



Estudo energético e ambiental de cenários de renovação da frota da Maiambiente EM

MARIA MADALENA LIMA CEPA

novembro de 2018

Estudo energético e ambiental de cenários de
renovação da frota da Maiambiente EM

Maria Madalena Lima Cepa

Dissertação submetida para a obtenção do grau de
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

novembro de 2018

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Maria Madalena Lima Cepa, N° 1150331, 1150331@isep.ipp.pt

Empresa: Maiambiente, EM



Orientação Científica: Florinda Figueiredo Martins, ffm@isep.ipp.pt

Orientação da Empresa: Eduardo Machado e Carlos Mendes

Mestrado em Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica

Agradecimentos

Os meus agradecimentos à Maiambiente EM e a todos os seus responsáveis operacionais pelo acolhimento e acompanhamento na concretização deste trabalho, principalmente ao Sr. Eduardo Machado e ao Eng.º Carlos Mendes por aceitarem este desafio e disponibilizarem todos os elementos necessários para a sua realização.

Também um agradecimento muito especial à Eng.ª Florinda Martins pela orientação, disponibilidade e análise crítica, o seu apoio foi fundamental.

Para finalizar, como não podia deixar de ser, agradeço à minha família e namorado por acreditarem em mim e me apoiarem incondicionalmente.

Um muito obrigado a todos.

Resumo

O transporte é uma atividade com impactos ambientais negativos, contribuindo de forma significativa para a emissão de gases com efeito de estufa. Para além disso a poluição atmosférica e a depleção de recursos são também problemas importantes associados a esta atividade e que cada vez mais são considerados de forma a torná-la mais sustentável. Este trabalho teve como objetivo o estudo energético, técnico e ambiental de cenários de renovação da frota da Maiaambiente EM, em particular destinada ao transporte dos resíduos urbanos no município da Maia. As tecnologias propostas para substituição da frota foram viaturas a gasóleo Euro 6, viaturas a gás natural comprimido (GNC) e viaturas elétricas.

A primeira etapa do estudo consistiu na recolha de dados, levantamento da situação atual, definição de cenários possíveis e definição de critérios e metodologias para avaliar a situação corrente da empresa e os diferentes cenários elaborados neste estudo.

Na segunda etapa realizou-se uma análise técnica, energética, económica e ambiental dos cenários sugeridos com base nos critérios definidos que incluem a autonomia das viaturas, a sua fiabilidade para os serviços da empresa, o consumo e custos dos combustíveis, o investimento na renovação da frota e respetivo *payback time* e a determinação dos impactes ambientais (avaliação de ciclo de vida), entre outros. Numa terceira etapa procedeu-se à comparação dos vários cenários verificando quais eram mais vantajosos do ponto de vista económico e ambiental, e portanto, mais sustentáveis para a empresa no futuro.

Foi possível concluir que viaturas a GNC e a eletricidade apresentam melhores resultados do ponto de vista da avaliação de ciclo de vida, considerando a produção e consumo de combustível e a produção de eletricidade e as emissões associadas ao uso das viaturas. Considerando a análise económica na fase de uso dos combustíveis verifica-se que constituem também uma melhor alternativa. No entanto, o investimento inicial necessário para a aquisição de viaturas com estas tecnologias revelou ser um investimento inviável. Contudo se for necessário substituir viaturas existentes por novas, estas tecnologias devem ser consideradas prioritárias, uma vez que apresentam mais vantagens e a barreira do investimento inicial será atenuada.

Palavras-Chave

Transporte, resíduos sólidos, impactos ambientais, energia, sustentabilidade

Abstract

Transportation is an activity with negative environmental impacts, contributing significantly to the emission of greenhouse gases. In addition, air pollution and depletion of resources are also major problems associated with this activity and are increasingly being considered in order to make it more sustainable. The objective of this work was the energetic, technical and environmental study of the renewal scenarios of the Maiambiente EM fleet, in particular the vehicles used to the transportation of urban waste in the municipality of Maia. The proposed technologies for fleet replacement were Euro 6 diesel vehicles, compressed natural gas vehicles and electric vehicles.

The first stage of the study consisted of data collection, survey of the current situation, definition of possible scenarios and definition of criteria and methodologies to evaluate the current situation of the company and the different scenarios elaborated in this study.

In the second stage a technical, energy, economic and environmental analysis of the suggested scenarios was carried out based on the defined criteria that include the autonomy of the vehicles, their reliability for the services of the company, the consumption and costs of the fuels, the investment in the renovation of the fleet and its payback time, and the determination of environmental impacts (life cycle assessment), among others. In a third step, the various scenarios were compared to see which ones were more economically and environmentally advantageous and therefore more sustainable for the company in the future.

It was possible to conclude that been CNG vehicles and electricity present better results from the point of view of the life cycle assessment, considering the fuel consumption and the electricity production and the emissions associated with the use of the vehicles. Considering the economic analysis in the use phase of the fuels, they are also a better alternative. However, the initial investment required for the acquisition of vehicles with these technologies proved to be an unfeasible investment. However, if it is necessary to replace existing vehicles with new ones, these technologies should be considered as a priority, since they have more advantages and the initial investment barrier will be reduced.

Keywords

Transportation, urban waste, environmental impacts, energy, sustainability

Declaração

Maria Madalena Lima Cepa declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

5 de novembro de 2018

Assinatura

Índice

AGRADECIMENTOS	V
ABSTRACT	IX
DECLARAÇÃO	XI
ÍNDICE	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
NOMENCLATURA	XIX
1. INTRODUÇÃO	0
1.1. ENQUADRAMENTO	0
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. TRANSPORTES E SUSTENTABILIDADE.....	4
2.1. SUSTENTABILIDADE, ENERGIA E TRANSPORTES.....	4
2.2. COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E TRANSPORTES	6
2.3. IMPACTOS AMBIENTAIS DO SECTOR DOS TRANSPORTES.....	9
2.4. ESTRATÉGIAS ATUAIS E FUTURAS PARA ESTE SECTOR	11
2.5. ALTERNATIVAS AOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	13
2.6. TRANSPORTE DE RU	16
3. CRITÉRIOS E METODOLOGIAS.....	18
4. CENÁRIO DE REFERÊNCIA E ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS	22
4.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA	22
4.2. FROTA AUTOMÓVEL – CENÁRIO DE REFERÊNCIA	25
4.3. ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS.....	27
4.3.1. Viaturas Pesadas	27
4.3.2. Viaturas Mistas.....	28
4.3.3. Viaturas Ligeiras de Passageiros	30
5. AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÓMICA, ENERGÉTICA E AMBIENTAL	32
5.1. AVALIAÇÃO TÉCNICA	32
5.1.1. Regularidade e tipo de manutenção.....	32
5.1.2. Carga Acrescentada	35
5.1.3. Autonomia.....	36
5.1.4. Fiabilidade para o serviço.....	38
5.1.5. Infraestruturas existentes	39

5.2.	AVALIAÇÃO ENERGÉTICA	40
5.2.1.	Consumo de combustível	40
5.2.2.	Segurança no abastecimento	43
5.3.	AVALIAÇÃO ECONÓMICA	46
5.3.1.	Investimento inicial	46
5.3.2.	Custos associados ao consumo de combustível	49
5.3.3.	<i>Payback time</i>	51
5.3.4.	Variação dos preços dos combustíveis.....	54
5.4.	AVALIAÇÃO AMBIENTAL SEGUNDO A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	55
5.4.1.	Depleção de Recursos.....	56
5.4.2.	Determinação dos Impactes Ambientais (ACV).....	60
5.5.	QUADRO – RESUMO	63
6.	CONCLUSÕES.....	64
	BIBLIOGRAFIA	68

Índice de Figuras

Figura 1 - Relação entre o aumento da população mundial (milhões) e o consumo final de energia mundial (tep) entre 1971 e 2015.....	5
Figura 2- Consumo final de petróleo em tep por setor entre 1971 e 2015. *Inclui consumos residenciais, dos serviços públicos e comerciais, da agricultura e floresta e pescas.	7
Figura 3- Emissões de GEE em Portugal no ano de 2015 por setor.	8
Figura 4 - Variação da temperatura da superfície terrestre em graus Celsius entre 1880 e 2016 ...	10
Figura 5 - Variação da temperatura da superfície terrestre em Fahrenheit entre 1916 e 2016.	11
Figura 6 - Critérios de avaliação dos cenários propostos.....	21
Figura 7- Quantidade de RU recolhidos entre 2014 e 2016.....	23
Figura 8 - Quantidade de resíduos recolhidos por tipologia entre 2014 e 2016.....	24
Figura 9 - Cenários de substituição de viaturas a gasóleo do CRef por viaturas a gasóleo com tecnologia Euro VI.....	27
Figura 10 - Cenários de substituição de viaturas pesadas a gasóleo do CRef por viaturas a GNC..	28
Figura 11 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas Euro 6 a gasóleo.....	29
Figura 12 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas a GNC...	29
Figura 13 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas elétricas..	29
Figura 14 - Cenário de substituição das viaturas ligeiras de passageiros do CRef por viaturas elétricas	30
Figura 15 - Consumo de gasóleo e GNC anual em viaturas pesadas	41
Figura 16- Consumo de gasóleo e GNC anual em viaturas mistas	42
Figura 17- Consumo de gasóleo e eletricidade anual em viaturas mistas	43
Figura 18 - Investimento inicial para substituição de viaturas pesadas por viaturas pesadas Euro 6 e a GNC e por viaturas convertidas para GNC	47
Figura 19 - Variação do preço do gásóleo e da eletricidade em Portugal desde 2004 até 2016 e do preço do GNC entre 2015 e 2017. Fonte:(DGEG, 2018).....	54
Figura 20 – Quadro – resumo do estudo	63

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Cenário de referência, CRef.....	26
Tabela 2 - Intervalos indicativos de manutenção de componentes do motor ISX12 G a GNC	33
Tabela 3 - Tipos de cilindros e carga e custos associados	35
Tabela 4 - Modelos de viaturas pesadas e mistas existentes no mercado português e respetivas autonomias e capacidades do tanque de combustível	37
Tabela 5 - Modelos de viaturas pesadas a GNC e a respetiva máxima potência do motor.....	38
Tabela 6 - Quantidade (ton) de petróleo bruto importado por Portugal e respetivos países de origem	44
Tabela 7 - Preços por tipo de viatura e respetivo combustível.....	46
Tabela 8 - Investimento inicial para a combinação de diferentes cenários	49
Tabela 9 - Consumo e custos anuais de gasóleo e GNC para viaturas pesadas	50
Tabela 10 - Consumo e custos anuais de gasóleo e GNC para viaturas mistas.....	50
Tabela 11 - Consumo e custos de eletricidade para viaturas mistas e ligeiras elétricas.....	51
Tabela 12 - Payback time para os cenários de substituição de viaturas pesadas a gasóleo por viaturas novas a GNC.....	52
Tabela 13 - Payback para os cenários de conversão de viaturas pesadas a gasóleo para GNC.....	52
Tabela 14 - Payback time para os cenários de substituição e conversão de viaturas mistas a gasóleo para GNC	53
Tabela 15 - Inventário relativo às emissões do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas Euro 6.....	57
Tabela 16 - Inventário dos cenários de substituição de viaturas pesadas por viaturas a GNC.....	57
Tabela 17 - Inventário do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas Euro 6.....	58
Tabela 18 - Inventário dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas a GNC	58
Tabela 19 - Inventário dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas elétricas	59
Tabela 20 - Inventário do cenário de substituição das viaturas ligeiras por viaturas elétricas.....	59
Tabela 21 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas Euro 6.....	60
Tabela 22 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas a GNC	60
Tabela 23 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas Euro 6	61
Tabela 24 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas a GNC	61
Tabela 25 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas elétricas	61
Tabela 26 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas ligeiras por viaturas elétricas	62

Nomenclatura

Abreviaturas

- AEA – Agência Europeia do Ambiente
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
- CE – Comissão Europeia
- CH₄ – Metano
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
- EM – Empresa Municipal
- GEE – Gases com Efeito de Estufa
- GNC – Gás Natural Comprimido
- GNL – Gás Natural Liquefeito
- GTL – Conversão de Gás para Líquido
- HAPs – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
- HFCs – Hidrofluorcarbonetos
- IEA – Agência Internacional de Energia
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas
- Mtoe – Megatonelada Equivalente de Petróleo
- NF₃ – Trifluoreto de Nitrogénio
- NH₃ – Amoníaco
- N₂O – Óxido Nitroso

- NO_x – Óxidos de Azoto
- PFCs – Compostos Perfluorados
- PM – Matéria Particulada
- POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes
- REE – Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
- RU – Resíduos Urbanos
- SET – Plano Estratégico para as Tecnologias Energéticas
- SF₆ – Hexafluoreto de Enxofre
- SO₂ – Dióxido de Enxofre
- TEP – Tonelada equivalente de petróleo
- EU – União Europeia
- VBE – Veículos a Baterias Elétricas

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Os combustíveis fósseis derivados do petróleo e o carvão são a maior fonte de energia mundial no setor dos transportes, no entanto, a crescente preocupação com o ambiente associada a questões económicas e sociais, tem impulsionado a procura de novas alternativas a estes combustíveis, nomeadamente as fontes de energia renováveis (Pereira Oliveira, 2009).

Em Portugal as emissões de gases com efeito de estufa provenientes dos transportes em 2015 representaram 24% do total de emissões de Portugal. Esta fonte é a que mais contribui para as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) nacionais juntamente com a indústria de produção e transformação de energia, que contribui com 27% das emissões totais (APA, 2017).

Atendendo a este fato, o aumento da eficiência energética e da eficiência no transporte pode contribuir substancialmente para a redução das emissões, no entanto a derradeira solução prende-se com a substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis alternativos neutros em carbono no setor dos transportes (European Expert Group on Future Transport Fuels, 2011). Esta solução, embora seja de difícil implementação, acarreta vantagens não só ambientais como também do ponto de vista social e económico, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Na gestão de resíduos urbanos (RU), a fase de recolha e transporte de RU depende maioritariamente de veículos movidos a combustíveis derivados do petróleo, comumente gasóleo, que emitem uma quantidade significativa de poluentes como CO₂, N₂O e matéria particulada (PM), que influenciam a qualidade do ar, a poluição local e contribuem para as alterações climáticas (Pereira Oliveira, 2009).

