apresentam-se também a descrição de estratégias e tempos de implementação das medidas propostas, os investimentos necessários à implementação das mesmas e os respetivos tempos de retorno, bem como soluções alternativas que poderão melhorar os resultados obtidos. As percentagens de redução para os resultados obtidos, serão sempre relativas à situação inicial, ou seja, para um consumo energético anual de 345 *Tep*, correspondendo a uma despesa de 532 502,81 € e a emissão de 1086,58 *TonCO₂e*.

3.1 Otimização de veículos utilizados

A aplicação da metodologia descrita para esta medida resultou na proposta de substituição de 43 veículos ligeiros (ver Tabela 25) por veículos com menor consumo de combustível (14 LP e 29 LM), para uma redução total do consumo energético de 7,90 *Tep* (2,29%), correspondendo a uma redução de custos anual de 18 687€ (3,51%) e a redução da emissão de 24,46 *TonCO₂e/ano* (2,29%).

Tabela 25-Resultados da substituição de veículos por modelos com um consumo de combustível inferior

Veículos substituídos	Poupança energética (<i>Tep</i>)	%	Economia das medidas (€)	%	Redução de emissões (<i>TonCO₂e</i>)	%
14 LP	1,93	0,56	9 141	1,72	5,97	0,56
29 LM	5,97	1,73	9 546	1,79	18,50	1,73
Total	7,90	2,29	18 687	3,51	24,47	2,29

Nesta primeira medida deverão ser respeitadas as datas de términos dos contratos de aluguer das viaturas a substituir, uma vez que a rescisão antecipada desses contratos implica o pagamento de 30% do valor do contrato até à data de término do mesmo, sendo por isso de implementação gradual. Dos 43 veículos propostos para substituição, 5 poderão ser substituídos até ao final de 2019, 14 serão substituídos até ao final de 2020, 20 até ao final de 2021 e 4 veículos até ao final de 2022. Sendo assim, a substituição de veículos proposta nesta medida não apresenta a necessidade de um investimento adicional, pelo que o tempo de retorno será desta forma imediato, tendo em consideração que as datas de término dos contratos de aluguer são respeitadas e que, a diferença entre os valores dos contratos de aluguer do veículo de substituição e do veículo substituído, foram tidos em consideração para o cálculo da redução de custos total.

Na Figura 10 apresenta-se a redução do consumo de combustível (*tep*) em função do ano de substituição dos veículos analisados. De notar que os efeitos da substituição de um veículo no consumo total de energia da frota, só se refletem no ano seguinte à substituição do mesmo, visto que se procedeu ao cálculo anual do impacte energético, ambiental e financeiro resultante dessas substituições. Pelo que o valor para o consumo de energia apresentado no ano de 2019 corresponde ao valor registado para o ano de 2018, sendo que o valor para o ano de 2020 representa a redução do consumo de combustível obtida pela substituição dos veículos proposta para o ano de 2019 e o mesmo para os restantes anos apresentados.

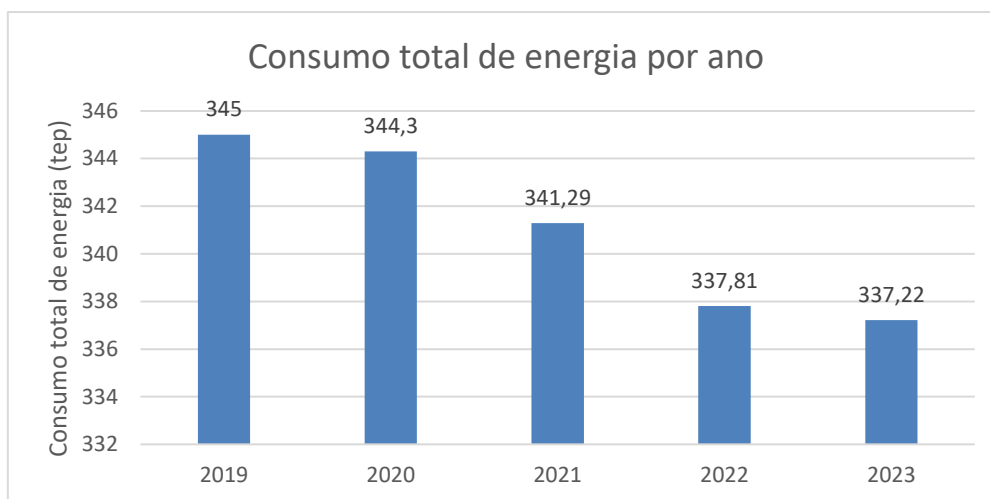


Figura 10- Redução do consumo total de energia (em *tep*) em função do ano de substituição dos veículos

A redução de custos obtida pela implementação desta medida poderia ser superior, caso fosse possível a substituição dos veículos pertencentes à classe 2-LP, ou seja, os veículos LP de maior dimensão, pelo modelo de referência definido para a classe 1-LP (veículos LP de menor dimensão), dado que o modelo de referência para a classe 1-LP apresenta um consumo de combustível médio de $4,96 \text{ l}/100\text{km}$, enquanto que o veículo de referência para a classe 2-LP apresenta um consumo de combustível médio de $5,48 \text{ l}/100\text{km}$. Portanto, sempre que se verifiquem situações em que o espaço de bagagem extra dos veículos da classe 2-LP comparativamente aos veículos da classe 1-LP, não seja estritamente necessário, o veículo (classe 2-LP) deverá ser substituído pelo veículo de referência da classe 1-LP.

Poderão eventualmente registrar-se melhores resultados de redução de custos em comparação aos apresentados pela análise efetuada, visto que se considerou que todos os condutores dos veículos substituídos passarão a apresentar um consumo de combustível médio igual ao valor do consumo médio do veículo de substituição (referência). Isso inclui os casos em que os condutores dos veículos substituídos apresentavam um consumo de combustível inferior ao valor médio para o modelo de veículo considerado. Consequentemente, após a substituição do veículo, possivelmente passarão também a apresentar um consumo de combustível inferior ao valor médio para o veículo de referência (substituição). No entanto, existem também casos em que os condutores apresentam consumos médios superiores em comparação com os outros

modelos semelhantes da frota e que possivelmente, após a substituição do veículo, apresentarão também consumos superiores à média registada para o veículo de substituição.

Considera-se assim que a metodologia definida representa uma boa aproximação do resultado da implementação da medida proposta, não excluindo, porém, a possibilidade do registo de um resultado superior de redução de custos. Especialmente quando considerado que os colaboradores da empresa receberão formação em condução eficiente, podendo por isso, a 1ª medida, potenciar os resultados obtidos pela 2ª medida, uma vez que, poderá ser registado um consumo de combustível inferior, para os casos de substituição dos veículos atribuídos aos condutores que se considerou que já praticavam medidas de condução eficiente. Sendo assim, caso esses colaboradores continuassem a utilizar o mesmo veículo (menos eficiente), nunca poderiam reduzir o seu consumo médio de combustível para o valor mínimo registado pelo veículo de referência, mesmo através da prática de medidas de condução eficiente.

3.2 Sensibilização para a prática de medidas de condução eficiente

Através da metodologia descrita para determinar quais os condutores que beneficiariam de formação em condução eficiente, obteve-se para o cenário otimista, um conjunto de 127 condutores que poderão ser sujeitos a formação, enquanto que para o cenário pessimista um total de 82 condutores (ver Tabela 26).

Estima-se que a medida proposta permite a redução do consumo de energia entre 25,76 a 9,57 Tep (7,47 a 2,77%), resultando numa redução de custos anual entre 39 822 a 15 023€ (7,48 a 2,82%), permitindo ainda a redução da emissão de 79,81 a 29,65 TonCO₂e/ano (7,47 a 2,77%), para o cenário otimista e pessimista, respetivamente.

Tabela 26- Resultados da sensibilização dos colaboradores para práticas de medidas de condução eficiente

Cenário	Poupança energética (Tep)	%	Economia das medidas (€)	%	Redução de emissões (TonCO ₂ e)	%
Otimista (127)	25,76	7,47	37 674	7,07	79,81	7,47
Pessimista (82)	9,57	2,77	12 875	2,41	29,65	2,77
Adicional	-	-	2 148	0,41	-	-
Total	25,76 a 9,57	7,47 a 2,77	39 822 a 15 023	7,48 a 2,82	79,81 a 29,65	7,47 a 2,77

Apresenta-se na Figura 11 a redução do consumo total de energia da frota automóvel para os dois cenários considerados (pessimista e otimista), viste que a percentagem de redução do consumo de energia trata-se de um dos parâmetros a alcançar tendo sido definido nos objetivos.

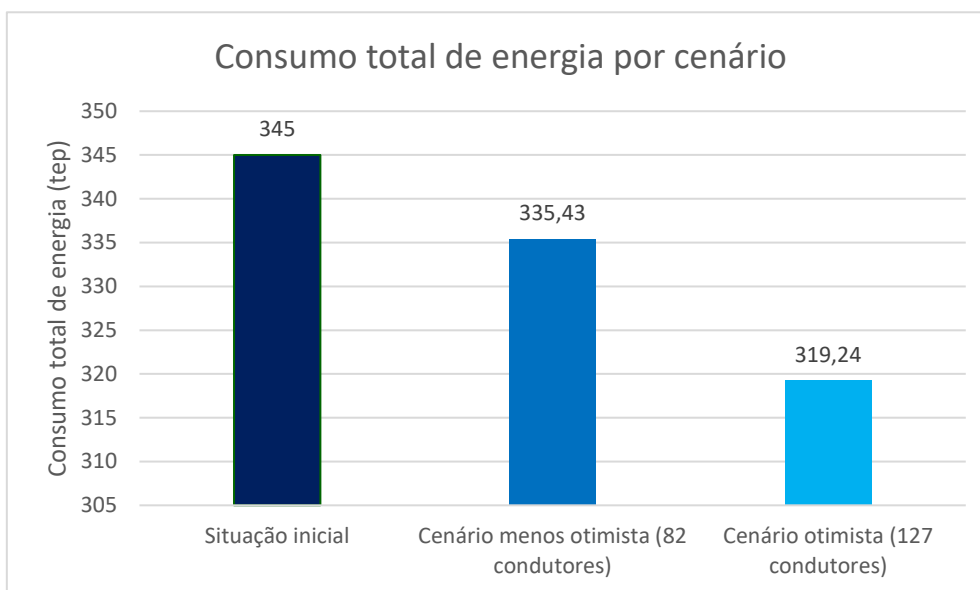


Figura 11- Redução do consumo de energia da frota automóvel em função do cenário considerado

Para avaliar a precisão dos resultados obtidos, calculou-se o valor médio para a percentagem de redução do consumo de combustível de cada condutor, resultante da sua formação em condução eficiente, para os dois cenários definidos. Obteve-se assim um valor médio de 12,2 e 4,4% para a redução do consumo de combustível de cada condutor, para o primeiro (otimista) e segundo cenário (pessimista), respetivamente. Tendo em consideração que, na literatura é apresentado um valor médio para a redução do consumo de combustível após formação em condução eficiente entre 6 a 8% [24] [25], considera-se assim que os cenários desenvolvidos constituem uma boa estimativa para o intervalo de valores (impacte financeiro e ambiental/energético) resultantes da implementação da medida proposta.

O primeiro cenário representa o valor máximo (limite superior) que será possível obter pela implementação desta medida, podendo, no entanto, ser considerado demasiado otimista considerando o valor médio para a redução do consumo de combustível obtido. Relativamente ao segundo cenário, dificilmente serão registados valores inferiores para os resultados obtidos pela implementação desta medida, justificado pelo valor médio para a redução do consumo de combustível observado, podendo mesmo ser considerado um cenário bastante conservador/pessimista. No ficheiro Excel (ver excerto no anexo 4), foram apresentados os valores obtidos para cada veículo, por BU, e ordenados por ordem decrescente, relativamente ao valor estimado para a redução de custos associada à prática de medidas de condução eficiente, para que o gestor de frota da empresa consiga identificar quais os condutores que devem ser formados em primeiro lugar, dado que apresentam um consumo de combustível mais elevado, sendo por isso os resultados da sua formação em condução eficiente mais significativos.

O investimento necessário à implementação desta medida consiste, naturalmente, no custo associado à formação dos condutores, correspondendo a 15 240€, de acordo com dados recolhidos de propostas de formação entregues na empresa. As propostas apresentadas à empresa revelam que é possível a formação de 12 condutores em simultâneo (por turma), sendo

que o valor por formação será de 1440€ por turma, correspondendo a um valor de 120€ por formando. Aconselha-se a formação dos 127 condutores, não obstante dos dois cenários definidos, visto que, a formação permite não só a redução do consumo de combustível, mas também uma condução mais segura, o que certamente se revela bastante benéfico quer para os condutores quer para a empresa. Desta forma, o tempo de retorno desta medida corresponderá a 5 meses, caso se verifique o cenário otimista ou a 12 meses para o cenário pessimista. O tempo de implementação desta medida estará dependente da disponibilidade da empresa responsável pela formação dos condutores e da decisão da frequência de realização dessas mesmas formações por parte da SOTECNICA. Caso seja assumido que é possível a formação de 12 condutores por dia, o tempo de implementação consiste assim em 11 dias úteis.

3.3 Substituição de veículos convencionais por veículos elétricos

Antecedentemente à apresentação dos resultados obtidos pela implementação desta medida, procede-se à análise dos valores obtidos para os 3 indicadores de comparação definidos anteriormente, para a comparação dos vários tipos de tecnologias de propulsão presentes na frota automóvel.

De forma a facilitar a comparação dos indicadores definidos, para os vários tipos de veículos, apresentam-se na Figura 12 e Figura 13 os gráficos representativos dos dados das Tabela 19 e Tabela 20, respetivamente.

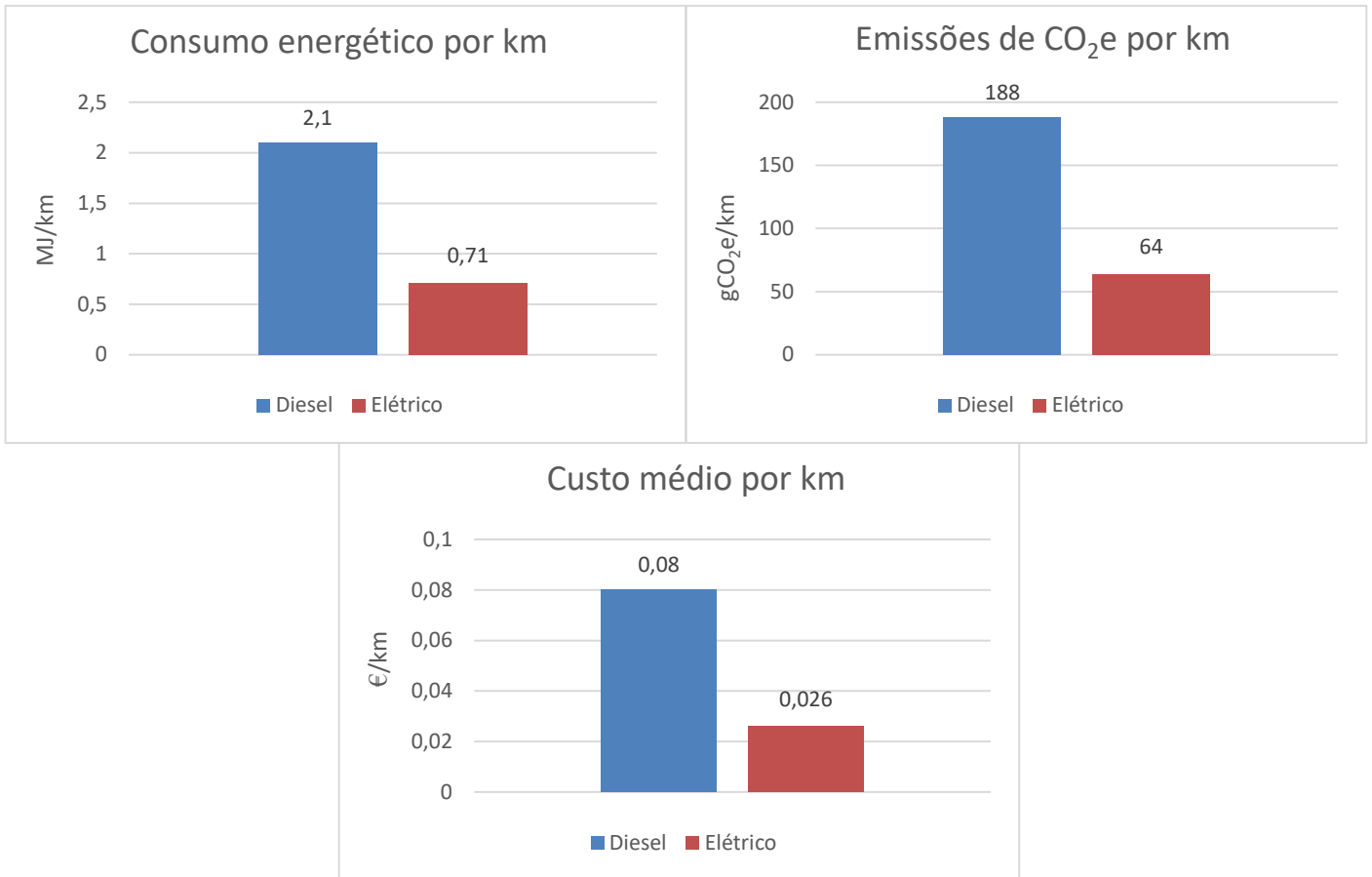


Figura 12- Indicadores de comparação para veículos LM

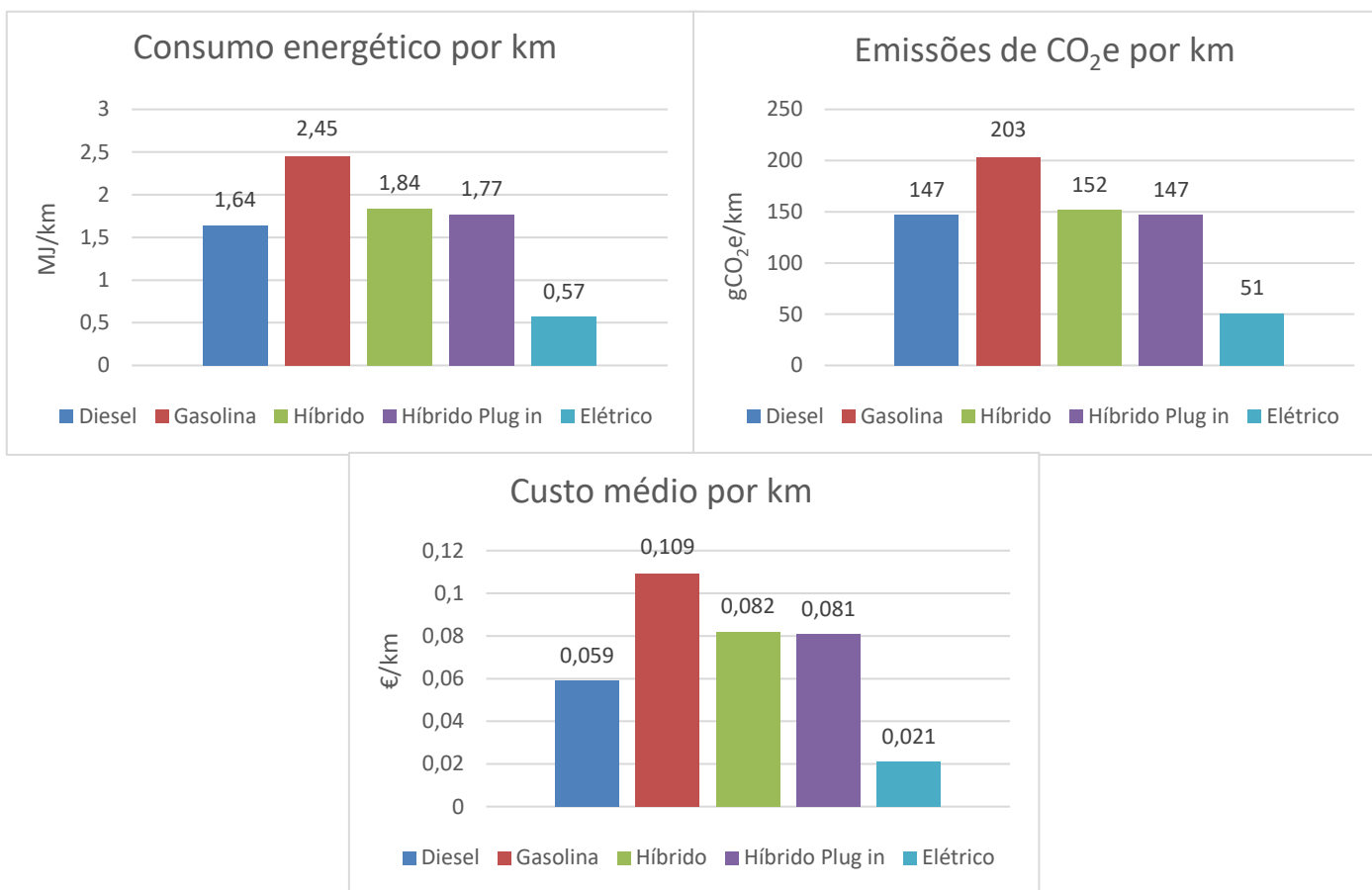


Figura 13- Indicadores de comparação para veículos LP

Através da análise dos indicadores definidos, para os vários tipos de tecnologia de propulsão, conclui-se que os veículos elétricos constituem a melhor solução de mobilidade (tal como indicado no estado de arte pelo estudo [14] [40] [41]), uma vez que, quando comparado com a alternativa para o veículo LM, apresenta um consumo energético inferior em cerca de 66,2%, permite uma redução de 67,0% das emissões de CO₂ por km percorrido e apresenta ainda um custo por km inferior em cerca de 67,5%, também pelo facto que, comparativamente à segunda melhor opção para os veículos LP(gasóleo), apresenta um consumo energético inferior em cerca de 65,2%, permite uma redução de 65,3% das emissões de CO₂ por km percorrido e um custo por km inferior em cerca de 64,4%. Estes resultados validam assim a viabilidade da implementação desta medida.