A recolha e o transporte de RU é também a fase mais dispendiosa para as empresas de gestão de RU, representando 50 a 75% do custo total dos sistemas de gestão de RU (Campos, 2015). A maior parte dos custos deve-se aos combustíveis, mas os custos associados à manutenção dos veículos também são significativos, uma vez que os veículos estão sujeitos a desgaste intensivo devido ao constante para arranca para a recolha dos RU.

Para as empresas de gestão de RU torna-se assim uma prioridade acompanhar as tendências mundiais no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, procurando alcançar a sustentabilidade, através da redução do uso de combustíveis fósseis e consequente redução das emissões de GEE, e a viabilidade económica, optando por combustíveis e tecnologias mais eficientes que permitam a redução de custos e impactos ambientais e aumentem a qualidade de vida das populações.

Deste modo, a importância da realização de estudos direcionados para a melhoria e adaptação dos sistemas de recolha e transporte é reforçada, para se obter sistemas mais sustentáveis e eficientes, com menores custos, consumos e menor impacto ambiental e com elevado reconhecimento social, sendo este o âmbito desta dissertação.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo técnico, económico, energético e ambiental da situação atual e de cenários de renovação da frota para o transporte dos resíduos urbanos no município considerado. Os impactos ambientais são avaliados numa perspetiva de ciclo de vida, considerando os consumos de combustível e emissões provenientes dos serviços de recolha e transporte de RU feito pela empresa Maiambiente E.M., empresa responsável pela recolha e transporte de RU no município da Maia. Os cenários considerados incidem sobre a utilização de viaturas de classe Euro mais elevada, de viaturas com tecnologia alternativa que permitam o uso de combustíveis diferentes do gasóleo, nomeadamente o gás natural comprimido (GNC) e a energia elétrica,

visando a melhoria da eficiência e da sustentabilidade do sistema de recolha e transporte de RU da empresa.

Deste modo, este estudo visa o desenvolvimento de dois objetivos específicos, nomeadamente:

- I. Definição dos critérios e das metodologias para a avaliação técnica, energética, económica e ambiental, onde serão calculados os impactos ambientais, numa perspetiva de ciclo de vida, associados ao consumo de combustível e às emissões atmosféricas;
- II. Desenvolvimento e avaliação de cenários possíveis que incluam viaturas de classe Euro 6 e tecnologias alternativas para a substituição das viaturas atuais da Maiambiente E.M. que permitam a redução da fatura económica da Maiambiente E.M. e do impacto ambiental.

1.3. Estrutura da Dissertação

No capítulo 1 é efetuado um pequeno enquadramento ao tema e são indicados os objetivos e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 são abordados os fundamentos deste trabalho, indicando os aspetos relevantes para o desenvolvimento do mesmo, nomeadamente a relação dos transportes com o consumo de energia, os combustíveis fósseis, os impactos ambientais associados, etc. São ainda referidos os combustíveis alternativos e as estratégias atuais e futuras para o aumento da eficiência e da sustentabilidade no setor dos transportes.

No capítulo 3 são definidos os critérios e a metodologia para a avaliação técnica, económica, energética e ambiental dos diferentes cenários propostos.

No capítulo 4 é efetuado a descrição do sistema em estudo e é, portanto, estabelecido, o cenário de referência. São ainda estabelecidos os diferentes cenários para o desenvolvimento do estudo.

No capítulo 5 é efetuada a avaliação técnica, económica, energética e ambiental dos diferentes cenários e apresentado um quadro-resumo do estudo.

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

2. Transportes e sustentabilidade

2.1. Sustentabilidade, energia e transportes

De acordo com o relatório Brundtland de 1987, o desenvolvimento sustentável é definido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades”(United Nations, 1987).

No entanto, com o aumento da população mundial em mais de um milhar milhão de habitantes nos últimos doze anos e prevendo-se o aumento de outros tantos até 2030 (United Nations, 2017b), aumentam as necessidades energéticas mundiais (Figura 1) e impõe-se a necessidade de produzir energia a partir de fontes renováveis. Também o desenvolvimento económico está associado ao aumento da procura energética, sendo que 75% da energia mundial é consumida por 25% da população que integram economias desenvolvidas (Omer, 2008).

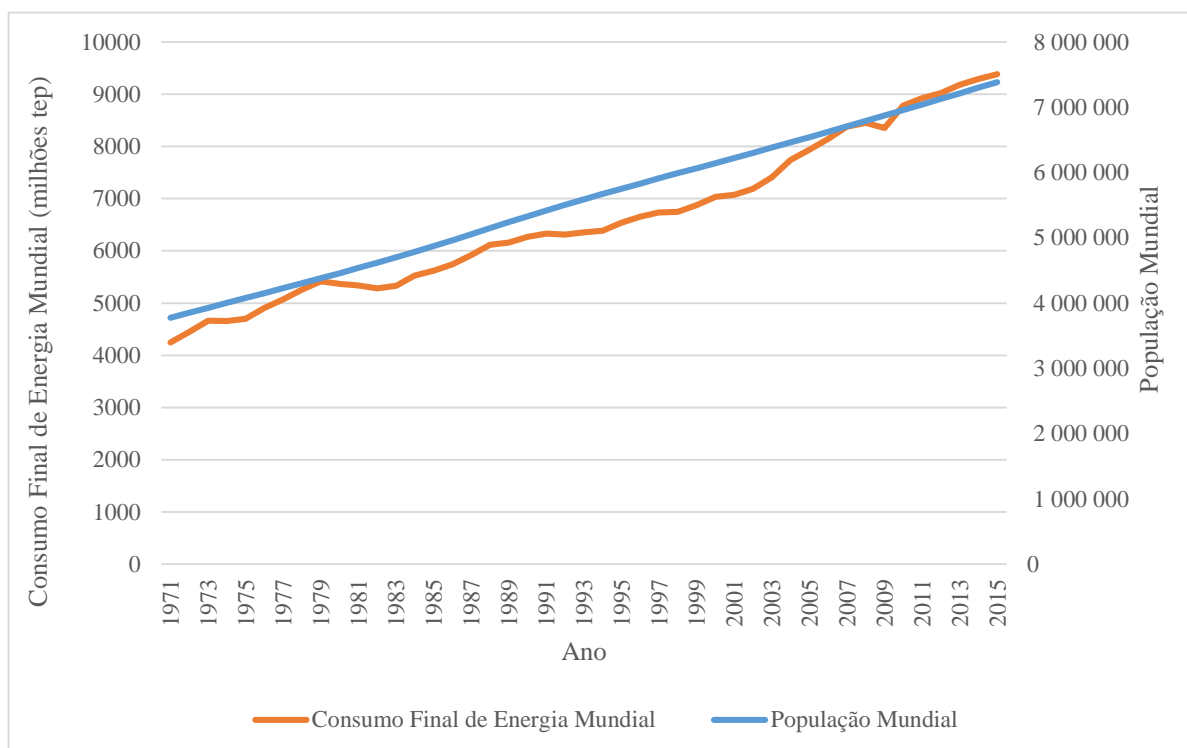


Figura 1 - Relação entre o aumento da população mundial (milhões) e o consumo final de energia mundial (tep) entre 1971 e 2015. Fonte: (United Nations, 2017a) (BP, 2017b)

As fontes de energia primária mais utilizadas são as fontes fósseis, nomeadamente o petróleo, o carvão e o gás natural (Suganthi and Samuel, 2012).

O consumo de energia está dividido pelos setores da transformação e produção de energia, indústria, transportes e outros que incluem os consumos residenciais, dos serviços públicos e comerciais, da agricultura e floresta e pescas (IEA, 2017). O setor da transformação e produção de energia e o dos transportes consomem em conjunto mais de metade da energia mundial. Em 2010 o consumo final de energia no transporte ascendeu aos 28% do consumo total de energia global, do qual 40% diz respeito ao transporte em áreas urbanas (IEA, 2012b).

Este cenário é a consequência da globalização que impulsiona a circulação de pessoas, serviços e bens entre países através de ligações e redes de transportes cada vez mais eficientes e baratas que contribuem para o crescimento do turismo, a proliferação de empresas e o aumento da taxa de emprego (Janelle and Beuthe, 1997; Comissão Europeia, 2014b).

Os transportes são a base da economia de qualquer país, e com o desenvolvimento económico, principalmente das economias emergentes, vem o crescimento do setor dos transportes e da procura energética (Comissão Europeia, 2014a; IPCC, 2014).

Atualmente os transportes dependem maioritariamente do petróleo, sendo que uma grande parte da energia consumida é proveniente da combustão de gasolina e gasóleo (Comissão Europeia, 2011b). Para além da sua proveniência, as emissões associadas à combustão deste tipo de combustíveis são também um problema mundial, que contribui diretamente para um dos maiores desafios da humanidade, o aquecimento global.

As áreas urbanas são as mais afetadas pela poluição derivada das reações de combustão e as maiores emissoras de GEE uma vez que o desenvolvimento urbano potencia o poder económico, conduzindo a elevados consumos de energia (IPCC, 2014). Também Satterthwaite reforça a ideia de que não é o crescimento urbano que promove o aumento das emissões de GEE mas sim o aumento de consumidores e dos seus níveis de consumo (Satterthwaite, 2009).

Segundo o IPCC existe a possibilidade de reduzir a procura de energia associada aos transportes entre 10% e 45% assim como a emissão de gases com efeito de estufa, através da implementação de combustíveis baixos em carbono, do investimento em infraestruturas e em tecnologia para aumentar a eficiência dos veículos e motores e através de alterações comportamentais, evitando viagens e optando por uma condução responsável sempre que possível (IPCC, 2014).

2.2. Combustíveis fósseis e transportes

O setor dos transportes é o principal consumidor final de petróleo (Figura 2), consumindo 53% do petróleo de consumo primário em 2010 (IPCC, 2014). O petróleo é um combustível fóssil e não renovável, o que significa que não se renova a uma velocidade capaz de satisfazer as necessidades mundiais atuais, prevendo-se o esgotamento das reservas ainda este século (Owen, Inderwildi and King, 2010).

Tendo em conta a atual produção mundial de barris de petróleo e a quantidade de reservas de petróleo cuja existência está provada, prevê-se que estas se esgotem em aproximadamente 50 anos (BP, 2017a).

Segundo Owen et al. para satisfazer a procura atual por combustíveis fósseis, nomeadamente petróleo, será necessário recorrer a fontes não convencionais para a extração dos mesmos. As fontes de petróleo não convencionais incluem a extração a partir de areias betuminosas e de rochas, quer através da injeção de vapor ou polímeros em que se obtém um óleo de petróleo pesada (*heavy oil*) ou diretamente da rocha mãe, conhecido como óleo de xisto (*oil shale*) (Jaffe, Medlock and Soligo, 2011). No entanto, o desenvolvimento destas formas de extração irá desencadear um aumento do preço dos combustíveis por serem processos dispendiosos, assim como problemas ambientais como a poluição atmosférica, dos solo e aquífera (European Expert Group on Future Transport Fuels, 2011).

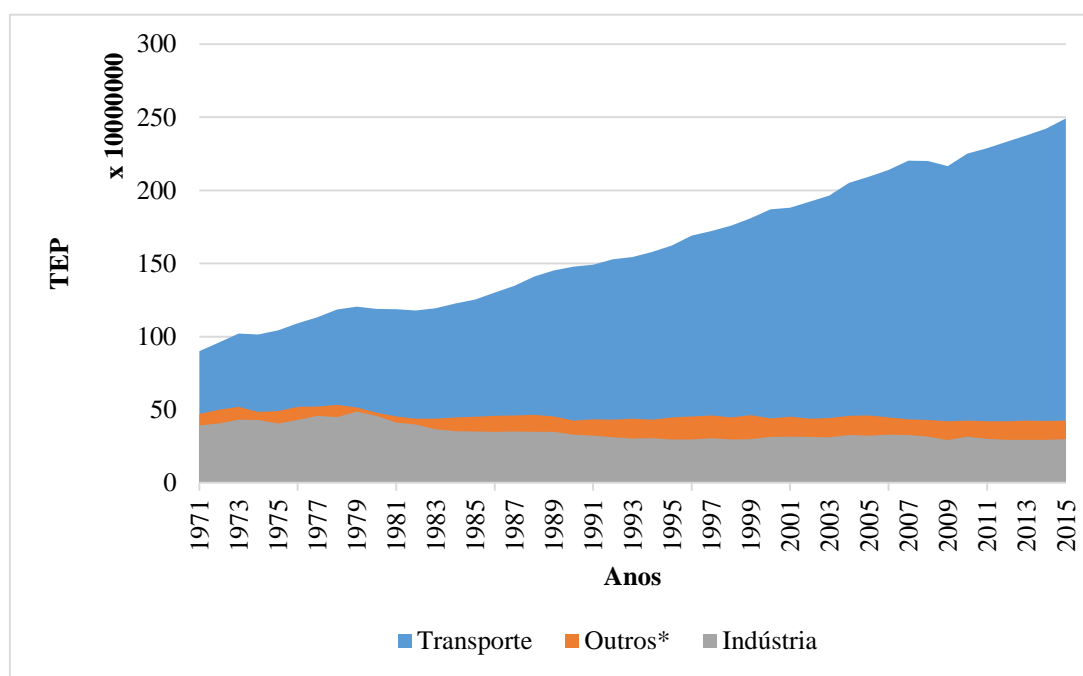


Figura 2- Consumo final de petróleo em tep por setor entre 1971 e 2015. *Inclui consumos residenciais, dos serviços públicos e comerciais, da agricultura e floresta e pescas. Fonte: (BP, 2017b)

Contudo, quer o petróleo provenha de fontes convencionais ou não, o preço por barril de petróleo irá aumentar para o dobro a longo prazo como consequência do aumento da procura e a diminuição da oferta podendo sofrer ligeiros aumentos e decréscimos também a curto prazo devido à instabilidade geopolítica do Médio Oriente, à ocorrência de fenómenos naturais e devido à falta de informação relativamente às reservas de petróleo (Souza, 2006; Comissão Europeia, 2011b).

Em 2016 o preço por barril de petróleo variou entre os 31 e os 54 dólares, valores que se mantiveram no primeiro semestre do ano de 2017 (BP, 2017a).