De notar que, para o caso do veículo híbrido Plug-in (*PHEV- Plug in Hybrid Electric Vehicle*), quando comparado com os outros veículos considerados, a análise realizada poderá não ser representativa deste tipo de tecnologia, dado que a motorização do veículo PHEV em questão é bastante mais potente comparativamente aos outros veículos analisados (200 Cv, 2.0L vs. 100Cv, 1.5L), o que poderia justificar um consumo energético mais elevado.

Porém é também necessário ter em consideração que o consumo energético apresentado corresponde a uma subestimativa do valor real do consumo deste veículo, visto que, os carregadores instalados na empresa não executam o registo dos *kWh* de eletricidade fornecidos para este veículo, não sendo por isso possível contabilizar a energia elétrica adicional que foi fornecida ao veículo para percorrer os quilómetros registados. Existem no mercado outras soluções de viaturas PHEV, com uma motorização semelhante aos veículos analisados (Ex: Toyota Prius PHEV-motor térmico de 1.8L a gasolina), porém, esta solução não foi considerada devido à disparidade entre os valores das emissões de CO₂ da ficha técnica (Tabela 19) e os valores reais registados para os veículos analisados (Tabela 21), especialmente para o veículo com este tipo de tecnologia de propulsão (42gCO₂e/km vs 122gCO₂e/km).

Uma vez que, as emissões de CO₂ e o consumo de combustível estão diretamente relacionados, caso fosse considerada a substituição de veículos tradicionais pelo veículo PHEV com uma motorização semelhante dado como exemplo, o cálculo para a estimativa do impacto financeiro e ambiental resultante dessa substituição seria realizado através da utilização dos valores anunciados nas fichas técnicas, em comparação com os valores reais registados, o que poderia conduzir a resultados falaciosos.

O mesmo argumento poderia ser utilizado para invalidar as conclusões obtidas pela análise realizada aos vários tipos de veículos LP, tendo em consideração que para o veículo LP elétrico, recorreu-se aos valores para o consumo energético indicados pelo fabricante automóvel [35]. No entanto, a fim de confirmar a precisão do valor apresentado, procedeu-se à comparação entre o valor do consumo energético retirado do site da marca [34], apresentado na Figura 14, e o registado pelo computador de bordo do veículo LM elétrico (Tabela 17).



Figura 14 - Autonomia Renault Kangoo Z.E 33, Fonte: [34]

Assumiu-se assim uma velocidade média de 90 km/h, e o cenário que conduz a uma maior autonomia do veículo para esta velocidade, ou seja, 0kg de carga extra transportada, modo eco ativado e condições climáticas mais favoráveis ao funcionamento das baterias (20°C), para

retirar o valor da autonomia do veículo e calcular o consumo energético anunciado pela marca (Eq. 27).

$$\text{Consumo energético anunciado (kWh/100km)} = \frac{\text{capacidade da bateria (kWh)}}{\text{autonomia do veículo (km)}} * 100 \text{ (Eq. 27)}$$

Para o caso considerado (veículo LM elétrico) obtém-se:

$$\text{Consumo energético anunciado (kWh/100km)} = \frac{33 \text{ (kWh)}}{179 \text{ (km)}} * 100 = 18,44 \text{ kWh/100km}$$

Para o veículo LP elétrico obteve-se [35]:

$$\text{Consumo energético anunciado (kWh/100km)} = \frac{41 \text{ (kWh)}}{259 \text{ (km)}} * 100 = 15,83 \text{ kWh/100km}$$

Comparando os valores obtidos para o consumo energético conclui-se que, mesmo assumindo o cenário mais favorável, para a velocidade considerada, o consumo energético anunciado para o veículo LM elétrico é apenas 7,6% inferior ao valor real registado (19,84kWh/100km). Desta forma, tendo em consideração que o veículo LP elétrico, corresponde não só, ao mesmo tipo de tecnologia de propulsão, bem como à mesma marca automóvel do exemplo apresentado, considera-se que o valor retirado do site da marca, para uma velocidade média de 90 km/h, consiste, também para este caso, numa boa aproximação do valor do consumo energético real.

Após a validação dos resultados obtidos para a análise da melhor solução de mobilidade, apresenta-se, na Figura 15, a comparação das percentagens de redução de custos em relação ao custo anual para a totalidade da frota automóvel (separados por veículos LP e LM) obtidas para os dois cenários anteriormente definidos, cujo objetivo consistia em compreender a magnitude da limitação associada à autonomia das baterias dos veículos elétricos.

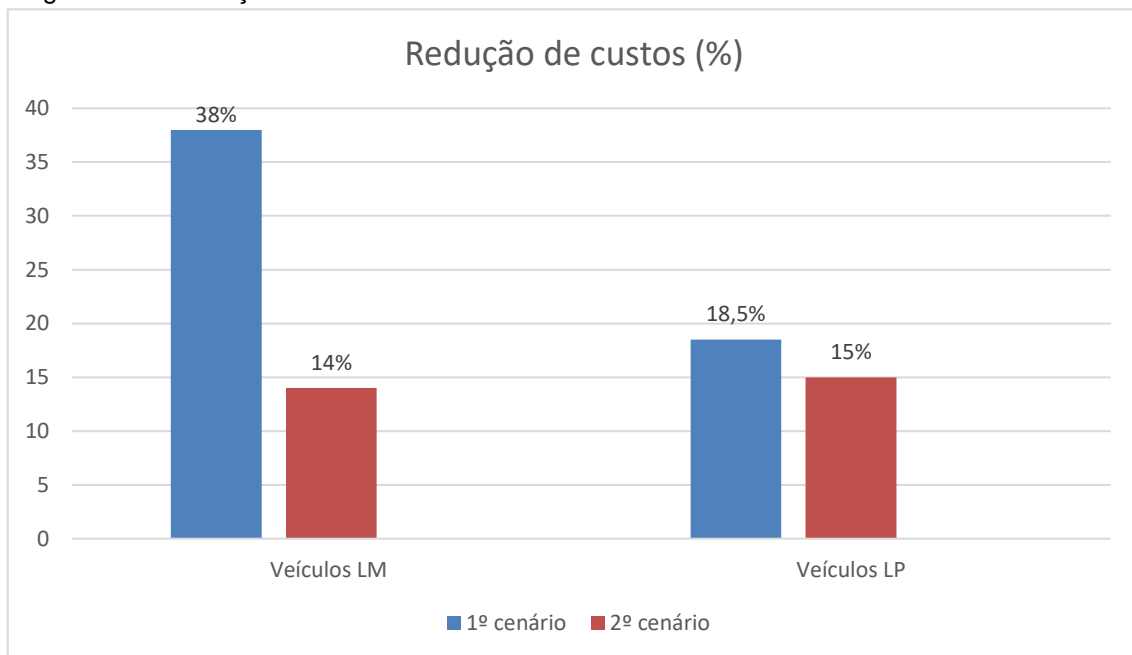


Figura 15- Redução de custos em percentagem, por categoria de veículo, para o 1º e 2º cenário

Como se pode observar na Figura 15, a autonomia do VE para substituição dos veículos LM, é ainda bastante limitada e devido a esta circunstância, regista-se uma diferença na percentagem de redução de custos em cerca de 24 pontos percentuais do 1º para o 2º cenário. No caso do VE para substituição dos veículos LP, esta limitação não representa um impacto tão severo na percentagem de redução de custos, dado que a diferença de percentagens entre os dois cenários é de apenas 4,5%, sendo por isso a autonomia do veículo LP elétrico mais apropriada à função destes veículos. O resultado mais desfavorável para os veículos LM resulta da combinação de dois fatores, nomeadamente, a necessidade de percorrer maiores distâncias, devido à sua função (deslocações por parte dos técnicos aos locais de intervenção) e a menor autonomia apresentada por este VE de substituição (menos 80km de autonomia que o veículo LP elétrico).

Por fim, apresenta-se os resultados obtidos para o cenário final definido. Sendo que pela aplicação da metodologia descrita, conclui-se que é possível a substituição de 15 veículos ligeiros (ver Tabela 27) por veículos elétricos (4 LP e 11 LM), resultando numa redução do consumo energético de 17,81 *Tep* (5,17%), correspondendo a uma redução de custos anual de 6 434 € (1,21%), possibilitando ainda a redução da emissão de 50,36 *TonCO₂e/ano* (4,71%).

Tabela 27- Resultados da substituição de veículos por VE

Veículos substituídos	Média diária de km percorridos	Poupança energética (<i>Tep</i>)	%	Economia das medidas (€)	%	Redução de emissões (TTW) (<i>TonCO₂e</i>)	%
4 LP	108	3,42	0,99	2 008	0,38	9,43	0,88
11 LM	120	14,39	4,18	4 427	0,83	40,93	3,83
Total	-	17,81	5,17	6 434	1,21	50,36	4,71

Comparando o número de veículos propostos para substituição no cenário final, aqui apresentado, com o resultado obtido para o 2º cenário definido anteriormente (sem consideração do valor dos contratos de aluguer), que permitia uma redução de custos até 29% (≈137k €) para a substituição de 95 veículos ligeiros, é possível compreender que o valor dos contratos de aluguer dos VE, representa um fator bastante limitador à substituição de veículos convencionais pelos mesmos.

De facto, não se verificou nenhuma situação em que o valor do contrato de aluguer de um VE, fosse inferior ao de um veículo convencional, sendo que em certos casos essa diferença de valores resulta em aumentos de custos anuais até 2k €, sendo por isso como já referido um fator extremamente limitador.

Analisando a equação 29, é possível compreender que são necessários um conjunto de fatores bastante específicos para que a substituição por um VE seja benéfica.

Redução anual de custos total =

$$= (CC_i * PC_i - CE_{VE} * P_{Elettricidade}) * \frac{km_i}{100} + (R_i - R_{VE}) * 12 \text{ (Eq. 29)}$$

Relembrando que, $CC_i(l/100km)$ representa o consumo de combustível do veículo analisado (i), $PC_i(\text{euros/litro})$ o preço do combustível para o veículo em questão, $CE_{VE}(kWh/100km)$ o consumo energético do veículo elétrico proposto para substituição do veículo analisado (i), $p_{Elettricidade}(\text{euros/kWh})$ o preço da eletricidade considerado, km_i a distância anual percorrida pelo veículo analisado e por fim $R_i(\text{euros/mês})$ representa o valor do custo mensal do contrato de aluguer do veículo convencional e $R_{VE}(\text{euros/mês})$ o valor do custo mensal do contrato de aluguer do VE proposto para substituição do veículo analisado.

Os elevados valores dos contratos de aluguer dos VE refletem-se em valores bastante negativos para o segundo membro da subtração da equação indicada. Para que o resultado global da equação 22 seja positivo (compensando assim a diferença entre as rendas), é necessário um elevado valor de quilómetros percorridos pelo veículo a substituir, dado que este membro da equação, $(CC_i * PC_i - CE_{VE} * P_{Elettricidade})$, se revelou sempre positivo. No entanto, os casos em que se registou um elevado valor de quilómetros percorridos, permitindo assim uma elevada redução de custos pela substituição por um VE, correspondem precisamente aos casos em que a substituição por VE não é possível, devido à limitação associada à autonomia da bateria do veículo. Compreende-se assim a elevada redução da percentagem de redução de custos do 2º cenário (29%) comparativamente ao cenário final apresentado (1,21%). De notar ainda que, embora a redução de custos desta medida possa não parecer significativa, comparativamente às outras medidas apresentadas, destaca-se o elevado valor da redução de emissões de CO₂ dado que representam 50 *TonCO₂e/ano* pela substituição de apenas 15 veículos.

À semelhança da primeira medida, deverão ser respeitadas as datas de términos dos contratos de aluguer, a fim de evitar custos adicionais na rescisão dos mesmos (30% do valor do contrato até à data de término do mesmo), sendo por isso esta medida de implementação gradual. Dos 15 veículos propostos para substituição, 1 poderá substituído até ao final de 2019, 6 serão substituídos até ao final de 2020, 7 até ao final de 2021 e 1 veículo até ao final de 2022.

Na Figura 16 apresenta-se um gráfico semelhante ao apresentado na Figura 10 para a 1ª medida, no qual se encontra representada a redução do consumo de combustível (*tep*) em função do ano de substituição dos veículos analisados por VE. Aqui de novo os efeitos da substituição de um veículo no consumo total de energia da frota só se refletem no ano seguinte à substituição do mesmo, pelos mesmos motivos referidos para o gráfico da Figura 10.

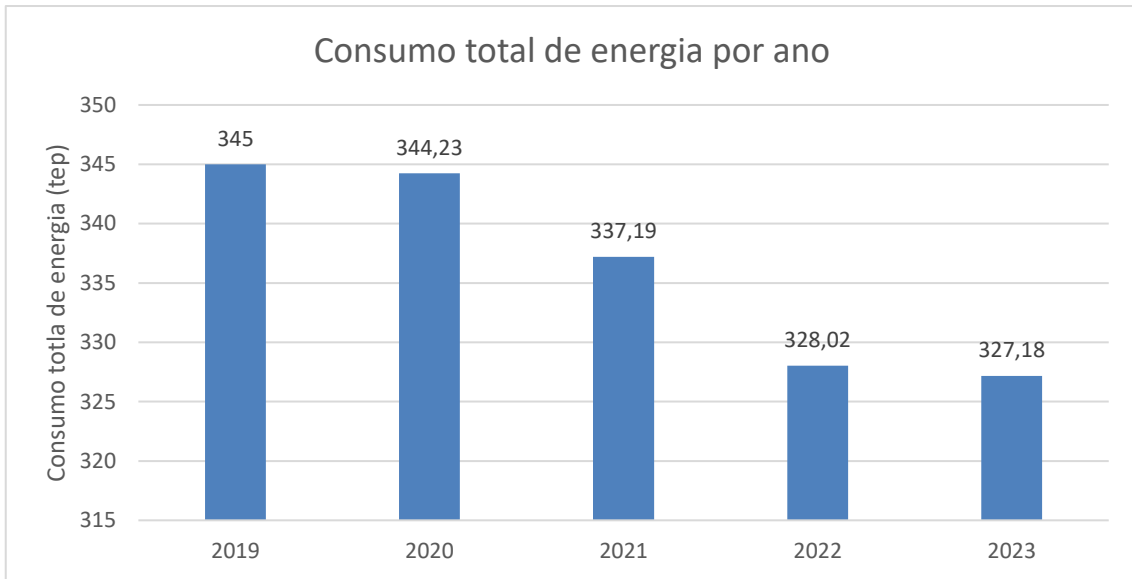


Figura 16 - Redução do consumo total de energia (em tep) em função do ano de substituição dos veículos por VE

Desta forma a substituição de veículos proposta nesta medida não implica um investimento inicial, visto que as diferenças entre os valores dos contratos de aluguer foram tidas em consideração, para o cálculo da redução de custos total.

Porém, dada a necessidade de carregamento das baterias dos VE, esta medida apresenta ainda assim um investimento necessário, relacionado com a implementação desses mesmos carregadores. Analisou-se assim os tempos de carregamentos (Figuras 16 e 17) para os veículos considerados [34] [35], em função da potência do carregador, de modo a determinar qual o modelo de carregadores mais indicado e o respetivo custo de implementação.

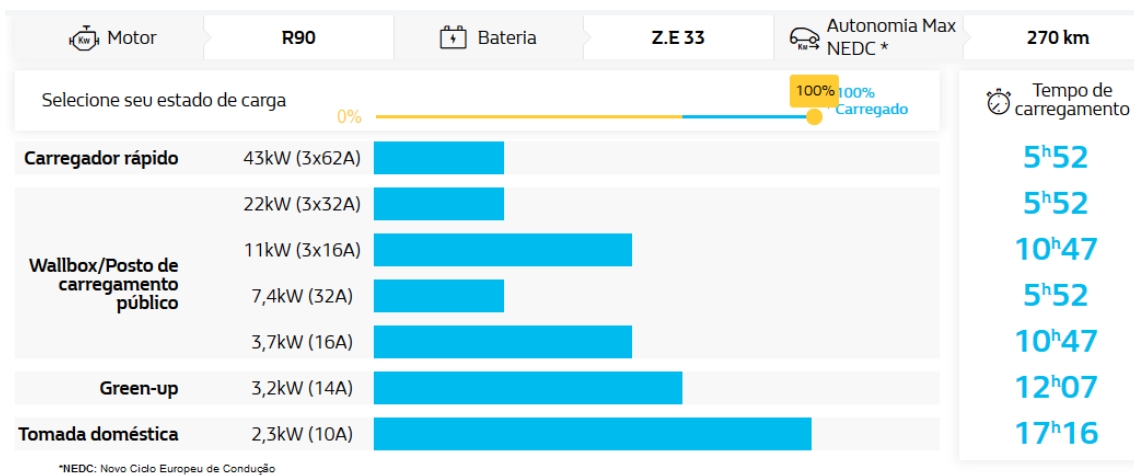


Figura 17 - Tempos de carregamento (100%) para Renault ZOE Z.E 40 Fonte: [34]

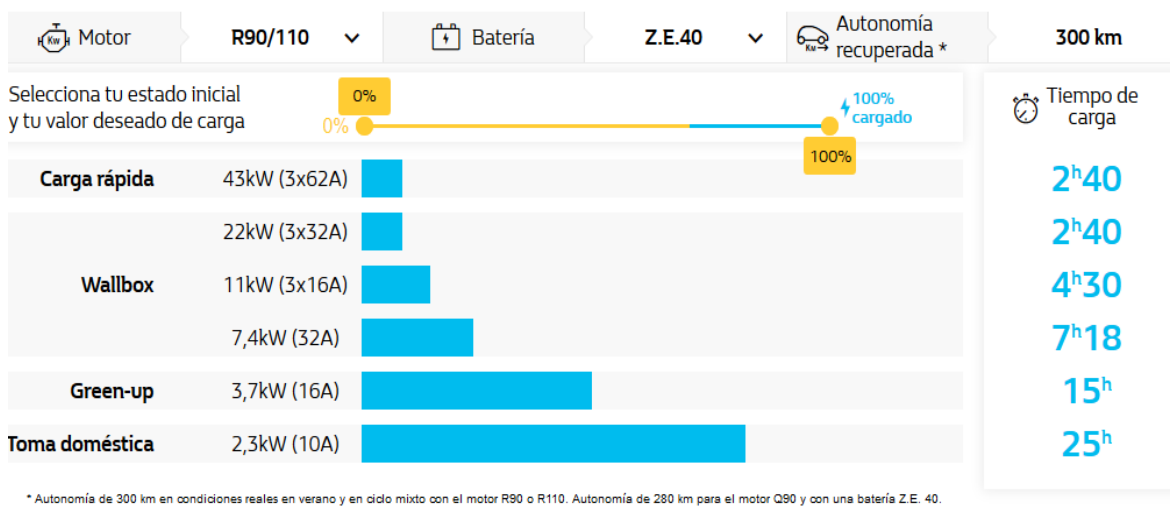


Figura 18 - Tempos de carregamento (100%) para Renault Kangoo Z.E 33 Fonte: [35]

A escolha adequada do tipo de potência dos carregadores a instalar, estará naturalmente relacionada com o período disponível para o carregamento dos VE, sendo que este período depende do tipo de função do veículo a ser substituído. Para os colaboradores que apenas utilizam o veículo para se deslocarem de casa para o seu local de trabalho e cujo a sua função na empresa implica a permanência num único local (Ex: sede, ou técnicos residentes que são atribuídos a um único cliente/instalação), este período consistirá no horário de trabalho do colaborador, sendo por isso de aproximadamente 8 horas. O carregamento destes veículos pode assim, ser efetuado no local de trabalho durante o período em que não se revela necessário à sua utilização.

Para os casos em que a utilização do veículo por parte do colaborador é necessária durante o período laboral, o seu carregamento só poderá ser efetuado fora deste mesmo período. Nestes casos o veículo poderá permanecer na empresa, fora do período laboral, para que seja efetuado o seu carregamento, porém verifica-se várias situações em que o colaborador se desloca diretamente de casa para o local de intervenção (Ex: técnico de manutenção de edifícios ou um diretor de obra), sendo que nestas situações o carregamento do veículo apenas pode ser efetuado na casa do colaborador. Para estas últimas situações referidas, assumiu-se também que o período disponível para o carregamento seria de 8 horas.

Como se pode constatar o estudo dos locais e períodos disponíveis para o carregamento dos VE é de fulcral importância, devendo ser analisado caso a caso. Para a determinação do investimento necessário, assumiu-se uma posição conservadora, uma vez que se assumiu que seria necessária a carga completa (100%) da bateria do veículo diariamente e um posto de carregamento por VE, embora usualmente não se utilize um carregador por veículo, até porque em vários casos a bateria não será completamente utilizada diariamente permitindo assim a partilha de carregadores. Como explicado anteriormente, visto que período disponível para carregamento consiste em 8 horas, foi determinado que seriam necessários carregadores com uma potência de 7,4kW (230V,32A), visto que, para esta potência de carregamento, o veículo LP elétrico carrega a sua bateria em 7h18 e o veículo LM elétrico em 5h52.

Selecionada a potência do carregador, foram solicitadas proposta comerciais/pedidos de cotação a empresas que fornecem este tipo de equipamento/serviço, tendo-se obtido que o custo de implementação (equipamento e instalação) corresponde a 510,00 + IVA para 1 tomada e 890,00 + IVA para 2 tomadas (ver anexo 5). As BU atribuídas aos veículos substituídos foram registadas, pelo que posteriormente se poderá confirmar se poderão partilhar o mesmo local de carregamento, sendo por isso possível a instalação de carregadores com 2 tomadas, no entanto, mais uma vez é assumida a hipótese mais conservadora considerando que no pior caso, nenhum dos veículos poderá ser carregado no mesmo local, pelo que se assumiu que seria necessário a instalação de 15 carregadores com apenas 1 tomada. Desta forma o investimento necessário à implementação desta medida consiste em 9 409,50€ (IVA incluído). O tempo de retorno da medida, após substituição dos 15 veículos propostos, corresponde assim a ≈ 18 meses ($9\,409,50\text{€}/6\,434\text{€} = 1,5\text{anos} * 12 = 18\text{meses}$), assumindo que a redução de custos anual é uniforme ao longo do ano e igual a 6 434 €/ano para todos os anos.