Para além das questões associadas às reservas e à variação dos preços, a dominância do petróleo no setor dos transportes tem outra desvantagem que põe em causa a sua utilização no futuro que se prende com a emissão contínua de GEE resultantes da combustão, que desde 1970 mais que duplicou (IEA, 2012a), devendo-se 80% ao transporte rodoviário (IPCC, 2014).

Em Portugal, o setor dos transportes representa aproximadamente um quarto das emissões de GEE nacionais (Figura 3), sendo o CO₂ o gás dominante com 76% das emissões em 2015, um valor que reflete o crescimento do consumo de energia, nomeadamente dos combustíveis fósseis também a nível nacional (APA, 2017).

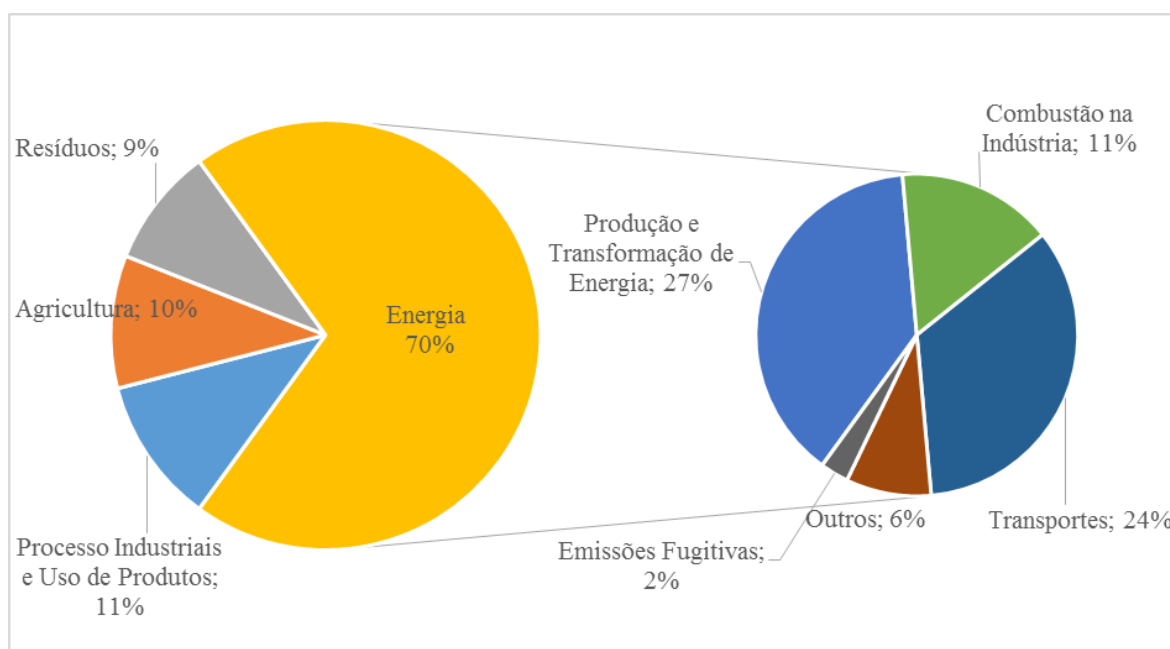


Figura 3- Emissões de GEE em Portugal no ano de 2015 por setor. Adaptado de (APA, 2017)

Para solucionar uma possível crise de petróleo muitos países têm apostado em medidas para reduzir a dependência do petróleo que passa principalmente pelo aumento da eficiência energética e pela substituição total dos combustíveis fósseis por combustíveis alternativos com baixo teor de carbono.

A eficiência energética atua como medida para redução das emissões de poluentes, no entanto não resolve a dependência mundial pelo petróleo, mas pode impulsionar a implementação de combustíveis alternativos que são vistos como a solução mais viável (European Expert Group on Future Transport Fuels, 2011).

2.3. Impactos ambientais do sector dos transportes

A existência de redes e meios de transporte é essencial para as economias desenvolvidas e em desenvolvimento, o que acarreta impactos não só do ponto de vista económico como a nível social e ambiental.

A nível ambiental os impactos são maioritariamente negativos e ocorrem na extração e produção de combustíveis, de energia e das matérias-primas, usadas na construção das redes e dos meios de transporte, na utilização dos veículos e até ao fim de vida dos mesmos. Os impactos mais relevantes são a poluição dos recursos de água potável, do espaço marítimo, do solo e do ar, a ocorrência de chuvas ácidas, a produção de resíduos sólidos e sua eliminação, a destruição da floresta e da camada de ozono e o aquecimento global (Omer, 2008).

A emissão de poluentes para a atmosfera é a principal causa das chuvas ácidas, da destruição da camada de ozono e do aquecimento global, fenómenos que ocorrem a largas distâncias da fonte emissora de poluentes tomando proporções regionais e globais (Omer, 2008).

A nível dos transportes a emissão de poluentes ocorre maioritariamente durante a vida útil dos meios de transporte no processo de combustão dos combustíveis fósseis utilizados nos veículos que emite gases de exaustão para a atmosfera.

Os principais poluentes emitidos pelos transportes são os precursores de ozono (CO, NO_x, COVs (Compostos orgânicos voláteis) excluindo o metano), gases com efeito de estufa (CO₂, CH₄, N₂O), substâncias acidificantes (NH₃, SO₂) e tóxicas (dioxinas e furanos), matéria particulada, espécies cancerígenas (HAPs (Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) e POPs (poluentes orgânicos persistentes)) e metais pesados (Kouridis *et al.*, 2016).

As substâncias acidificantes são responsáveis pela ocorrência de chuvas ácidas enquanto os GEE contribuem para o efeito de estufa, que embora exista de forma natural no planeta, promovendo as condições que permitem a vida na Terra, tem vindo a agravar-se devido ao aumento da quantidade de GEE na atmosfera, afetando a temperatura média do planeta e o seu equilíbrio do mesmo (Borrego *et al.*, 2010).

Desde os anos 70 que as emissões emitidas pelo setor dos transportes duplicaram e entre 2000 e 2010 a emissão de GEE com origem antropogénica aumentou cerca de 10GtCO₂eq, dos quais 11% provém do transporte, o que torna o setor dos transportes um alvo das políticas mundiais para a redução das emissões (IPCC, 2014).

Segundo a NASA a temperatura média global da superfície terrestre e oceânica aumentou 0,94°C nos últimos 50 anos, um aumento de 0,64 °C apenas nos últimos 20 anos, que fez do ano de 2016 o ano mais quente de sempre (Figura 4 e 5) (NASA's Goddard Institute for Space Studies, 2014). Segundo o IPCC, é extremamente provável que mais de metade dos aumentos observados na temperatura média da superfície global entre 1951 e 2010 tenha sido causada por atividades antropogénicas emissoras de GEE (IPCC, 2013).

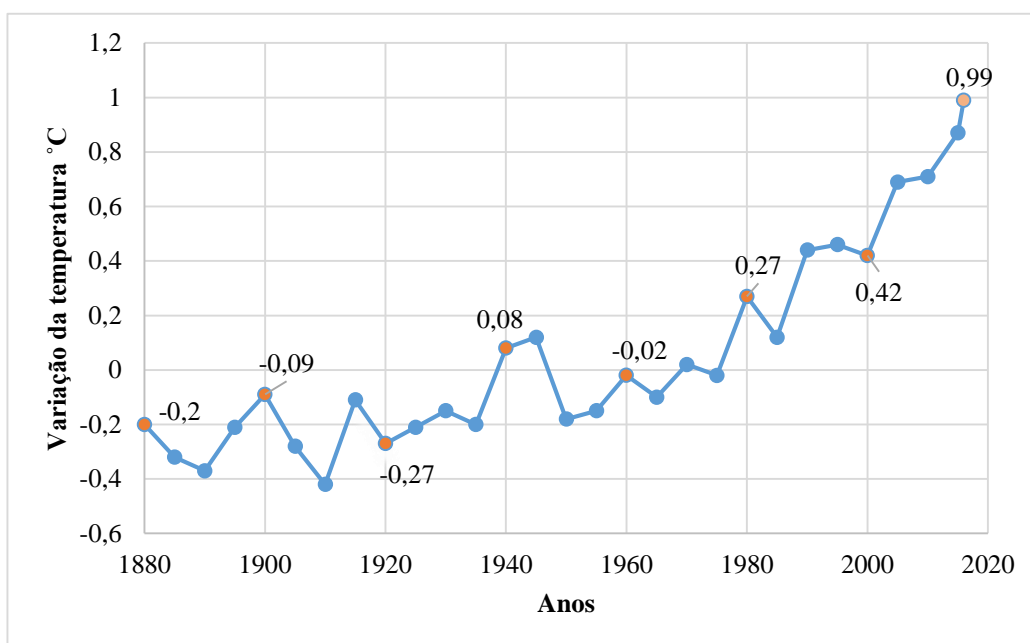


Figura 4 - Variação da temperatura da superfície terrestre em graus Celsius entre 1880 e 2016 Fonte: (NASA's Goddard Institute for Space Studies, 2014)

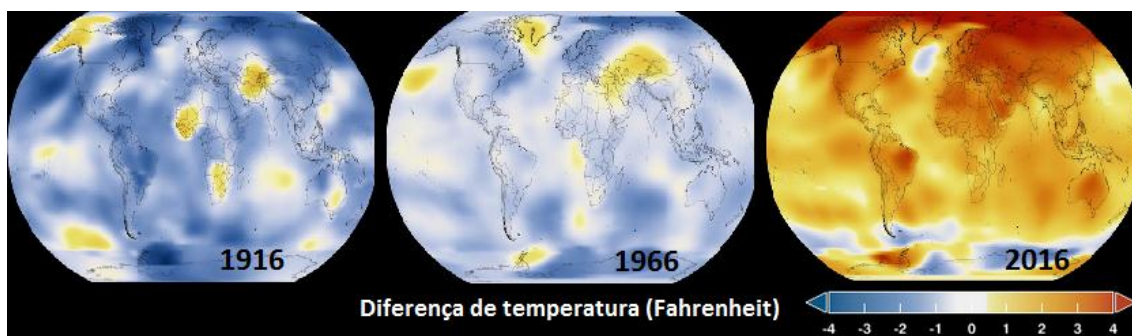


Figura 5 - Variação da temperatura da superfície terrestre em Fahrenheit entre 1916 e 2016. Fonte: (NASA's Goddard Institute for Space Studies, 2014)

As consequências mais marcantes do aquecimento global são principalmente as alterações no ciclo global da água, que afeta a intensidade e duração das chuvas e secas, a redução da ocorrência de neve e gelo e consequentemente a redução das calotes polares que leva ao aumento do nível do mar em 60mm por década e a ocorrência mais frequente de ondas de calor, fogos florestais e furacões (Omer, 2008).

Estes eventos para além da degradação ambiental que provocam têm ainda consequências sociais e económicas como a extinção de espécies, a fome e a falta de acesso a água potável, a perda de territórios costeiros e ilhas e a destruição de infraestruturas entre outros.

Segundo Omer, encontrar soluções para os problemas ambientais que têm ocorrido nas últimas décadas e que tendem a agravar-se requer ações ponderadas a longo prazo, que vão de encontro à substituição total dos combustíveis fósseis por combustíveis e tecnologias não poluentes (Omer, 2008)

2.4. Estratégias atuais e futuras para este sector

Para reduzir a emissão de poluentes e na tentativa de reverter ou estabilizar alguns destes impactos, os governos a nível mundial têm lançado novas políticas e planos que incluem medidas de mitigação e adaptação onde o transporte rodoviário é uma das prioridades.

Na Europa as emissões dos transportes rodoviários têm sido controladas desde dos anos 70 (Kouridis *et al.*, 2016). A regulação dos requisitos tecnológicos dos motores na construção dos veículos, a inclusão de sistemas de controlo de emissões nos veículos, a implementação das normas Euro e promoção de biocombustíveis e outros combustíveis renováveis no sector dos transportes são exemplos de medidas introduzidas pelas diretivas comunitárias no setor dos transportes.

Para além das diretivas comunitárias a União Europeia tem desenvolvido planos, guias e pacotes no âmbito da política climática que definem objetivos, medidas e cenários para a redução das emissões de GEE com base em estudos e estatísticas energéticas. O Livro Branco 2011, o *Roadmap 2050*, o pacote “*Clean Power for Transport*” e o Plano Estratégico para as Tecnologias Energéticas são alguns dos elementos da atual política climática europeia que referem possíveis cenários a alcançar entre 2020 e 2050 para reduzir as emissões de GEE no setor dos transportes.

O Livro Branco 2011 é um guia que inclui 40 iniciativas concretas para o desenvolvimento e construção de um sistema de transportes competitivo e sustentável e cujos principais objetivos são o decréscimo da dependência por petróleo importado, a redução das emissões de GEE em 60% e substituição total dos veículos convencionais por veículos a combustíveis alternativos até 2050 (Comissão Europeia, 2011a).

O *Roadmap 2050* também é um guia de descarbonização da Europa que enuncia várias formas de reduzir as emissões de GEE com base em informação da indústria energética. Os principais objetivos do *Roadmap 2050* são (European Commission, 2012a):

- Investigar a viabilidade técnica e económica de novas tecnologias para reduzir 80% das emissões de GEE até 2050, comparativamente aos níveis de 1990, procurando manter ou melhorar a confiança no fornecimento energético, a segurança energética, o crescimento económico e a prosperidade;
- Alterar o sistema energético da Europa nos próximos 5 a 10 anos.

O aumento da diversidade e da quota de energias renováveis, a mudança de combustíveis e o domínio de veículos elétricos são cenários que o *Roadmap 2050* propõe para a descarbonização da Europa, ressaltando a importância do desenvolvimento de políticas nacionais (European Commission, 2012b).

Relativamente ao pacote “*Clean Power for Transport*”, este visa facilitar o desenvolvimento do mercado de combustíveis alternativos na Europa e inclui a proposta da Diretiva 2014/94/UE sobre a implantação de infraestruturas de recarga e abastecimento de combustíveis alternativos, uma comunicação da Comissão Europeia sobre a estratégia europeia para a substituição a longo prazo do petróleo por combustíveis alternativos nos transportes e um documento de acompanhamento sobre o gás natural liquefeito no transporte marítimo. A Diretiva 2014/94/UE exige o desenvolvimento de políticas

nacionais para os combustíveis alternativos e infraestruturas de abastecimento e recarga, prevendo o uso de especificações técnicas comuns para as mesmas e defende a clarificação de informações e da metodologia de comparação de preços ao consumidor (Comissão Europeia, 2014b).