Destaca-se ainda que, o preço do *kWh* de eletricidade anteriormente apresentado (0,1298€/kWh), correspondia apenas ao preço para os veículos pertencentes à BU-VFP, pelo que a sua utilização no cálculo para os veículos pertencentes a outras BU não seria apropriado. Sendo assim, para os restantes veículos assumiu-se $P_{\text{Eletricidade}} = 0,1028\text{€/kWh}$ (horário de inverno) e 0,1073 €/kwh (horário de verão), cujos valores estão associados ao carregamento dos VE para as tarifas aplicadas durante os períodos cheias e ponta, períodos esses definidos pela ERSE [37] apresentados na Figura 19, sendo que as tarifas aplicadas para os diversos períodos de carregamento foram retiradas da fatura de eletricidade para a sede da empresa, assumindo-se o mesmo preço do *kWh* de eletricidade para todas as filiais da mesma em território nacional.

Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h 18.00/20.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h 10.30/18.00 h 20.30/22.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h 13.00/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h	Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 19- Ciclo diário para fornecimentos em BTE e BTN em Portugal Continental

Observando novamente a equação 29, conclui-se que uma possível estratégia para o aumento da redução anual de custos associada à substituição de veículos tradicionais por VE, poderá estar relacionada com a redução do $P_{\text{Eletricidade}}$, que ao contrário do PC_i poderá ser reduzido.

O $P_{Eletricidade}$ anteriormente apresentado corresponde ao carregamento durante o período laboral (tarifas para cheias e ponta), no entanto, caso o carregamento fosse efetuado durante o período noturno (vazio normal e super vazio), o $P_{Eletricidade}$ seria consideravelmente menos elevado, sendo que novamente através da fatura de eletricidade para a sede da empresa, obteve-se um $P_{Eletricidade} = 0,0661 \text{ €/kwh}$ (horário verão/inverno).

A Figura 20 destaca essa influência na redução de custos associada à substituição de veículos por VE, comparando os valores da redução de custos anual quando o carregamento do VE é efetuado no período noturno ($P_{Eletricidade}$ menos elevado) vs em horário laboral, ou seja, durante o período diurno ($P_{Eletricidade}$ mais elevado).

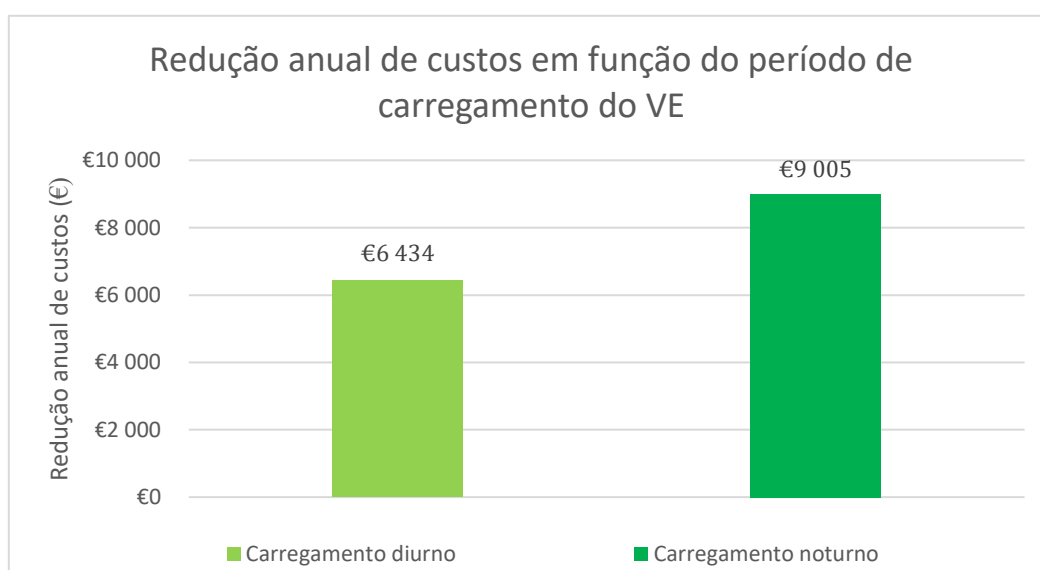


Figura 20- Redução anual de custos em função do período de carregamento do VE (preço eletricidade)

Existe assim a possibilidade duma redução adicional de custos em 2 571€, correspondendo por isso a um aumento de $\approx 40\%$ face ao valor obtido para o carregamento diurno, caso o carregamento dos 15 veículos selecionados seja efetuado durante o período definido para estas duas tarifas (vazio normal e super vazio).

De notar que, poderiam surgir novos casos em adição os 15 aqui apresentados, em que a substituição por um VE poderia ser vantajosa, devido à redução do $P_{Eletricidade}$, embora essa análise não tenha sido efetuada, uma vez que se revela mais prático o carregamento de VE na empresa, durante o período laboral (Ex: lugares de carregamento exclusivos, carregadores em locais partilhados e não individuais etc.). Surge, porém, uma solução que permite usufruir das tarifas para os períodos vazio normal e super vazio, ainda que os carregamentos sejam efetuados durante o período laboral. Esta solução consiste na instalação de baterias para armazenamento de energia durante o período noturno, que seria posteriormente utilizada para o carregamento dos VE durante o horário laboral, no qual, o $P_{Eletricidade}$ se revela mais elevado.

Outra alternativa para a redução do $P_{Eletricidade}$ seria a instalação de painéis solares fotovoltaicos para o carregamento de VE, neste caso, supondo que o dimensionamento dos painéis

fotovoltaicos seria efetuado de modo a satisfazer a totalidade das necessidades energéticas para o carregamento dos VE, resultaria num $P_{Elettricidade} = 0\text{€}$, o que se revela naturalmente bastante vantajoso e adicionalmente o $FE_{Elettricidade}$ passaria a ser igual a $0\text{ gCO}_2e/kWh$. Compreende-se assim que esta solução representa a melhor alternativa em termos de impacte financeiro e ambiental.

No entanto, vários fatores devem ser analisados para a implementação desta solução, tais como, o facto dos veículos da empresa estarem distribuídos por várias filiais em território nacional e não só num único local (local de produção de energia), a diferença entre os períodos de produção de energia elétrica e os períodos disponíveis para carregamento dos VE, no casos dos veículos que são utilizados durante o período laboral, a incapacidade da utilização da energia excedente produzida, caso não sejam implementadas baterias auxiliares e por fim a variabilidade da produção de energia devido às diferentes condições climáticas associadas às várias estações do ano. Devido à complexidade desta solução, não foi estudada a viabilidade da sua implementação, mas destaca-se as suas vantagens económicas e ambientais.

3.4 Implementação integrada das três medidas

As medidas apresentadas foram desenvolvidas de forma a poderem ser implementadas individualmente, razão pela qual, se procedeu nas secções anteriores à apresentação dos resultados obtidos para cada medida. Porém, o objetivo final, compreende certamente a implementação de todas as medidas propostas. No entanto, verificou-se a existência de alguns casos, em que se propôs a substituição de um veículo por um modelo convencional com um consumo de combustível inferior, na 1ª medida e simultaneamente se propunha a substituição do mesmo veículo por um VE para a 3ª medida, resultado da análise efetuada, individualmente, para cada medida. Desta forma o impacte final da implementação das três medidas seria incorreto, caso fossem simplesmente somados os impactes de cada uma das medidas.

Surgiu assim, a necessidade da criação de um critério, que permita definir a qual das medidas deverão ser atribuídos esses veículos, dado que a sua substituição é proposta em ambas as medidas. Optou-se pela comparação do impacte financeiro resultante da substituição do veículo, para ambas as medidas, sendo que, a substituição que resulte num impacte financeiro superior deverá prevalecer sobre a outra medida. Desta forma, no caso da substituição do veículo em questão por um VE (3ª medida) apresentar um impacte financeiro (redução de custos) superior à substituição desse mesmo veículo por um veículo convencional (ICE) com menor consumo de combustível (1ª medida), deverá assim ser mantida a sua substituição para a 3ª medida, no entanto, deverá ser eliminado esse veículo dos casos abrangidos pela 1ª medida e vice-versa. A aplicação da metodologia descrita resultou simplesmente na diminuição dos veículos substituídos para a 1ª e 3ª medida. Para a 1ª medida, ao invés da substituição de 43 veículos

ligeiros, obtém-se a substituição de 38 veículos, nomeadamente, 13 veículos LP e 25 veículos LM. Relativamente à 3ª medida concluiu-se que, apenas 8 veículos ligeiros deveriam ser substituídos por VE, nomeadamente, 3 veículos LP e 5 veículos LM. Visto que o número de veículos substituídos por VE diminui, também o investimento necessário à implementação desta medida irá diminuir.

Apresenta-se de seguida o impacte energético (Figura 21), ambiental (Figura 22) e económico (Figura 23) resultante da implementação integrada das três medidas sugeridas, em função dos anos de substituição dos veículos analisados (na 1ª e 3ª medida). De notar que, para os gráficos apresentados, o impacte energético (Figura 21), ambiental (Figura 22) e económico (Figura 23) da 2ª medida, encontra-se concentrado do primeiro para o segundo ano de implementação das medidas propostas, ou seja, de 2019 para 2020, dado que o tempo de implementação desta medida é praticamente imediato. Quanto às outras medidas apresentadas (1ª e 3ª medida) é possível observar os seus impactes gradualmente, uma vez que deverão ser respeitadas as datas de término dos contratos de aluguer, sendo por isso a substituição de veículos e subsequentemente o tempo de implementação graduais.

A Figura 21 representa assim os valores totais do consumo de energia da frota automóvel para cada ano considerado.

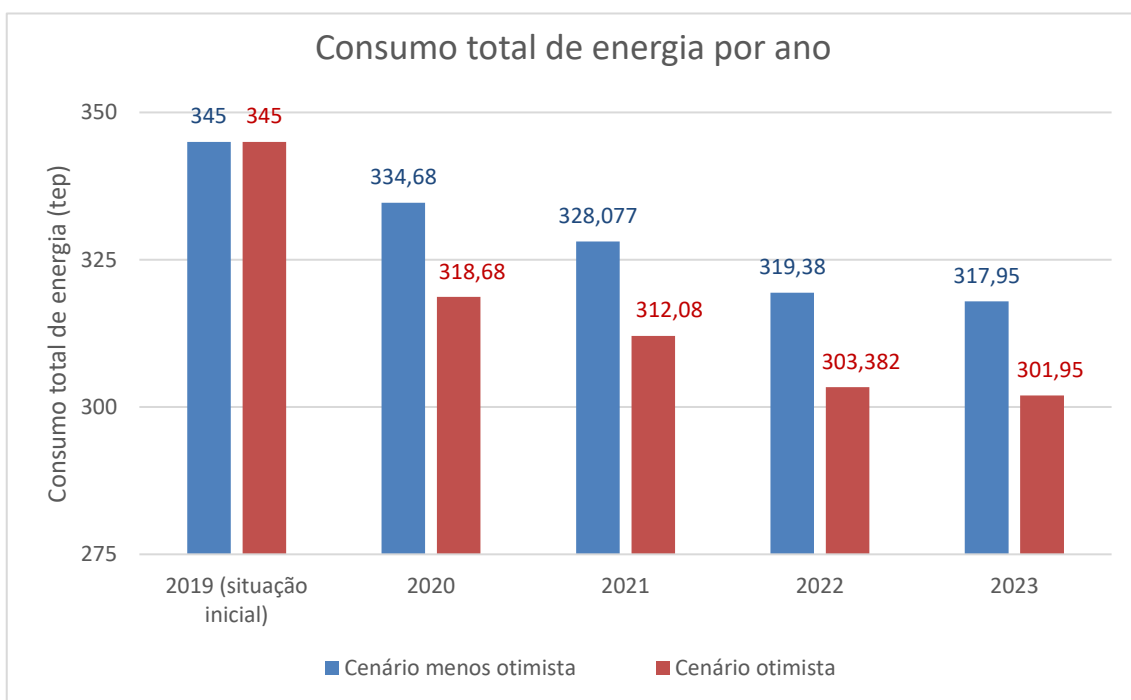


Figura 21- Redução do consumo total de energia da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas.

A Figura 22 apresenta os valores totais do consumo de energia da frota automóvel para cada ano considerado.

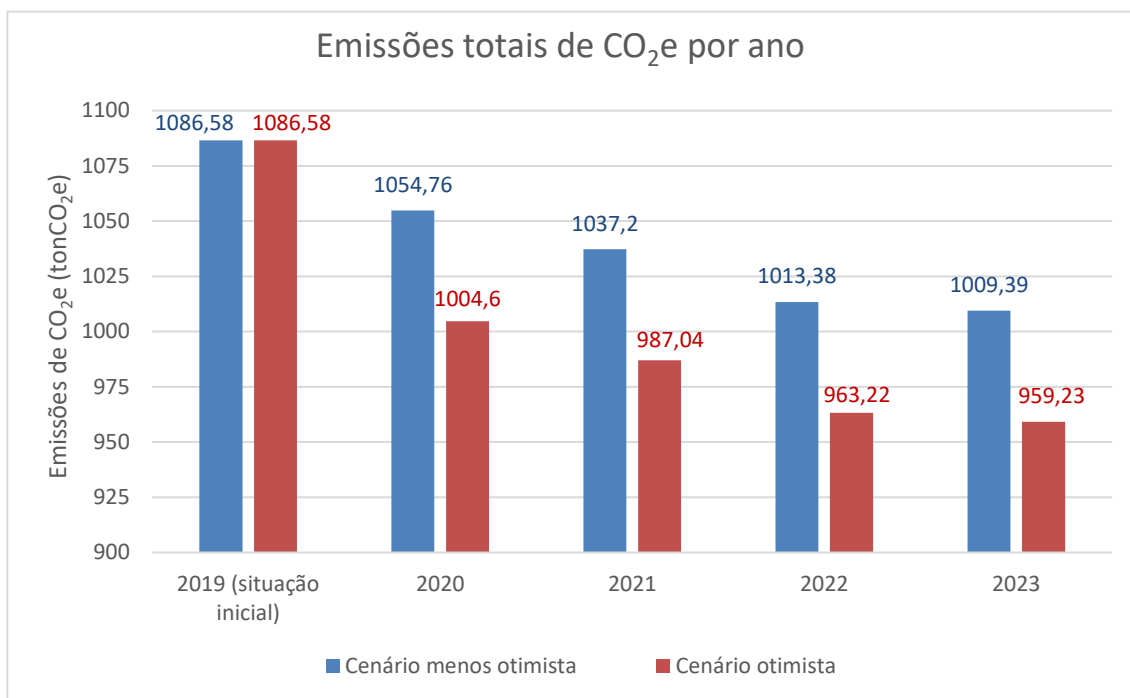


Figura 22- Redução das emissões de CO₂ da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas.

Na Figura 23 são apresentados os valores para os custos totais associados ao consumo de energia da frota automóvel para cada ano considerado.

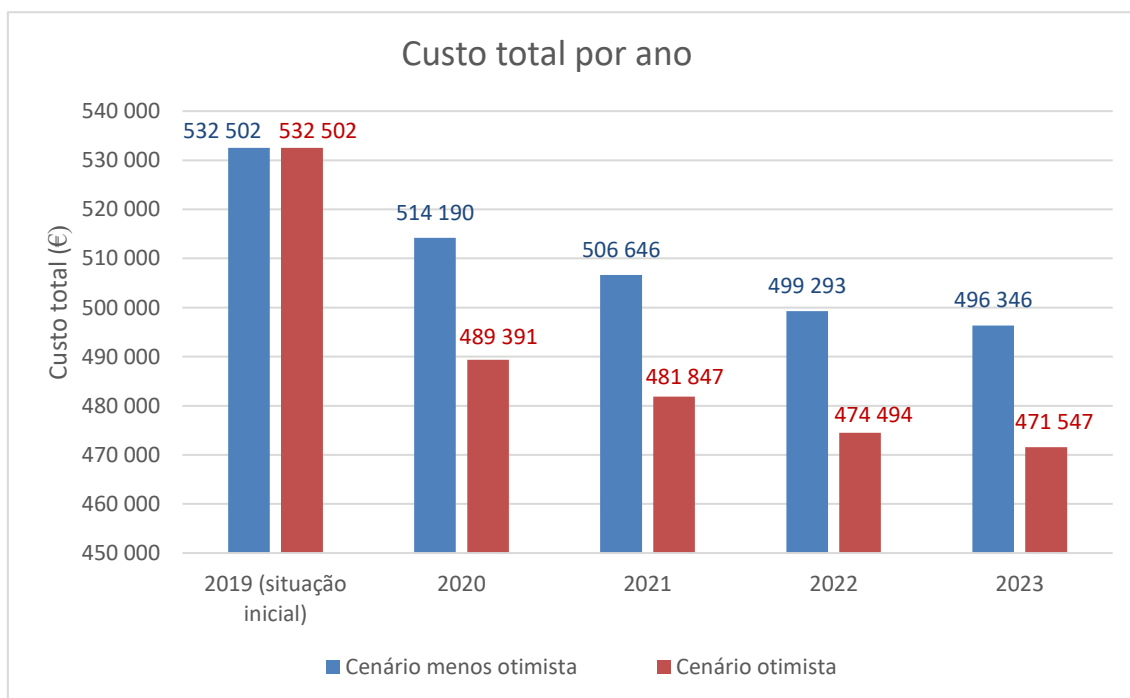


Figura 23- Redução dos custos associados à utilização dos veículos da frota em função dos anos de substituição dos veículos para as 3 medidas apresentadas

Como é possível observar nas figuras acima apresentadas, considerando que a implementação das medidas se inicia no princípio do ano de 2019, passados três anos, ou seja, para o início do ano de 2022, o valor do consumo total de energia da frota da empresa consiste em 319,38 tep (Figura 21), correspondendo à emissão de 1013,38 tonCO₂e (Figura 22) e a um custo anual associado de 499 293€ (Figura 23) (para o cenário pessimista). Os valores apresentados correspondem assim a uma redução de 7,3% sobre o consumo de energia, uma redução de 6,7% das emissões de CO₂ e a uma redução de custos de 6,2% para o período considerado. Pelo que o objetivo definido pelo RGCE é cumprido (redução de 5% do consumo de energia, das emissões de CO₂ e dos custos, para um período de 3 anos), mesmo que seja considerado o cenário pessimista.

Apresenta-se de seguida, o impacte financeiro e ambiental para as medidas propostas (Tabela 28), aquando da substituição de todos os veículos analisados, bem como o investimento e o tempo de retorno (*Pay Back Period*, PBP) resultantes da correção efetuada (Tabela 29).

Tabela 28- Impacte financeiro e ambiental para as medidas propostas (implementação das 3 medidas)

Medidas	Poupança energética (Tep)	%	Economia das medidas (€)	%	Redução de emissões (TonCO ₂ e)	%
1ª medida	6,50	-	17 420	-	20,13	-
2ª medida	25,76 a 9,57	-	39 822 a 15 023	-	79,81 a 29,65	-
3ª medida	9,85	-	4 006	-	34,98	-
Total	42,11 a 25,92	12,2 a 7,5	61 248 a 36 449	11,5 a 7,2	134,92 a 84,76	12,6 a 7,9

Tabela 29- Investimento e PBP para as medidas propostas (implementação das 3 medidas)

Medidas	Investimento (€)	Economia anual das medidas (€)	PBP (meses)
1ª medida	0	17 420	0
2ª medida	15 240	39 822 a 15 023	5 a 12
3ª medida	5 018	4 006	15
Total	20 258	61 248 a 36 449	4 a 7

4 Conclusões e trabalho futuro

Os objetivos principais deste trabalho consistiam na caracterização energética da frota automóvel de uma empresa multinacional de serviços multi-técnicos, na introdução e desenvolvimento de medidas para a redução do consumo de energia e na quantificação do impacte energético, financeiro e ambiental resultante da implementação das mesmas.

Através da realização deste trabalho conclui-se que pela caracterização energética da frota é possível identificar as classes críticas que contribuem de forma mais significativa para o consumo energético das diferentes BU estudadas. Estas classes correspondem aos veículos LP e LM que representam 88,3% da despesa total em combustíveis. É também possível identificar as BU com um consumo de energia mais significativo.

Através da definição dos veículos da frota com menor consumo de combustível, e respetiva substituição dos 43 veículos ligeiros com um consumo de combustível superior aos definidos, é possível atingir uma redução do consumo energético e das emissões de poluentes em cerca de 2,3% e uma redução de custos total em cerca de 3,5% (1ª medida). Esta medida constitui uma excelente opção, dado que apresenta um retorno imediato (investimento nulo), embora seja de implementação gradual.

A introdução de uma 2ª medida (prática de medidas de condução eficiente) permite reduções de 7,5% a 2,8% (cenário otimista ou pessimista) do consumo energético, das emissões de CO_2 e dos custos totais, sem necessidade de substituição de veículos da frota. A metodologia utilizada permite a definição de perfis de condução eficiente bastante realistas, dada a semelhança entre os valores de redução de combustível obtidos pela aplicação da mesma e os apresentados na literatura [24] [25]. Considerou-se um condutor por veículo, com um custo de 120 € por condutor e 1440 € por cada turma de 12 formandos. É de implementação quase imediata, para um período de retorno entre 5 a 12 meses, porém, apresenta um investimento necessário à sua implementação de 15 240 €.