Com o Plano Estratégico para as Tecnologias Energéticas (SET) a Europa pretende alcançar objetivos energéticos definidos por outros planos através de ações a curto e longo prazo. A curto prazo o objetivo é o reforço da investigação para aumentar a eficiência das tecnologias existentes e a sua introdução comercial com custos mais baixos e a longo prazo o investimento no desenvolvimento de tecnologias de baixa intensidade de carbono (Comissão Europeia, 2007).

2.5. Alternativas aos combustíveis fósseis

A investigação e o investimento em novas tecnologias é a chave para a substituição dos combustíveis derivados do petróleo por combustíveis alternativos nos veículos rodoviários e para ultrapassar as barreiras que impedem a expansão de combustíveis mais limpos: o alto custo dos veículos, a baixa aceitação dos consumidores e a falta de infraestruturas de recarga e abastecimento (European Commission, 2017).

As tecnologias de propulsão consistem na substituição do motor a gasóleo por um motor alternativo que pode ser movido a eletricidade, a células de combustível de hidrogénio ou que pode ser híbrido (AEA, 2011).

Na eletricidade os veículos a baterias elétricas (VBE) é uma das opções disponíveis que utilizam um motor elétrico altamente eficiente para a propulsão que não emite poluentes nem ruído, o que os torna adequados para as zonas urbanas (Comissão Europeia, 2013). Outra opção deste tipo de combustível são os veículos híbridos e híbridos *plug-in*, que combinam motores de combustão interna e motores elétricos, permitindo a redução parcial do consumo de petróleo entre 20 a 30% (Hazeldine and Sharpe, 2016) e a redução das emissões de CO₂ (Comissão Europeia, 2013).

As principais vantagens dos veículos elétricos são a ausência de emissões de combustão, o potencial de produzir a eletricidade necessária a partir de fontes renováveis e a reduzida manutenção dos veículos, enquanto as principais desvantagens são o custo elevado das

baterias e dos veículos, a baixa densidade energética, o peso das baterias e o tempo de carregamento das mesmas e a falta de pontos de carregamento (Comissão Europeia, 2013).

Quanto ao hidrogénio, é disponibilizado em células de combustível que convertem a energia química em energia elétrica que dá propulsão ao veículo (AEA, 2011), podendo ser produzido a partir de todas as fontes de energia primária e ser usado como meio para armazenar energia eólica e solar (Comissão Europeia, 2013). Apresenta o dobro da eficiência de um motor de combustão e um desempenho similar ao dos veículos a combustíveis fósseis em termos de desempenho, autonomia e tempo de abastecimento (Comissão Europeia, 2013). As células de combustível de hidrogénio já foram testadas em autocarros e algumas marcas estão a desenvolver camiões. Os veículos equipados com células de combustível podem ser convencionais, híbridos ou híbridos *plug-in* (IPCC, 2014).

Esta tecnologia é igualmente livre de emissões de combustão, no entanto o elevado custo das células de combustível e a ausência de infraestruturas de abastecimento são as principais barreiras à sua expansão.

Como alternativa aos combustíveis fósseis tradicionalmente usados no transporte podem ainda ser usados outros combustíveis com os biocombustíveis e o gás natural, através de alterações no motor convencional.

Os biocombustíveis são produzidos a partir de biomassa como a cana-de-açúcar, soja, e algas, e podem contribuir para a redução das emissões de GEE se a biomassa for produzida de forma sustentável. Os biocombustíveis utilizam a energia química da biomassa como fonte de energia e incluem o bioetanol, o biometanol, os bioálcoois superiores, o biodiesel, o éter dimetílico e os óleos vegetais puros e hidrogenados (Comissão Europeia, 2013). Para os veículos pesados a Comissão Europeia pretende focar-se principalmente no biometano como substituto total do gasóleo e do gás natural e em incorporar percentagens de 30% e 95% nos combustíveis fósseis de biodiesel e bioetanol, respetivamente (European Commission, 2015). No entanto, a gasolina e o gasóleo atuais para abastecimento dos veículos já contêm uma percentagem de 10% de bioetanol e 7% de biodiesel, respetivamente, regulamentada pela Diretiva Comunitária 2009/30/CE.

Comparativamente à gasolina e ao gasóleo o uso de biocombustíveis pode emitir menos 30 a 90% das emissões diretas por quilómetro, considerando todo o ciclo de vida do

combustível, (IPCC, 2014) no entanto tem como principais desvantagens o aumento do consumo do combustível e o decréscimo da potência, o fato de maior parte da matéria-prima ser maioritariamente alimentícia e o uso excessivo dos solos (Hazeldine and Sharpe, 2016).

Relativamente ao gás natural, este pode ser obtido a partir de fontes fósseis e de fontes renováveis, como a biomassa e resíduos, o que o torna um bom combustível de transição, e apresenta várias formas, liquefeito (GNL), comprimido (GNC) e líquido (GTL). O gás natural liquefeito e comprimido são os mais comuns e viáveis económica e ambientalmente para os de transportes aquáticos e rodoviários, oferecendo maior eficiência e baixas emissões de poluentes em comparação com veículos convencionais (Comissão Europeia, 2013). O gás natural líquido, embora apresente as mesmas vantagens passa por processos de decomposição e refinação para resultar num combustível sintético com as mesmas características que a gasolina e o gasóleo, o que torna o seu custo elevado (Comissão Europeia, 2013).

O GNC é utilizado comumente em veículos pesados para a substituição do gasóleo através de modificações no motor e a sua substituição resulta numa eficiência energética semelhante de um veículo convencional e numa redução das emissões de combustão superior a 25% (IPCC, 2014).

Em geral o gás natural é o combustível com maior potencial de penetração no mercado, uma vez que já existem redes de abastecimento implementadas na Europa e veículos de todos os tipos a circular, contudo a falta de especificações técnicas comuns é um problema, como por exemplo o peso e dimensões dos tanques de armazenamento de GNC.

Tanto os biocombustíveis como o gás natural podem ser usados em veículos híbridos. O uso de GNC em conjunto com o gasóleo pode reduzir as emissões de CO₂ entre 10 a 20% em todo o tipo de veículos (IPCC, 2014).

Os combustíveis alternativos têm o potencial de alterar os sistemas de transporte através da redução das emissões diretas do ciclo de vida do combustível, no entanto tudo depende da forma como é produzida a matéria-prima e dos processos de conversão (IPCC, 2014).

Aliado às tecnologias e à política devem de estar medidas comportamentais relacionadas com tipo de condução, com o consumo de combustível e aquisição de veículos

alternativos, tanto a nível particular como empresarial. A execução deste conjunto de medidas pode assim resultar na redução efetiva de emissões de poluentes, nomeadamente, GEE e em benefícios para a saúde humana e desenvolvimento económico.

2.6. Transporte de RU

O transporte de RU é um serviço municipal que integra o sistema de gestão de RU realizado por empresas especializadas. As viaturas utilizadas neste serviço representam cerca de 2 a 3,5% de todas os veículos pesados, não contribuindo significativamente para o consumo de combustível e emissões de GEE globais comparado com outros tipos de veículos (AEA, 2011).

No entanto, por representarem um nicho das frotas automóveis, os veículos de recolha de transportes são ideais para a implementação de combustíveis alternativos e tecnologias mais desenvolvidas, uma vez que dentro dos veículos pesados, os de recolha e transporte de RU apresentam um consumo elevado de combustível que pode atingir os 150% (AEA, 2011; Shea, 2011).

O consumo elevado de combustível está diretamente relacionado com o transporte e compactação de cargas elevadas e com o tipo de condução, maioritariamente em marcha lenta e em constante para e arranca (AEA, 2011). Por esta razão mais de metade do orçamento das empresas é direcionado para a fase de recolha e transporte de RU, nomeadamente para custos associados ao combustível (Awad Maimound, 2011).

Desta forma, e embora não haja indicações específicas na lei nacional e internacional relativa à eficiência do transporte de RU, é do interesse das empresas responsáveis pela gestão de RU o estudo de ações que potenciem a sustentabilidade do serviço, principalmente do ponto de vista económico e ambiental (Beijoco, 2011).

A implementação de tecnologias mais recentes e combustíveis alternativos nos veículos de recolha e transporte de RU são exemplos de ações que podem contribuir significativamente para a sustentabilidade económica, ambiental e social das empresas e que devem ser implementadas em conjunto com mudanças comportamentais que promovam a poupança de combustível e com a definição das rotas para a redução dos trajetos (IPCC, 2014).

A nível nacional, a frota automóvel da maior parte dos sistemas de gestão de RU é constituída por veículos pesados convencionais e por veículos mistos de apoio a gasóleo,

equipados com catalisadores que limitam a emissão de poluentes a valores regulamentados pelas normas Euro mas que acrescentam carga e aumentam o custo e o consumo de combustível (Awad Maimound, 2011).

A aquisição de novos veículos exige um investimento elevado e por isso é um acontecimento pontual que dificulta a modernização da frota automóvel de recolha e transporte de RU, sendo ainda comum a compra de veículos usados para diminuir o investimento, em que as opções são unicamente a gasóleo.

O cenário ideal seria a aquisição de veículos novos munidos da tecnologia mais recente para controlo das emissões e do consumo de combustível, mas preferencialmente movidos a combustíveis alternativos.

Atualmente já estão disponíveis no mercado veículos para o transporte de RU a GNC e híbridos e estão em fase de teste veículos pesados elétricos, que apresentam reduções significativas a nível de emissões, ruído e custos com o combustível.

Os sistemas híbridos podem ainda colmatar o uso ineficiente dos motores convencionais enquanto estão parados nos pontos de recolha, através do aproveitamento da energia cinética resultante das constantes travagens (Shea, 2011).

Numa altura em a descarbonização é um objetivo global, a substituição total e gradual das frotas de recolha e transporte de RU são um bom exemplo de um primeiro passo que pode ser dado pelos municípios e que tem vantagens não só para as empresas mas para o cumprimento das metas nacionais e internacionais relacionadas com a redução de GEE.

3. Critérios e metodologias

Para avaliar os diferentes cenários foram selecionados os vários critérios e metodologias que serão apresentados neste capítulo.

A seleção dos critérios para avaliação dos diferentes cenários de renovação da frota foi feita considerando os critérios que influenciam a decisão de aquisição de viaturas na empresa e as preocupações da própria empresa relativamente às tecnologias propostas.

Os critérios como a fiabilidade para o serviço, a manutenção, o consumo e custo de combustível, o investimento económico e a diminuição de impactes ambientais foram critérios considerados como muito relevantes pela empresa uma vez que são os indicadores base para o funcionamento e gestão da frota de uma forma sustentável.

A manutenção é um critério importante para a empresa na medida em que exige mão-de-obra e planificação, para além de ser uma das fases com maiores custos associados. Na mesma linha de raciocínio o combustível é também responsável por grande parte dos gastos da empresa, pelo que a diminuição do consumo e de custos traria benefícios económicos para a mesma.

A nível ambiental, sendo a empresa responsável pela prestação de serviços de cariz ambiental existe um compromisso social de reduzir o máximo possível o impacte no ambiente.

Estes critérios foram divididos de acordo com o seu carácter, pelo que se considerou fazer uma abordagem do ponto de vista técnico, energético, económico e ambiental em termos de avaliação de cenários.

Contudo do ponto de vista teórico existem critérios também interessantes e com relevância na análise dos cenários e que foram propostos com o objetivo de clarificar a influência das tecnologias de substituição consideradas.

A autonomia é um desses exemplos, uma vez esta é condicionada pela limitada capacidade de armazenamento das baterias e dos tanques de GNC, o que impõe a necessidade de analisar este critério para compreender a influência que poderá ter na realização dos serviços da empresa (Santos, 2015).

Adjacente a este critério existe também a questão do peso adicional, uma vez que o peso do veículo é um dos fatores com maior impacto na autonomia do veículo, daí a importância de analisar a carga acrescentada devido aos tanques de GNC e baterias elétricas (Sampaio, 2012). Tanto o estudo da carga acrescentada como o da autonomia foram inseridos na avaliação técnica, juntamente a manutenção e a fiabilidade para o serviço.

Na avaliação técnica ponderou-se ainda a análise do ruído uma vez a diminuição de ruído é um aspeto vantajoso na adoção de viaturas elétricas (Bastos and Ledo, 2014). Contudo por ser um critério pouco relevante na decisão de substituição da frota e por questões relacionadas com a falta de tempo para a análise do mesmo, não foi considerado neste estudo.

Relativamente à existência de infraestruturas e de segurança no abastecimento, estes critérios foram tidos em conta devido ao fato de viaturas a GNC e principalmente viaturas elétricas estarem em expansão no mercado automóvel, havendo apenas postos pontuais para abastecimento para ambos. Tendo em conta isto, considerou-se importante compreender até que ponto a disponibilidade de postos de abastecimento é satisfatória para se poder investir na renovação da frota.

O *payback time* foi considerado um critério relevante a nível de avaliação económica, uma vez que resulta da relação entre o investimento inicial e a diferença de custos associados ao consumo de combustível. Este critério tem a vantagem de ser indicador simples da

viabilidade de investimentos (Lima, 2015) o que permite uma análise da viabilidade económica na aquisição de viaturas novas ou convertidas para substituição da frota.

A nível económico foi considerada ainda a variação dos preços dos combustíveis como critério, dado que as oscilações dos preços dos combustíveis são resultantes principalmente da depleção de recursos e são ainda a maior causa de mudanças de hábitos de consumo de combustível.

Do ponto ambiental, uma vez que é do interesse da empresa diminuir o seu impacto no ambiente, optou-se por fazer uma avaliação de ciclo de vida desde a produção ao consumo de combustível e energia elétrica utilizando o método “IMPACT 2002+” .

A nível técnico apreciação dos diferentes critérios técnicos foi baseada na literatura existente e nas características técnicas de modelos automóveis semelhantes às atuais viaturas que constituem a frota automóvel do município da Maia, mas com tecnologias alternativas consideradas na dissertação para substituição da frota.

Na avaliação energética foram considerados dados reais e dados retirados da literatura disponível para o cálculo da quantidade de combustível consumido e foi feita uma análise acerca da acessibilidade ao combustível e segurança no abastecimento do mesmo com base em dados nacionais divulgados publicamente.

A nível económico o investimento inicial, os custos associados ao consumo de combustível, o tempo de retorno de investimento (*payback time*) e a variação dos preços dos combustíveis foram critérios avaliados usando referências bibliográficas e uma abordagem quantitativa

E por fim, relativamente à avaliação ambiental, esta foi realizada de acordo com a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) usando a base de dados Ecoinvent que faz parte do software SimaPro 8.5.3.0., e o método “IMPACT 2002+”, que inclui a definição dos limites do estudo e o objetivo, o inventário dos dados considerados e a avaliação dos impactos e sua posterior interpretação.

Na figura 6 é apresentado um esquema resumo dos critérios considerados neste estudo, avaliados segundo a metodologia descrita.

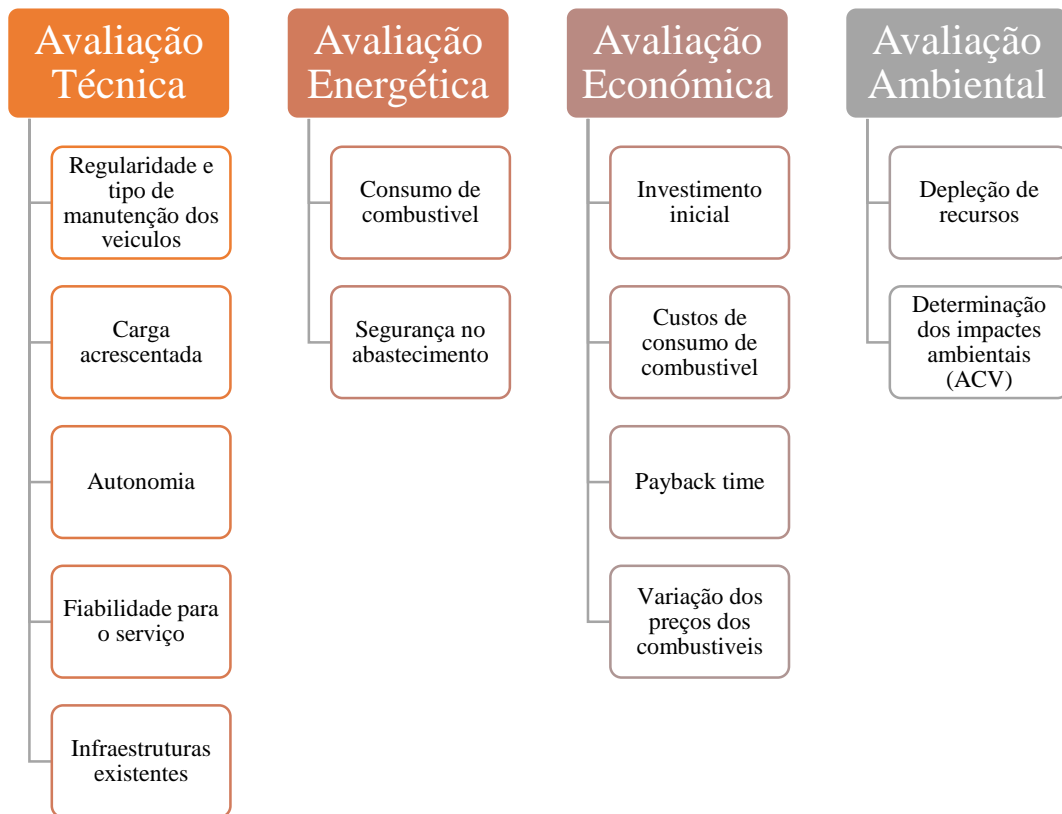


Figura 6 - Critérios de avaliação dos cenários propostos

4. Cenário de referência e elaboração de cenários

4.1. Descrição da empresa

A Maiambiente EM - Empresa Municipal do Ambiente do Município da Maia é uma empresa pública municipal criada, em 31 de agosto de 2001, ao abrigo da Lei n.º 58/98, de 18 de agosto, dotada de personalidade jurídica, autonomia administrativa e financeira e património próprio, sujeita aos poderes de tutela e superintendência da Câmara Municipal da Maia e situada no concelho da Maia, na freguesia de Milheirós. Iniciou a sua atividade a 7 de março de 2002 e tem como objeto principal, por delegação da Câmara Municipal da Maia, a remoção dos resíduos sólidos urbanos e equiparados a urbanos, a recolha seletiva de materiais recicláveis e a manutenção da higiene e limpeza dos locais públicos (Maiambiente, 2016).

Os serviços de limpeza têm como principais componentes a varredura manual e mecânica, limpeza de bermas, valetas e taludes e corte de ervas e têm frequência entre diária e mensal, de acordo com as características urbanas.

Os serviços de recolha de resíduos são prestados a clientes residenciais, empresariais (indústria, comércio e serviços) e institucionais, servindo no total uma população de aproximadamente 135800 habitantes e são feitos, maioritariamente através de recolha

porta-a-porta, mas também através da recolha de proximidade, em ecocentros e ao domicílio através de marcação prévia.

A recolha de RU no município da Maia é feita maioritariamente porta-a-porta, um serviço que está disponível em todo o município da Maia desde 2015 com a implementação do Projeto “Ecoponto em Casa”. Este projeto consistiu na disponibilização de contentores para a deposição de resíduos indiferenciados e recicláveis, para uso particular, individual ou coletivo, em todos os edifícios de habitação unifamiliar e multifamiliar. Só em casos excecionais, em que não havia espaço disponível para os contentores particulares ou não era possível o acesso das viaturas, é feita recolha coletiva de proximidade, através de contentores semi-enterrados (molok), ecopontos triplos (cyclea) e vidrões isolados na via pública quando a concentração de habitantes o justifica.

A recolha porta-a-porta é feita de segunda a sexta e a recolha de proximidade de segunda a sábado, ambas em horário diurno.

Os RU recolhidos são depois encaminhados para a LIPOR - Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, que é a entidade responsável pela valorização e tratamento dos RU, onde os resíduos indiferenciados são incinerados na Central de Valorização Energética da LIPOR, para geração de energia elétrica, e os resíduos recicláveis são encaminhados para a Central de Triagem da LIPOR, valorizando-se através de indústrias recicladoras. O gráfico da figura 7 apresenta a quantidade de resíduos indiferenciados e recicláveis recolhidos entre 2014 e 2016 e o gráfico da figura 8 a quantidade de resíduos recolhidos por tipologia.

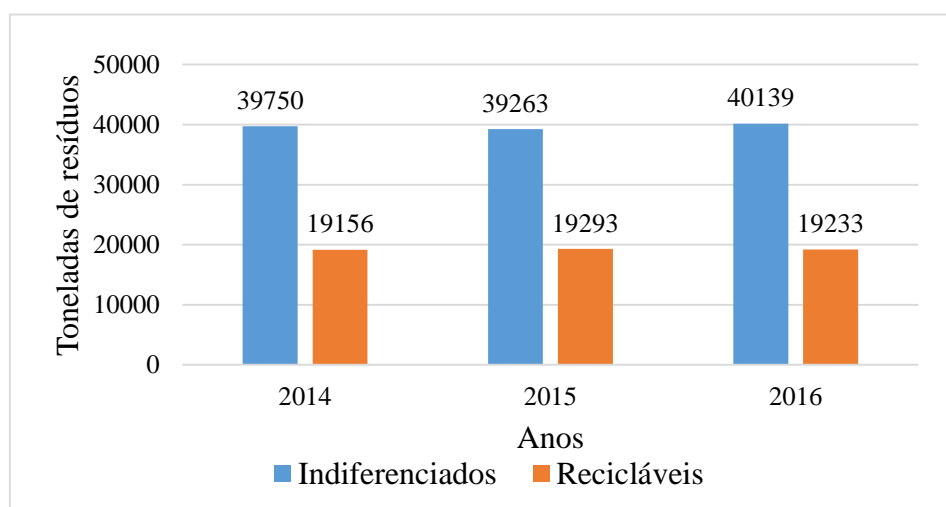


Figura 7- Quantidade de RU recolhidos entre 2014 e 2016

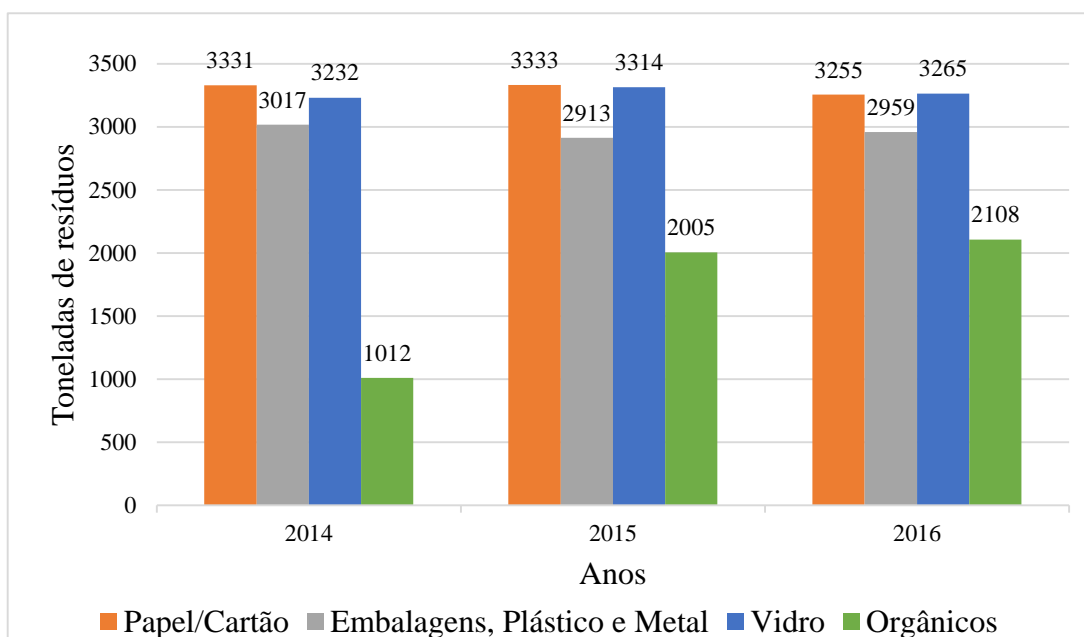


Figura 8 - Quantidade de resíduos recolhidos por tipologia entre 2014 e 2016

A empresa é autónoma financeiramente, gerando receitas através da tarifa de recolha de RU, contratos de recolha de RU, comercialização de serviços de recolha pontuais e venda de equipamento para além de um contrato de exploração celebrado entre a Maiambiente EM e a Câmara Municipal da Maia, pelo fato de desempenhar um serviço da responsabilidade da autarquia.

As necessidades de recursos da empresa são quase exclusivamente energéticos, principalmente combustíveis, uma vez que os serviços prestados têm como base a frota automóvel. Por esta razão, os combustíveis assim como a manutenção representam a maior parte dos custos da Maiambiente EM, visto que as viaturas para além de apresentarem consumos de combustível elevados, estão sujeitas a desgaste constante e intenso devido ao principal método de recolha da empresa ser porta-a-porta.

No entanto, perante esta situação, a empresa procura incorporar na sua gestão diária procedimentos de poupança de recursos e de redução do impacto ambiental, assim como manter uma política de investimentos permanentes na frota de modo a atualizar a tecnologia, o que é demonstrado através da disponibilidade da mesma para a realização deste estudo.

4.2.Frota Automóvel – Cenário de Referência

Para a realização deste estudo, e de forma a ter em consideração a constituição e as necessidades da frota automóvel da Maiambiente EM no espaço temporal de um ano e o mais próximo possível do modelo atual, foi considerado como ano de referência o ano de 2016, embora este estudo tenha sido iniciado em 2017.

Em 2016 a frota da Maiambiente EM era constituída no total por 37 viaturas todas a gasóleo, incluindo as viaturas que foram abatidas e adquiridas nesse ano, das quais 23 eram pesadas, 12 eram viaturas mistas, que se dividiam em 6 mistas ligeiras e 6 de caixa aberta e ainda 2 viaturas ligeiras de passageiros. A aquisição e o abatimento de viaturas é resultado do esforço por parte da Administração da empresa em reduzir a média de idades das viaturas e aumentar a eficiência da frota, tendo sido abatidas 7 viaturas (5 pesadas e 2 mistas) no ano de 2016, que foram consideradas para o estudo até ao momento do abate e adquiridas 4 outras viaturas (3 pesadas e 1 mista) já usadas mas com tecnologia mais recente que também foram consideradas no estudo a partir da data da sua aquisição no ano de 2016.

A idade média da frota é de 9,6 anos, valor que é influenciado maioritariamente pela frota pesada, utilizada para recolha de RU, não só por incluir o maior número de viaturas mas também por ser a tipologia com as viaturas mais antigas da Maiambiente EM.

As idades das viaturas pesadas variam entre os 2 anos e os 23 anos, sendo que mais de 50% tem 10 ou mais anos de idade. A renovação deste tipo de viaturas é dificultada pelo elevado investimento que a sua aquisição exige e por isso é um processo que ocorre pontualmente.

Relativamente às viaturas mistas de caixa aberta estas podem, ou não, ter báscula ou toldo e são usadas para a manutenção das ruas e para o serviço “Emlinha” que compreende a recolha e transporte de resíduos volumosos como mobílias e colchões, REEE (resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos), e resíduos de jardim e recolha de resíduos recicláveis em comércio. As viaturas mistas ligeiras são utilizadas para o transporte de três cantoneiros e materiais para a limpeza e manutenção das ruas e como viaturas de apoio.

Na Maiambiente EM são associados códigos às viaturas que são compostos por uma ou duas letras maiúsculas que indicam a marca do chassis (V-Volvo; N-Man para viaturas

pesadas e N-Nissan para viaturas de caixa aberta; D-Daf; M-Mercedes; T-Toyota; P-Peugeot; MI-Mitsubish; F-Fiat e Ford) e dois números que se referem aos primeiros dois números da matrícula da viatura.

Na tabela 1 é apresentado o cenário de referência, CRef, para o estudo e são descritos para cada viatura o tipo de utilização, a classe Euro, o ano da matrícula e a idade referente ao ano 2016.