Conclui-se também que o VE constitui a melhor opção em termos de impacte energético e ambiental. Porém, a substituição de veículos convencionais (ICE) por VE (3ª medida) consiste ainda numa alternativa algo limitada, nomeadamente pela autonomia limitada e com os elevados preços dos contratos de aluguer do VE em comparação com os veículos convencionais. No entanto, a sua implementação para os casos em que se revele favorável, não deve ser ignorada. Embora a introdução desta medida resulte num valor de redução de custos de apenas 1,2% (sendo por isso menos significativa que as outras medidas apresentadas), permite uma elevada redução do consumo de energia (5,2%) e das emissões de poluentes (4,7%). Destaca-se que, através da substituição de apenas 15 veículos ligeiros, seria possível garantir o objetivo de redução em 5% do consumo energético anual. O investimento necessário à implementação dos

carregadores para VE consiste em 9 409 €, sendo que o tempo de retorno desta medida consiste em 18 meses.

Por fim, a ferramenta numérica desenvolvida permite em função do valor mensal das rendas, dos consumos dos veículos comparados e dos preços dos combustíveis definir os quilómetros a partir dos quais a substituição do veículo analisado por um VE seria vantajosa. Esta ferramenta revela-se extremamente útil para o gestor de frota, e de fácil utilização. Sendo também bastante versátil, pois poderá ser rapidamente adaptada para a comparação entre veículos tradicionais (Ex: gasóleo/gasolina vs. gasóleo/gasolina, gasóleo vs. gasolina, gasolina/gasóleo/híbrido/PHEV vs. elétrico).

Considerando todas as medidas estudadas, o plano de intervenção final que engloba todas as medidas para o cumprimento dos 5% de redução do consumo energético, possui as seguintes características:

- Investimento total de 20 258 €, com um tempo de retorno global entre 4 a 7 meses;
- Substituição de 46 veículos ligeiros (38 para a 1ª medida e 8 para a 3ª medida) e a formação de 127 condutores;
- Redução no consumo energético de 12,2 a 7,5% e redução de 12,6 a 7,9% nas emissões de CO₂;
- Poupança anual entre 61 248 a 36 449 €/ano, correspondendo a uma redução de 11,5% a 7,2% dos custos totais associados à utilização da frota automóvel.

A implementação das medidas permite assim, não só cumprir, mas ultrapassar o objetivo interno da empresa relativamente à redução do consumo energético anual, contribuindo para um crescimento sustentável da frota automóvel da mesma.

Tendo em consideração a equação (Eq. 38) desenvolvida para a representação dos custos fixos anuais associados à utilização da frota automóvel, é possível identificar alguns pontos de trabalho futuro que melhorem os resultados obtidos.

As duas primeiras medidas foram desenvolvidas com o objetivo da redução do consumo de combustível dos veículos analisados e a 3ª medida desenvolvida permite não só a redução do consumo de energia do veículo, mas também do preço do combustível utilizado. Ficaram assim de fora medidas que permitam a redução do parâmetro km_i (distância anual percorrida por cada veículo) e de N (número total de veículos) possibilitando desta forma uma redução dos custos anuais fixos associados à frota automóvel da empresa.

Destacam assim as seguintes medidas, como trabalho futuro, que permitem a redução:

- Do número total de veículos, N , da frota através da criação de um sistema de partilha de viaturas entre colaboradores, tanto para utilização partilhada durante o horário laboral

(*carsharing*), como para a organização da partilha de veículos nas deslocações fixas casa-trabalho, no caso dos colaboradores que vivem na mesma região (*carpolling*).

- Da distância percorrida por veículo, km_i , através do desenvolvimento de uma ferramenta numérica para a otimização de rotas fixas, que permita a definição dos trajetos com o menor consumo de energia.

A redução do número de quilómetros percorridos para rotas fixas poderia ser obtida através da aplicação de algoritmos de VRP (*Vehicle Routing Problems*). Esta medida revela-se mais desafiante, contudo a redução do número de quilómetros percorridos poderá não estar diretamente relacionada com a redução do consumo de combustível médio desse trajeto, podendo por isso não ser considerado o trajeto como menor consumo de combustível. Surge assim a necessidade da utilização de metodologias que considerem fatores como o declive da estrada, a velocidade, aceleração, coeficientes de atrito dinâmico e de rolamento do veículo em questão para a definição do trajeto com menor consumo de combustível médio [38].

Referências

- [1] - Eurostat, Energy transport and environment indicators, 2015.
- [2] - I. E. Agency, “World Energy Outlook”, 2006.
- [3] - BP, BP Statistical Review of World Energy, 2016.
- [4] - E. European Commission, “Reducing emissions from transport/ Transport.” [Online]. Disponível em: <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/>.
- [5] - M. Kanellakis, G. Martinopoulos, and T. Zachariadis, “European energy policy-A review,” Energy Policy, vol. 62, pp. 1020–1030, 2013.
- [6] - E. European Commission, “Reducing CO₂ emissions from passenger cars.” [Online]. Disponível em: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm.
- [7] - European Environment Agency, “Eurostat - Greenhouse gas emissions from transport” [Online]. Disponível em: http://www.eea.europa.eu/data?and?maps/daviz/transport?emissions?of?ghgs?2#tab?chart_1.
- [8] - IEA, “IEA - Transports,” 2016. [Online]. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/transport/>.
- [9] - Comissão Europeia, 2012, REGULAMENTO (EU) N° 459/2012 da Comissão de 29 de Maio de 2012 que altera o regulamento (CE) n° 692/2008 da Comissão no que respeita às emissões dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais (EURO 6).
- [10] - D. d. República, “Regulamento da gestão do consumo de energia para o setor dos transportes,” 1990.
- [11] - Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., e Dilara, P., 2013, «Road vehicle emission factors development: A review», Atmospheric Environment, 70, pp. 84–97. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.01.006
- [12] - Silva, C. M., Farias, T. L., e Mendes-Lopes, J. M. C., 2002, «EcoGest - Numerical Modelling Of The Dynamic, Fuel Consumption And Tailpipe Emissions Of Vehicles Equipped With Spark Ignition Engines», Urban Transport VIII, 60.
- [13] - Lorf, C., Martinez-Botas, R. F., Howey, D. A., Lytton, L., e Cussons, B., 2013, «Comparative analysis of the energy consumption and CO₂ emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric, hybrid electric and internal combustion engine vehicles», Transportation Research Part D: Transport and Environment, 23, pp. 12–19. doi:10.1016/j.trd.2013.03.004

- [14] - Lorf, C., Martinez-Botas, R. F., Howey, D. A., Lytton, L., e Cussons, B., 2013, «Comparative analysis of the energy consumption and CO2 emissions of 40 electric, plug-in hybrid electric, hybrid electric and internal combustion engine vehicles», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, pp. 12–19. doi:10.1016/j.trd.2013.03.004
- [15] - Vlieger, I. De, Keukeleere, D. De, e Kretschmar, J. G., 2000, «Environmental Effects of Driving Behavior and Congestion Related to Passenger Cars», *Atmospheric Environment*, 34, pp. 4649–4655. doi:10.1016/s1352-2310(00)00217-x
- [16] - Barth, M., e Boriboonsomsin, K., 2009, «Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(6), pp. 400–410. doi:10.1016/j.trd.2009.01.004
- [17] - Ahn, K., e Rakha, H., 2007, «Field evaluation of energy and environmental impacts of driver route choice decisions», 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Vols 1 and 2, 24061, pp. 216–221.
- [18] - Frey, H. C., Zhang, K., e Roupail, N. M., 2008, «Fuel use and emissions comparisons for alternative routes, time of day, road grade, and vehicles based on in-use measurements», *Environmental Science and Technology*, 42, pp. 2483–2489. doi: 10.1021/es702493v
- [19] - Vlieger, I. De, Keukeleere, D. De, e Kretschmar, J. G., 2000, «Environmental Effects of Driving Behavior and Congestion Related to Passenger Cars», *Atmospheric Environment*, 34, pp. 4649–4655. doi:10.1016/s1352-2310(00)00217-x
- [20] - Choudhary, A., e Gokhale, S., 2016, «Urban real-world driving traffic emissions during 80 interruption and congestion», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43, pp. 59–70. doi:10.1016/j.trd.2015.12.006
- [21] - Sentoff, K. M., Aultman-Hall, L., e Holmén, B. A., 2015, «Implications of driving style and road grade for accurate vehicle activity data and emissions estimates», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 35, pp. 175–188. doi:10.1016/j.trd.2014.11.021
- [22] - Despacho de lei n.º 17313/2008. Tabela 1-Poderes Caloríficos Inferiores e Factores de Emissão para Combustíveis [Online].
Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf2sdip/2008/06/122000000/2791227913.pdf>
- [23] - C.Europeia. [Online]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/content/fuel-savings-calculator>].
- [24] - Yang Wang and Alessandra Boggio-Marzet, “Evaluation of Eco-Driving Training for Fuel Efficiency and Emissions Reduction According to Road Type”, 2018, Transport Research Centre, TRANSyT, Universidad Politécnica de Madrid, Spain;

[25]- N. G. Zacharof and G. Fontaras, “Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars” 2016, Joint Research Centre (JRC), the European Commission’s science and knowledge service.

[26] - Fiat, “Ecodriving uncovered-The benefits and challenges of eco-driving, based on the first study using real journey data”.

[27] - Ecomobile, “Eco-Driving Training pilot project for light vehicles”.

[28] - Despacho n.º 2628/2019. Transição NEDC para WLTP. [Online] Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/120999187>.

[29] - Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., e Steininger, N., 2013, A complementary emissions test for light-duty vehicles: Assessing the technical feasibility of candidate procedures, JRC Scientific and Policy Reports, Report nº 25572 EN.

[30] - Duarte, G. O., Gonçalves, G. A., Baptista, P. C., e Farias, T. L., 2015, «Establishing bonds between vehicle certification data and real-world vehicle fuel consumption - A Vehicle Specific Power approach», Energy Conversion and Management, 92, pp. 251–265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.042>

[31] - Mellios, G., Hausberger, S., Keller, M., Samaras, C., Ntziachristos, L., Dilara, P., e Fontaras, G., 2011, Parameterisation of fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes, JRC Scientific and Policy Reports, Report nº 24927 EN.

[32] - G.O. Duarte, G.A. Gonçalves, T.L. Farias, 2016, Analysis of fuel consumption and pollutant emissions of regulated and alternative driving cycles based on real-world measurements, Transportation Research Part D, 44, pp.43-54.

[33] - European Environment Agency, CO2 emission intensity for Portugal, 2016. [Online] Disponível em: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5#tab-googlechartid_chart_11_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22Portugal%22%5D%7D%7D.

[34] - Autonomia e tempos de carregamento para Renault Kangoo Z.E 33. [Online] Disponível em: <https://www.renault.pt/veiculos-eletricos/kangoo-ze/autonomia-carregamento.html>.

[35] - Autonomia e tempos de carregamento para Renault ZOE Z.E 40. [Online] Disponível em: <https://www.renault.pt/veiculos-eletricos/novo-zoe/autonomia-carregamento.html>.

[36] - Patrícia Baptista, Energia nos transportes e mobilidade sustentável, “Modelação de consumos energéticos e de emissões”, 2019, pp 46, IN+ Center for Innovation, Technology and Policy Research of Instituto Superior Técnico.