Tabela 1 - Cenário de referência, CRef

	Nº	CÓDIGO	ANO	IDADE	CLASSE EURO		UTILIZAÇÃO
	VIATURAS PESADAS	1	M49	1993	23	EURO I	
2		M86	1997	19	EURO II		Rec. Seletiva
3		V03	1998	18	EURO II		Rec.Indif/Seletiva
4		V92	1998	18	EURO II		Rec.Indif/Seletiva
5		V50	1998	18	EURO II		Rec.Indif/Seletiva
6		V89	2003	13	EURO III		Rec. Seletiva
7		V20	2003	13	EURO III		Rec.Indif/Seletiva
8		D00	2003	13	EURO III		Rec.Indif/Seletiva
9		V27	2003	13	EURO III		Ecocentros
10		V96	2005	11	EURO III		Rec. Indif/Orgânicos
11		V10	2005	11	EURO III		Rec. Indif/Orgânicos
12		D25	2006	10	EURO III		Rec.Indif/Seletiva
13		D26	2006	10	EURO III		Rec.Indif/Seletiva
14		N42	2008	8	EURO III		Rec. Indif/Orgânicos
15		V71	2009	7	EURO IV		Rec. Indif/Orgânicos
16		V93	2009	7	EURO IV		Rec. Indif/Orgânicos
17		V95	2009	7	EURO IV		Rec. Indif/Orgânicos
18		V24	2009	7	EURO V		Ecocentros/Limpeza
19		M96	2010	6	EURO V		Rec.Indif/Seletiva
20		V59	2011	5	EURO V		Rec.Indif/Seletiva
21		V38	2011	5	EURO V		Rec.Indif/Seletiva
22		V39	2011	5	EURO V		Rec.Indif/Seletiva
23		V73	2014	2	EURO VI		Rec. Indif/Orgânicos
V. MISTAS E CX. ABERTA	24	N64	2003	13	Caixa Aberta	EURO 3	Apoio
	25	N66	2003	13	Caixa Aberta	EURO 3	Manutenção
	26	N68	2003	13	Caixa Aberta	EURO 3	Manutenção
	27	T03	2008	8	Cx. Aberta c/Báscula	EURO 4	Emlinha - comércio
	28	T63	2006	10	Caixa Aberta c/Toldo	EURO 4	Emlinha - comércio
	29	MI97	2009	7	Caixa Aberta c/Toldo	EURO 4	Emlinha - comércio
	30	P67	2010	6	Ligeiro Misto	EURO 5	Coordenação/Fiscalização
	31	P68	2010	6	Ligeiro Misto	EURO 5	Coordenação/Fiscalização
	32	F18	2010	6	Ligeiro Misto	EURO 5	Apoio Administrativo
	33	F91	2011	5	Ligeiro Misto	EURO 5	Manutenção
	34	F96	2011	5	Ligeiro Misto	EURO 5	Reserva
V.PASSAGEIROS	35	F75	2010	6	Ligeiro Misto	EURO 5	Reserva
	36	P59	2010	6	Ligeiro de Passageiros	EURO 5	Manutenção
	37	V13	2015	1	Ligeiro de Passageiros	EURO 6	Diretor Geral

4.3.Elaboração de Cenários

Para a elaboração de cenários foram consideradas três tecnologias diferentes para substituição da frota da Maiambiente EM, motores a gásóleo de classe Euro 6, motores a GNC e motores elétricos.

Os cenários são designados e divididos por tipo de viaturas (P- Pesadas, M- Mistas e L- Ligeiras), por tipo motores considerados como alternativa aos motores de combustão a gásóleo vigentes na frota da Maiambiente EM (D- Diesel/Gasóleo Euro 6, G- GNC e E- Elétricas) e de acordo com a norma Euro dos motores que são substituídos (1-Euro 1, 2-Euro 2, 3-Euro 3, 4- Euro 4, 5-Euro 5, 6-Euro 6). Ou seja, os cenários vão ser denominados por duas letras e um número que representam, respetivamente, o tipo de viatura, o tipo de motor proposto como alternativa e classe Euro dos motores supridos. De notar que o número indica ainda que as classe Euro inferiores também já foram substituídas.

Por exemplo, no cenário PG3 todas as viaturas pesadas Euro I, II e Euro III do CRef, foram substituídas por viaturas a GNC.

4.3.1. Viaturas Pesadas

Para as viaturas pesadas é proposta a sua substituição por viaturas mais recentes Euro VI a gásóleo (Figura 9) e a GNC (Figura 10).

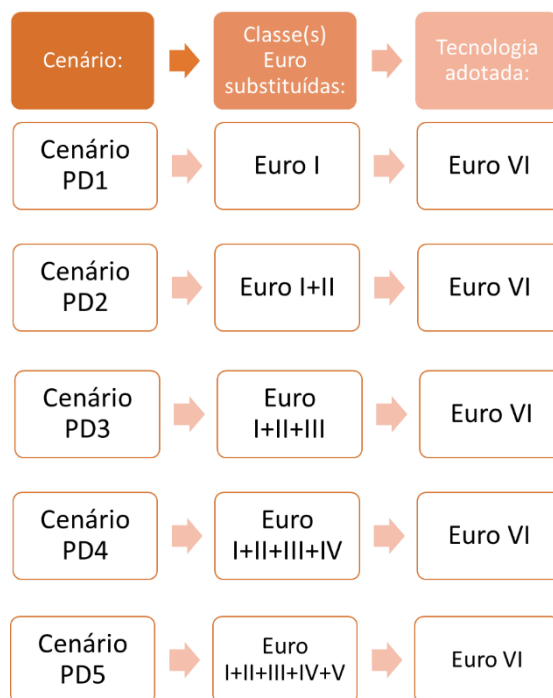


Figura 9 - Cenários de substituição de viaturas a gásóleo do CRef por viaturas a gásóleo com tecnologia Euro VI

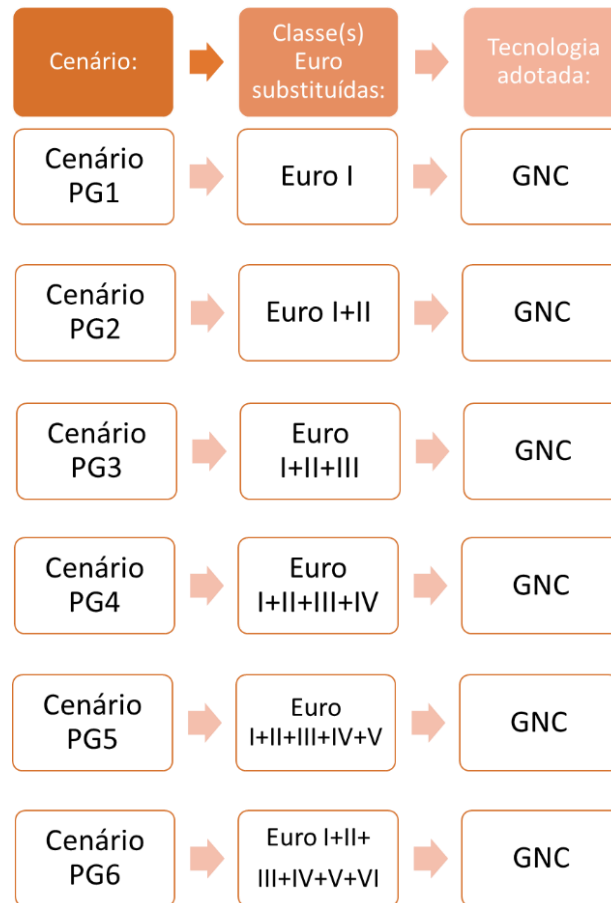


Figura 10 - Cenários de substituição de viaturas pesadas a gasóleo do CRef por viaturas a GNC

4.3.2. Viaturas Mistas

Para as viaturas mistas admitiram-se viaturas Euro 6 a gasóleo, a GNC e elétricas como alternativa de substituição, como ilustram as figuras 11, 12 e 13, respetivamente.

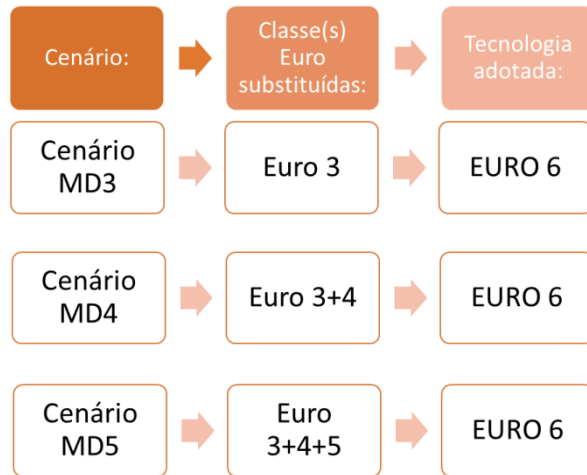


Figura 11 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas Euro 6 a gasóleo

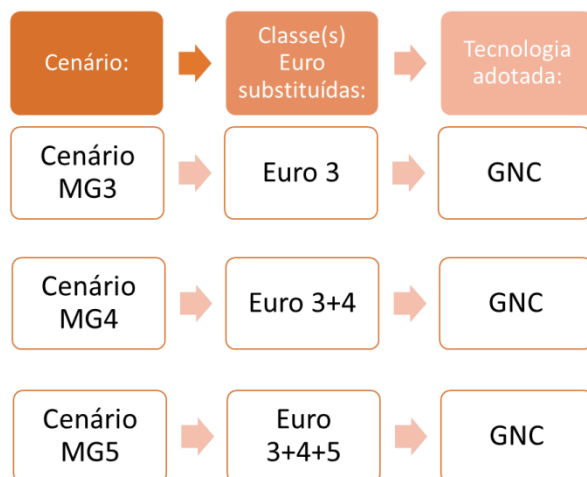


Figura 12 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas a GNC

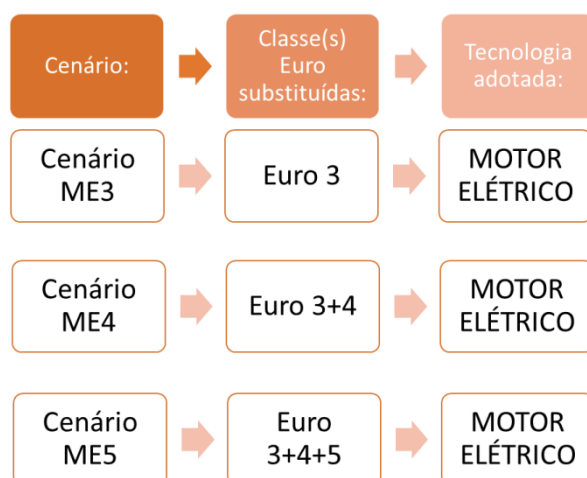


Figura 13 - Cenários de substituição de viaturas mistas a gasóleo do CRef por viaturas elétricas

4.3.3. Viaturas Ligeiras de Passageiros

Nas viaturas ligeiras de passageiros é proposta apenas a substituição das viaturas atuais por viaturas elétricas como representa a figura 14.

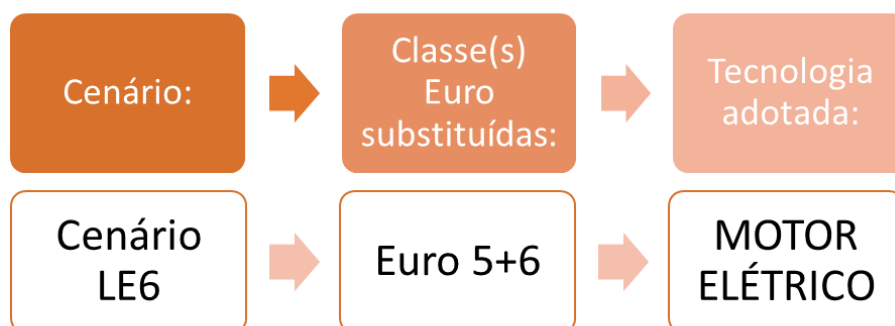


Figura 11 - Cenário de substituição das viaturas ligeiras de passageiros do CRef por viaturas elétricas

5. Avaliação técnica, económica, energética e ambiental

5.1. Avaliação Técnica

5.1.1. Regularidade e tipo de manutenção

A manutenção de viaturas pesadas, mistas ou ligeiras, abrange os órgãos de travagem, direção e suspensão, incluindo pneus, os equipamentos de iluminação, climatização e navegação e os sistemas elétrico e de transmissão. Em viaturas pesadas de recolha de resíduos as intervenções de manutenção ocorrem ainda, mais recorrentemente, a nível de estrutura, nomeadamente nos sistemas de elevação de contentores e nas gruas para recolha de resíduos de maiores dimensões.

No entanto, de acordo com o sistema de combustível instalado na viatura, quer seja a gasóleo, GNC ou um motor elétrico, as ações de manutenção abrangem ainda os componentes específicos de cada tipo de combustível, que serão responsáveis pelas principais alterações nas ações de manutenção e na sua regularidade.

No caso das viaturas Euro 6 a gasóleo, pesadas e mistas, por partilharem o mesmo sistema de combustível que o cenário de referência, as ações de manutenção preventiva e os intervalos entre elas, serão muito similares às do cenário de referência, podendo haver uma diminuição das intervenções de manutenção curativa por se tratarem de viaturas novas.

Nas viaturas a GNC, pesadas e mistas, em comparação com viaturas a gasóleo equivalentes é requerida manutenção específica dirigida ao tanque de armazenamento do combustível e às velas de ignição (Steve Josephs, 2015).

A manutenção dos dispositivos de controlo de emissões e a frequência da mudança de óleo neste tipo de viaturas é menor devido à baixa probabilidade de contaminação do óleo de lubrificação do motor por ser uma reação de combustão praticamente completa, o que também contribui para o prolongamento do tempo de vida do motor a GNC (Goyal and Sidhartha, 2003).

Na tabela 2, a título indicativo, são apresentados alguns componentes e os respetivos intervalos de manutenção preventiva dos mesmos aconselhados para um motor a GNC para viaturas pesadas.

Tabela 2 - Intervalos indicativos de manutenção de componentes do motor ISX12 G a GNC (Cummins Westport Inc., 2015)

Itens	Quilómetros (km)	Horas	Meses
Óleo e filtro do motor	40000	500	6
Filtro de refrigeração	120000	1500	12
Filtro Spin-On	80000	1000	9
Velas de ignição	120000	1500	12
Ajustamento de carga	120000	1500	12

A comparação entre a regularidade das ações de manutenção preventiva dos motores a gasóleo e dos motores a GNC é dificultada pela escassez de informação disponibilizada pelas marcas das viaturas, mas principalmente porque a pouca informação que está disponível é pouco fiável na medida em que serve apenas como indicação, uma vez que regularidade das ações de manutenção, principalmente, está diretamente relacionada com

as condições de utilização, como condução, carga, horas de utilização, condições atmosféricas, etc.

Desta forma, é aconselhado à empresa que no futuro faça um levantamento das intervenções de manutenção das viaturas que possa vir a adquirir a GNC, e tendo como referência os dados recolhidos ao longo do tempo das viaturas a gasóleo que possui e considerando as intervenções que são aconselhadas pelas marcas, fazer uma comparação interna das diferenças a nível de manutenção entre motores a gasóleo e motores a GNC e entre os intervalos teóricos e os reais entre ações de manutenção dos motores a GNC.

No entanto, para se ter uma noção real de possíveis diferenças a nível de manutenção entre viaturas pesadas a gasóleo e viaturas pesadas a GNC, pode dar-se como exemplo o município de Lisboa que possui uma frota municipal de 14 viaturas movidas a GNC para recolha de RU, e que a nível de manutenção da mesma, obteve reduções de 50% no consumo de óleo do motor, tendo duplicado os intervalos de mudança do mesmo, e reduções nos tempos de imobilização (APVGN, 2009).

Relativamente às viaturas elétricas, mistas e ligeiras, as baterias, o motor elétrico e o controlador do motor são os componentes que diferenciam um veículo elétrico de um veículo convencional e os que exigem uma manutenção diferente da convencional.

Segundo Chiaradia, 2015 a necessidade de manutenção em viaturas elétricas é também ela menor do que a das viaturas convencionais, uma vez que o motor elétrico é constituído por uma menor quantidade de partes móveis que o motor convencional para além de não existir a necessidade de trocas de óleo, anticongelante e filtros (Chiaradia, 2015).

A substituição das baterias é a intervenção mais significativa a nível de manutenção, uma vez que estas têm um tempo de vida limitado que pode variar entre os 8 e os 10 anos ou de acordo com os quilómetros percorridos, entre os 160000 km e os 200000 km (Nissan, 2017).

Embora os motores elétricos e a GNC necessitem de menos manutenção, é importante e necessário a formação dos reparadores, uma vez que estas apresentam características distintas dos motores de combustão convencional (Chiaradia, 2015).

5.1.2. Carga Acrescentada

A avaliação deste critério tem como objetivo verificar qual a influência da substituição de um tanque de gásóleo por cilindros de armazenamento de GNC ou por baterias em viaturas elétricas, no peso bruto dos veículos.

No caso do GNC, este é energeticamente menos denso que o gásóleo o que implica a utilização de um tanque de armazenamento de combustível maior para armazenar a mesma quantidade de energia (Howell and Harger, 2013).

Nos veículos a GNC o combustível é armazenado em cilindros fabricados com materiais capazes de resistir a altas pressões, tornando-os mais seguros que os tanques convencionais (Khan, Yasmin and Shakoor, 2015). Os cilindros têm várias capacidades e cargas que se podem adaptar aos diversos tipos de veículos, pesados, mistos ou ligeiros. Por norma, quanto mais caro for o cilindro mais leve é. Na tabela 3 é descrito quais os custos e o peso associados a cada tipo de cilindro, considerando que todos têm a mesma capacidade de armazenamento, sendo o cilindro do tipo 1 o mais pesado e o mais barato em comparação com restantes tipos e os cilindros do tipo 3 e 4 são os mais leves mas em contrapartida são também os mais caros.

Tabela 3 - Tipos de cilindros e carga e custos associados (Khan, Yasmin and Shakoor, 2015)

Tipo	Materiais	Peso (%)	Custo (%)
Tipo 1	Metal (alumínio ou aço)	100	40
Tipo 2	Metal reforçado com camada de vidro ou fibra de carbono parcialmente	55 – 65	80 – 95
Tipo 3	Metal reforçado com camada de vidro ou fibra de carbono em torno de todo o cilindro	25 – 45	90 – 100
Tipo 4	Plástico à prova de gás reforçado com camada de vidro ou fibra de carbono em torno de todo o cilindro	30	90

O tipo de cilindro para armazenamento de GNC deve ser escolhido de acordo com as necessidades de combustível e tendo em conta o impacto de carga extra, sendo conveniente

equilibrar a carga optando por cilindros mais pesados e menos combustível armazenado ou o contrário, principalmente em veículos ligeiros (Li, 2014). No entanto, atualmente aproximadamente 90% dos cilindros usados são do tipo 1 (Whyatt, 2010).

O modelo IVECO Eurotech MP190E26/P-CNG usado para a recolha de resíduos no município de Lisboa é equipado com oito cilindros do tipo 1 de 80 litros, tendo capacidade para armazenar no total 640 litros de combustível. Os cilindros em viaturas pesadas podem representar uma carga extra de 200 kg a 250 kg (Howell and Harger, 2013). Contudo, tendo em conta a carga que pode ser transportadas pelas viaturas de recolha e transporte de resíduos, 10 toneladas para o modelo da IVECO citado, este valor é pouco significativo.

Nos veículos mistos ligeiros a GNC pode haver uma variação do peso bruto até aos 70 kg, havendo uma perda significativa de capacidade de carga, superior a 100 kg (Fiat, 2017).

Nos veículos elétricos a autonomia depende diretamente do peso das baterias, isto é quanto mais pesadas forem as baterias maior a sua capacidade de armazenar energia e maior a sua autonomia. Dos diversos tipos de bateria que podem ser usadas nos veículos elétricos, como baterias de chumbo (PbA), níquel (NiMH) e lítio (Li-Ion), esta última é a mais utilizada por apresentar a maior eficiência energética e menor custo relativamente às outras (Bastos and Ledo, 2014). No entanto, para alcançar uma autonomia de 100 km por carga as atuais baterias de íões de lítio terão de ter um peso aproximado de 150kg, um valor que aumenta quanto maior for a autonomia requerida, assim como o seu custo (Berjoza and Jurgena, 2017). Por esta razão o peso médio de um veículo elétrico pode exceder os 200 kg em comparação com os veículos de combustão interna (Berjoza and Jurgena, 2017).

Embora haja algumas variações no peso bruto dos veículos quer a GNC quer veículos elétricos, em comparação com os veículos a gasóleo, devido à alteração do tipo de motor, é assegurado pelos fabricantes o cumprimento das especificações reguladas por lei para os pesos e as dimensões para todo o tipo de veículos.

5.1.3. Autonomia

A autonomia dos veículos é um dos critérios mais relevantes no transporte de cargas e varia de acordo com o tipo de motor instalado no veículo e de veículo para veículo.

No caso dos veículos movidos a GNC a autonomia está diretamente relacionada com a capacidade dos cilindros de armazenamento de GNC. Quanto maior a capacidade dos

cilindros mais autonomia têm os veículos a GNC. No entanto, é conveniente respeitar as especificações reguladas por lei para o peso e dimensões dos veículos o que limita o número e capacidade de cilindros de armazenamento de GNC por veículo e consequentemente a sua autonomia máxima.

Na tabela 4 são apresentados modelos de viaturas pesadas e mistas movidas a GNC presentes atualmente no mercado português e respetivas autonomias (dados fornecidos pelos fabricantes).

Tabela 4 - Modelos de viaturas pesadas e mistas existentes no mercado português e respetivas autonomias e capacidades do tanque de combustível

Tipo de Viatura	Modelo	Tanque de combustível (kg)	Autonomia (km)	Fonte
Pesado	Renault D Wide CNG	120	400	(Renault Trucks, 2015)
	Volvo FE CNG	120	250* - 400	(NGVA, 2017) (Volvo, 2017)
Misto Ligeiro	Fiat Fiorino Natural Power	13	300	(NGVA, 2017)
Misto de Caixa Aberta	Iveco Daily Cabinato Natural Power	39	440	(NGVA, 2017)

*Recolha de resíduos

Considerando que as viaturas pesadas e mistas da empresa percorrem diariamente em média 74 km e 63 km, respetivamente, as autonomias estão de acordo com as necessidades diárias da empresa.

No caso dos veículos elétricos a autonomia está relacionada com a potência das baterias e com outros fatores como a carga, velocidade e temperatura ambiente.

Atualmente existem no mercado português veículos elétricos, mistos e ligeiros, com autonomias que variam entre os 100 km e os 1000 km.

Como foi referido anteriormente os veículos mistos percorrem em média 63 km diariamente pelo que os modelos existentes no mercado têm a capacidade de satisfazer as necessidades diárias da empresa. Quanto aos veículos ligeiros de passageiros, tendo em

conta que atualmente já existem modelos com autonomias muito similares aos dos veículos a gásóleo, a autonomia deixa de ser um obstáculo para a aquisição de veículos elétricos de passageiros.

5.1.4. Fiabilidade para o serviço

As viaturas de recolha de RU são equipadas com sistemas hidráulicos que elevam os contentores e compactam os resíduos. Estes sistemas são acionados pela tomada de força transmitida pelo motor do veículo que deve estar equipado para fornecer esta potência extra de acordo com as exigências do equipamento (Volvo, 2007). A necessidade de potências extra varia entre 30 a 40 kW (Volvo, 2007).

Nos modelos de viaturas pesadas a GNC disponíveis para serviços citadinos, que incluem a recolha de RU, atualmente a potência do motor varia entre os 150 e 235 kW (Tabela 5), garantindo a fiabilidade do serviço, no entanto, é conveniente na altura de compra informar o fabricante sobre a aplicação da viatura para garantir que esta está adequadamente equipada para o serviço (NGVA, 2017).

Atualmente já existem diversas cidades mundiais como Lisboa e Madrid, em que a recolha de RU é efetuada por frotas de viaturas pesadas a GNC, onde a fiabilidade do serviço é garantida embora possa haver pequenos ajustes.

Tabela 5 - Modelos de viaturas pesadas a GNC e a respetiva máxima potência do motor. Fonte:(NGVA, 2017)

Modelo	Máx potência do motor (kW)
Volvo FE CNG	235
Scania P 280	205
Renault D Wide CNG	235
Iveco Eurocargo Natural Power (12 – 16 t)	150

Relativamente às viaturas mistas, na empresa as mistas ligeiras são usadas principalmente para distribuição das equipas de cantoneiros e material e as viaturas mistas de caixa aberta para o transporte de objetos volumosos como equipamentos elétricos e eletrónicos, sendo que a sua fiabilidade para o serviço depende da capacidade de carga das viaturas e da

autonomia, discutida no ponto anterior. As capacidades de carga de cada viatura variam de acordo com a marca e modelo.

Nas viaturas mistas ligeiras que funcionam a GNC o principal problema em termos de fiabilidade para o serviço prende-se com a perda de capacidade de carga, principalmente nos veículos mistos de caixa aberta, que em alguns modelos pode atingir os 900 kg (Fiat, 2017) (IVECO, no date) (IVECO, 2011). No entanto, esta é uma questão que pode ser ultrapassada através da gestão das cargas.

Quanto aos veículos mistos ligeiros elétricos a perda de capacidade de carga só ocorre em alguns marcas/modelos (Citroen, 2015).

Para veículos mistos de caixa aberta movidos a eletricidade não há informação disponível sobre as diferenças de carga útil.

Nos veículos ligeiros de passageiros, qualquer veículo elétrico pode substituir os veículos a gasóleo, uma vez que estes se destinam apenas ao transporte de passageiros e todos os veículos elétricos comercializados dispõem de dois ou cinco lugares para passageiros.

5.1.5. Infraestruturas existentes

A adoção de combustíveis alternativos numa frota automóvel requer a existência de fontes de fornecimento de combustível e de estações de abastecimento, para além de ser importante adaptar as infraestruturas de manutenção.

Atualmente a empresa tem um contrato com a Galp, empresa de abastecimento de combustíveis que lhes garante um desconto fixo por cada litro de gasóleo e o abastecimento é feito em qualquer estação de abastecimento Galp. Com a adoção de GNC, este tipo de contrato pode continuar a ser celebrado com a Galp, uma vez que esta é a detentora da única estação de abastecimento de GNC pública no concelho do Porto. A estação de abastecimento de GNC da Galp localiza-se aproximadamente a 7 km da Maiambiente. Esta situação é uma desvantagem relativamente ao uso do combustível tradicional porque a distância para uma estação de abastecimento de gasóleo é muito menor.

Relativamente ao abastecimento de veículos elétricos, é da vontade da Maiambiente a instalação de postos de abastecimento no recinto da empresa para abastecimento da frota da empresa durante o período de paragem das viaturas e inclusive para abastecimento público.

5.2. Avaliação Energética

5.2.1. Consumo de combustível

O consumo de combustíveis, gasóleo, GNC e eletricidade, foi calculado considerando as distâncias percorridas pela frota no ano de 2016 e assumindo-se que estas se mantêm iguais, qualquer que seja o combustível utilizado para as percorrer.

Nos veículos pesados e mistos a gasóleo a substituição por viaturas homólogas de classe Euro 6 também a gasóleo, não afeta o consumo de combustível anual. A alteração da classe Euro nas viaturas só influencia as emissões de poluentes para atmosfera, sendo que quanto maior for a classe Euro mais restrita é a quantidade de poluentes emitidos pelos próprios veículos para a atmosfera. O consumo pode ser diferente, maior ou menor, mas essa questão está relacionada com as marcas e modelos das viaturas que possam ser adquiridos e com a variação das cargas, o tipo de condução e manutenção, fatores que não serão tidos em conta neste critério de avaliação.

Contudo, é de notar que o consumo de combustível tende a ser menor quanto maior for a classe Euro mas devido apenas ao desenvolvimento tecnológico e à vontade das marcas em melhorar a eficiência dos veículos, não estando de todo relacionado com a classe Euro.

Nas viaturas pesadas o consumo de gasóleo anual em 2016 foi de 220118 kg, o que resultou num consumo médio de 0,516 kg de gasóleo por quilómetro, valor de consumo que foi também considerado para as viaturas Euro VI.