[37] - Tarifas de eletricidade para diferentes períodos horários. [Online] Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CiclodiariorfornecBT EBTNpt.aspx>.

[38] - J. Alves, P.C. Baptista, G.A. Gonçalves, G.O. Duarte, Energy Conversion and Management 124 (2016) pp. 116–129, “Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles”.

[39] - European Environment Agency, Average carbon dioxide emissions from new passenger cars, 2019 [online]. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/average-emissions-for-new-cars-6#tab-chart_1

[40] - D.A. Howey, R.M. Martinez-Botas, B. Cussons, L. Lytton, “Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles”, Transportation Research D (2011), DOI 10.1016/j.trd.2011.04.001

[41] - J. Van Mierlo, L. Vereecken, G. Maggetto¹, V. Favrel, S. Meyer and W. Hecq, “Comparison of the environmental damage caused by vehicles with different alternative fuels and drivetrains in a Brussels context”, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium.

[42] - Mitch Olszewsk, “Evaluation of the 2010 Toyota Prius ybrid Synergy Drive System”, U.S. Department of Energy.

[43] - Gao Z. et al., Evaluation of electric vehicle component performance over eco-driving cycles, Energy, 172(2019), 823-839. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.017>

[44] - Van der Voort et al., Reducing Fuel Consumption by Using a New Fuel-Efficiency Support Tool, Sep.-Oct. 1999, IEEE AFRICON, vol.1, pp. 27-32.

[45] - J. Van Mierlo¹, G. Maggetto, E van de Burgwal and R. Gense, “Driving style and traffic measures influence on vehicle emissions and fuel consumption”, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering Department of Electrotechnical Engineering and Energy Technology, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium TNO-Automotive, Delft, The Netherlands.

[46] - Symmons, Mark A and Rose, Geoff. Ecodrive Training Delivers Substantial Fuel Savings for Heavy Vehicle Drivers. In: Proceedings of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, June 22-25, 2009, Big Sky, Montana. Iowa City, IA: Public Policy Center, University of Iowa, 2009: 46-53. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1301>

Anexos

Anexo 1 – Retirado do documento em referência [33].

2 | - 46655,9210 | 35237,5556 para obter este resultado os fatores de conversão apresentados na Tabela 1.

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

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Antracite	26,7	0,638	98,2	4111,4
Betume / Alcatrão	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogásolina e Biodiesel	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina)	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão	28,2	0,674	94,5	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coqueria e de fábricas de Gás	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de acaeria a oxigénio	7,1	0,170	171,8	7192,9
Gás de petróleo liquefeito	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93 % de metano)	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (l)	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de aterro/ lamas de depuração e outros biogases	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulha	17,2 — 30,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra	10,0 — 21	0,220 — 0,503	101,1	4232,9

Anexo 2- Retirado do documento em referência [25].



Poço-ao-Depósito

Poço-ao-Depósito - fase de produção do combustível/fonte energética.

WTT Gasolina

Standard steps	Actual steps	Energy expended MJ/MJ _{gasoline}	GHG emissions g CO ₂ eq/MJ _{gasoline}			
			Total	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O
Production & conditioning at source	Crude oil production	0.07	4.6	3.94	0.66	0.00
Transformation at source	NA					
Transportation to market	Crude oil transport	0.01	1.0	0.95	0.00	0.00
Transformation near market	Crude refining, marginal gasoline	0.08	7.0	7.01	0.00	0.00
Conditioning & distribution	Distribution	0.01	0.6	0.61	0.01	0.01
	Dispensing at retail site	0.01	0.6	0.53	0.03	0.00
Total WTT		0.18	13.8			

WTT Gasóleo

Standard steps	Actual steps	Energy expended MJ/MJ _{diesel}	GHG emissions g CO ₂ eq/MJ _{diesel}			
			Total	as CO ₂	as CH ₄	as N ₂ O
Production & conditioning at source	Crude oil production	0.07	4.7	4.00	0.67	0.00
Transformation at source	NA					
Transportation to market	Crude oil transport	0.01	1.0	0.97	0.00	0.00
Transformation near market	Crude refining, marginal diesel	0.10	8.6	8.60	0.00	0.00
Conditioning & distribution	Distribution	0.01	0.6	0.58	0.02	0.01
	Dispensing at retail site	0.01	0.5	0.48	0.03	0.00
Total WTT		0.20	15.4			

Anexo 3- Ferramenta numérica para análise da viabilidade de substituição de veículos por VE.

12	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	MARCA	MODELO (REFERÊNCIA)	CONSUMO (KWH/100KM)	PREÇO DO COMBUSTIVEL/ ELETRICIDADE (EUROS/KWH)	VALOR RENDA (EUROS/MÉS) Nota: 100 000 km, 48 meses	NOTA: Para que a comparação entre os valores de renda seja representativa, os valores introduzidos deverão ser referentes à mesma base de contrato (km,duração). Aqui foram utilizados os dados disponibilizados			
1	RENAULT	ZOE life, bateria Z.E. 40, motor Q90	15,83	0,10275 €	416,90 €	NOTA: AUTONOMIA MÁXIMA DE 259KM (90KM/H)			
3	MARCA	MODELO	CONSUMO (L/100KM)	PREÇO DO COMBUSTIVEL/ ELETRICIDADE (EUROS/L)	VALOR RENDA (EUROS/MÉS)	KM/ANO ACIMA DO QUAL COMPENSA SUBSTITUIÇÃO POR MODELO ELÉTRICO	KM/ANO PERCORRIDOS	REDUÇÃO DE CUSTOS ANUAL	
4	RENAULT	CLIO IV 1.5Dci Zen 90Cv	4,96	1,343 €	316,15 €	24013	30000	301,42 €	Nota: Renda para 120 000 km, 48 meses
5	PEGEOUT	208 Active 1.6BlueHDI 75Cv 5P	5,55	1,343 €	258,79 €	32560	20000	- 731,90 €	Nota: Renda para 100 000 km, 60 meses
6	PEGEOUT	108Style 1.0VTi 68cv 5P	7,26	1,509 €	226,02 €	24554	15000	- 891,24 €	Nota: Renda para 75 000 km, 60 meses
7	CITROEN	C3 1.6BlueHDI Seduction	5,73	1,343 €	323,92 €	18367	30000	706,69 €	Nota: Renda para 120 000 km, 48 meses
13	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	MARCA	MODELO (REFERÊNCIA)	CONSUMO (KWH/KM)	PREÇO DO COMBUSTIVEL/ ELETRICIDADE (EUROS/KWH)	VALOR RENDA (EUROS/MÉS) Nota: 120 000 km, 60 meses	NOTA: Para que a comparação entre os valores de renda seja representativa, os valores introduzidos deverão ser referentes à mesma base de contrato (km,duração). Aqui foram utilizados os dados disponibilizados			
14	RENAULT	Kangoo ZE Maxi 5Lug Electrica	19,84	0,10275 €	403,97 €	NOTA: AUTONOMIA MÁXIMA DE 179KM (90KM/H)			
15	MARCA	MODELO	CONSUMO (L/100KM)	PREÇO DO COMBUSTIVEL/ ELETRICIDADE (EUROS/L)	VALOR RENDA (EUROS/MÉS)	KM/ANO ACIMA DO QUAL COMPENSA SUBSTITUIÇÃO POR MODELO ELÉTRICO	KM/ANO PERCORRIDOS	REDUÇÃO DE CUSTOS ANUAL	
16	CITROEN	Berlingo Van Blue1.6Hdi L1 Club 3Lug 100Cv	6,21	1,343 €	258,56	27691	40000	775,67 €	Nota: Renda para 160 000 km, 48 meses
17	CITROEN	BERLINGO VAN 1.6HDI L1 Club 3L 75CV	6,77	1,343 €	263,16	23973	40000	1 129,67 €	Nota: Renda para 160 000 km, 48 meses
18	CITROEN	NEMO 1.3HDI 75CV	6,27	1,343 €	230,82	32563	30000	- 163,55 €	Nota: Renda para 120 000 km, 48 meses
19	PEGEOUT	Partner L1 Premium 1.6 BlueHDI 100CV	6,55	1,343 €	241,83	28791	40000	757,49 €	Nota: Renda para 160 000 km, 48 meses

Anexo 4- Veículos abrangidos pela 2ª medida (organização por BU e por casos mais críticos)

Area	MARCA	MODELO	MATRICULA	DATA	CILIND	CO2 (g/Km)	COMB.	TIPO	consumo energético_2018 (litros)	km's percorridos	consumo médio anual (l/100km)	custo monetário associado	ECO DRIVING (savings) best case	ECO DRIVING (savings) médias	redução de 6,3% ECO DRIVING (valor adicional para veículos sem referência)
AAF (HD)	RENAULT	MEGANE BREAK DYNAMIQUE	97-JR-76	15/09/2010	1461	115	Diesel	passageiros	1961,22	23495	6,65	2 644,10 l	393,20 l	206,06 l	0,00 l
AAL (HD)	RENAULT	CLIO IV 1.5Dci Zen 90Cv	52-TP-59	28/09/2017	1461	82	Diesel	passageiros	1426,68	29000	4,92	1 915,97 l	163,97 l	67,98 l	0,00 l
DO (HD)	MITSUBISHI	OUTLANDER PHEV	31-TR-26	17/10/2017	1998	42	Hibrido Plug In Gasolina	passageiros	1286,81	24708	5,21	1 992,12 l	0,00 l	0,00 l	125,50 l
AAL(HD)	VOLKSWAGEN	POLO VAN 1.4Tdi	11-FN-36	04/04/2008	1422	119	Diesel	passageiros	853,96	16116	5,30	1 131,69 l	0,00 l	0,00 l	71,30 l
4 VEÍCULOS												TOTAL	557,17 l	274,04 l	196,80 l
VFP	PEUGEOT	Partner L1 Premium 1.6 BlueHDI 100CV	57-TU-31	16/11/2017	1560	112	Diesel	mercadorias	3671,03	50513	7,27	4 861,15 l	1 272,39 l	480,00 l	0,00 l
VFP	CITROEN	BERLINGO VAN 1.6HDI	90-IC-21	28/08/2009	1560	153	Diesel	mercadorias	1852,71	23993	7,72	2 473,31 l	712,50 l	350,70 l	0,00 l

Anexo 5- Proposta comercial para carregadores elétricos 7,4kW (230VC; 32A) considerada.

Responder Responder a Todos Reencaminhar



SACRAMENTO Jose

MACHADO Helder; INACIO Bruno; MARGARIDO Catia

14/11/2019

FW: Custo de implementação carregador 7,4 kW

Respondeu a esta mensagem a 15/11/2019 16:03.

Os preços para um carregador de 32 A:

1 tomada: 510,00 + IVA

2 tomadas: 890,00 + IVA

Com os melhores cumprimentos,

José Sacramento
Business Unit Manager



Cegelec Instalações e Sistemas de Automação, Lda.
Estrada Nacional 115, Km 78,67
2664-502 São Julião do Tojal
T. (+351)21 845 40 10 - F. (+351)21 845 40 29
Mobile (+351) 96 7061 512
Alvará 40990 - PUB
jose.sacramento@actemium.pt - www.actemium.pt