Relativamente ao consumo de GNC por quilómetro, foi considerado o valor real de 0,380 kg/km, consumo de GNC em viaturas pesadas adquiridas pela empresa durante este estudo o que totaliza um gasto de 162162 kg/ano de GNC.

Na substituição da frota pesada por veículos a GNC, a diminuição do consumo de gasóleo é gradual, sendo que a maior descida ocorre com a substituição das viaturas Euro III, a classe com maior número de viaturas, 9. É no cenário PG3 que o consumo de gasóleo diminui para menos metade, com a substituição de 14 viaturas das classes Euro I, II e III, ou seja, as restantes viaturas das classes Euro IV, V e VI, 9 no total, são responsáveis por 49% do consumo anual de gasóleo como demonstra o gráfico da figura 15.

Na figura 15 as percentagens de consumo de gasóleo têm como referência o consumo total de gasóleo em 2016 pela frota e as percentagens de consumo de GNC são referentes à quantidade total de GNC necessário para abastecer toda a frota pesada.

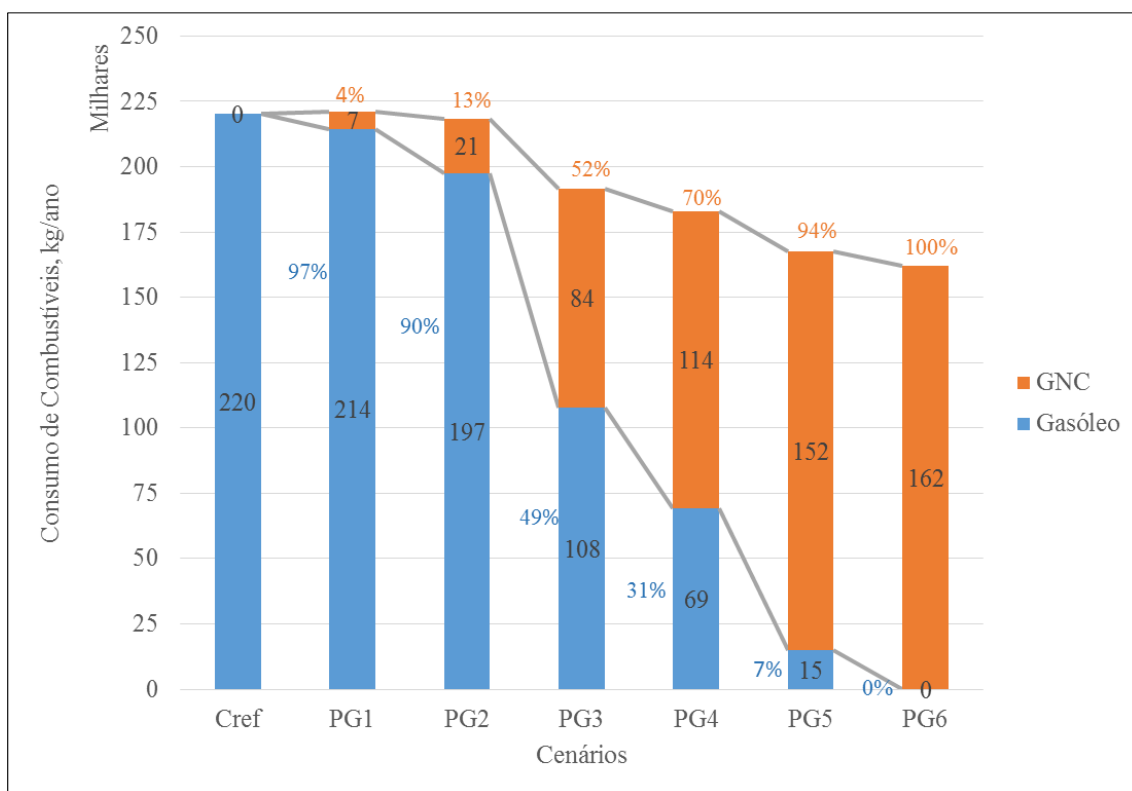


Figura 12 - Consumo de gasóleo e GNC anual em viaturas pesadas

Relativamente à substituição das viaturas mistas por viaturas homólogas de classe Euro 6, o consumo de gasóleo permanece inalterado, como acontece com as viaturas pesadas, sendo que as viaturas mistas consomem em média 0,074 kg/km de gasóleo e percorrem 189736 km anualmente, o que totaliza 13994 kg de gasóleo gasto por ano.

Nas viaturas mistas a GNC, o seu consumo é dividido por viaturas mistas de caixa aberta e viaturas mistas ligeiras ou sem caixa, cujo consumo de gasóleo é 0,089 kg/km e 0,044 kg/km, respetivamente (NGVA, 2017). O total anual de consumo de GNC para as viaturas mistas é de 11719 kg.

A substituição de viaturas mistas, idealizada pelos cenários MG3 e MG4, reduz o consumo de gasóleo para menos de metade como mostra a figura 16.

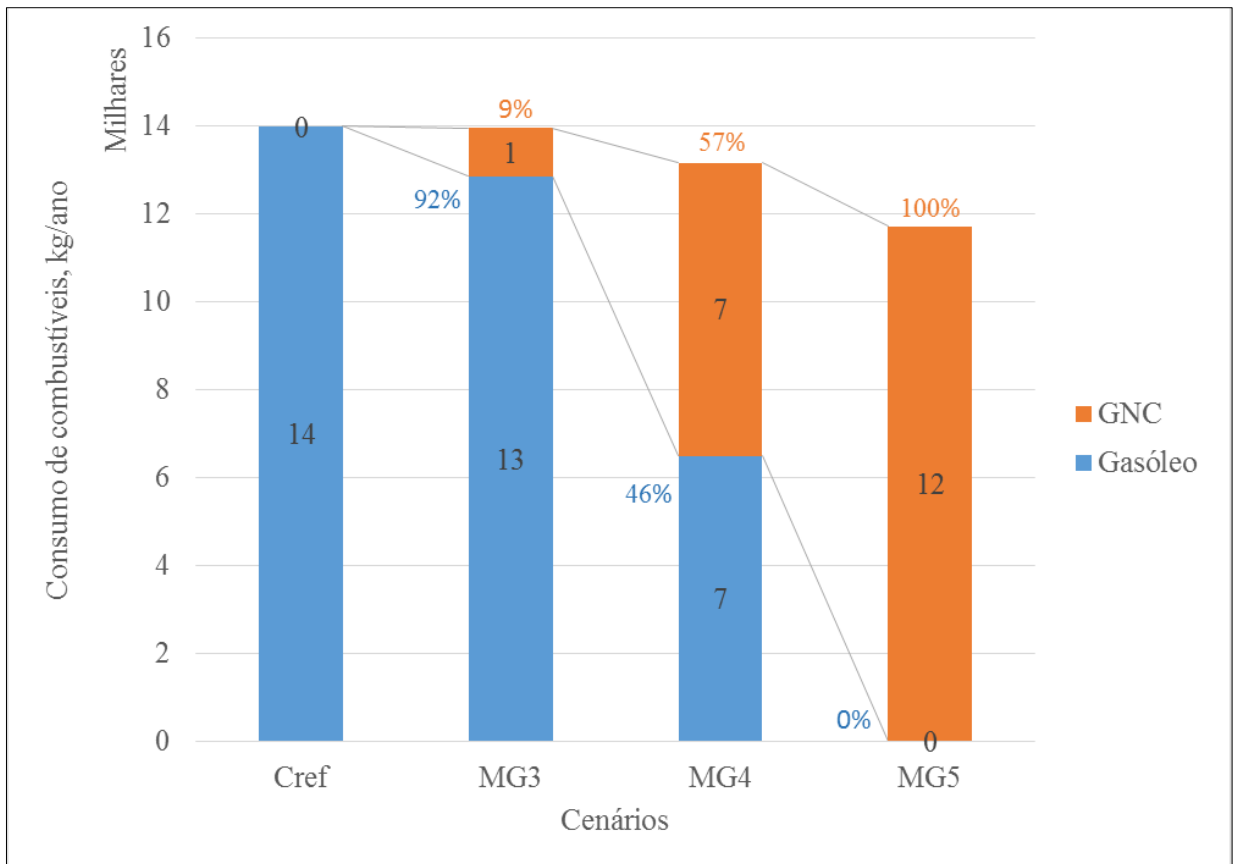


Figura 13- Consumo de gasóleo e GNC anual em viaturas mistas

Quanto à substituição da frota de viaturas mistas por viaturas elétricas considerou-se o consumo de eletricidade por viatura 0,51 MJ/km, o que resulta num consumo anual de 96765 MJ com a substituição total da frota mista como mostra a figura 18 (Kromer and Heywood, 2007).

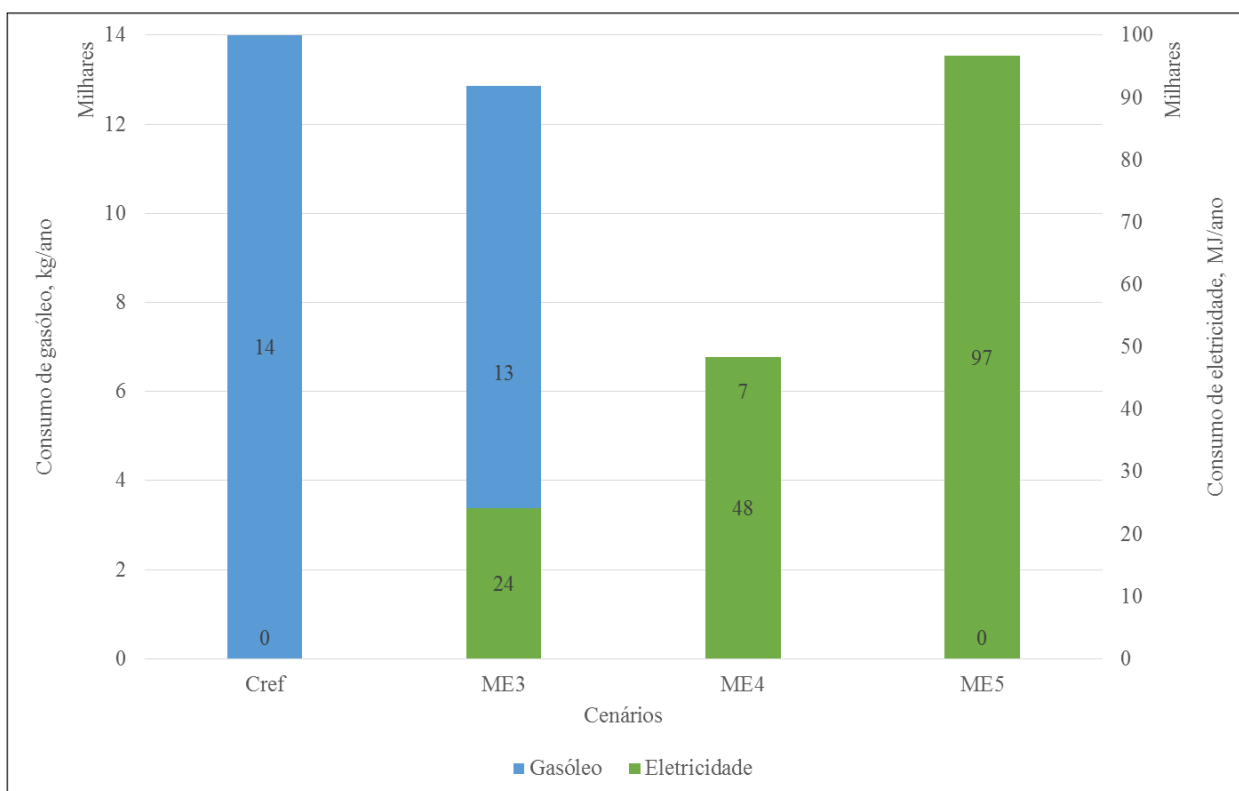


Figura 14- Consumo de gásóleo e eletricidade anual em viaturas mistas

Já nos veículos ligeiros de passageiros a energia elétrica necessária para alimentar as duas viaturas ligeiras é cerca de 14219 MJ por ano, o que equivale a um consumo assumido de 0,52 MJ/km por viatura (Wolfram and Lutsey, 2016).

O consumo de gásóleo anual das viaturas ligeiras é de 0,062 kg/km o que totaliza 1685 kg por ano.

5.2.2. Segurança no abastecimento

Apesar de ser a fonte de energia mais utilizada mundialmente, o petróleo tem uma distribuição geográfica assimétrica. Segundo a *BP Statistical Review of World Energy 2017* as reservas comprovadas de petróleo localizam-se nas regiões do Médio Oriente (47,7%), da América do Sul e Central (19,2%), da América do Norte (13,3%), da Europa e Euro-Ásia (9,5%), da África (7,5%) e da Ásia do Pacífico (2,8%) (BP, 2017a)

Em 2016, o petróleo bruto importado por Portugal teve origem, principalmente, de países africanos e asiáticos, que representaram 37,2% e 55,5% das importações de crude,

respetivamente (DGEG, 2017). Na tabela 6 é apresentada a quantidade de petróleo bruto importado por Portugal, em toneladas nos anos de 2015 e 2016 e os respetivos países de origem.

Tabela 6 - Quantidade (ton) de petróleo bruto importado por Portugal e respetivos países de origem
(Fonte:(DGEG, 2017))

Região	País	Petróleo Bruto Importado (ton)	
		2015	2016
África	Angola	3 145 059	3 503 231
	Argélia	1 299 132	1 003 446
	Camarões	656 431	253 475
	Gana	388 988	130 023
	Guiné Equatorial	549 175	274 923
	Gabão	129 112	130 260
	Nigéria	265 710	-
	República do Congo	621 511	-
Total África		7 055 118	5 295 358
América Central	Brasil	703 729	424 488
Total América Central		703 729	424 488
América do Norte	México	273 268	406 079
Total América do Norte		273 268	406 079
Europa e Euro-Ásia	Azerbaijão	1 236 434	1 563 463
	Cazaquistão	1 450 878	1 310 362
	NW Europa	249 098	207 809
	Rússia	643 368	2 772 969
Total Europa e Euro-Ásia		3 579 778	5 854 603
Médio Oriente	Iraque	292 531	712608
	Arábia Saudita	1 955 439	1526028
Total Médio Oriente		2 247 970	2 238 636

Como se pode observar na tabela, em 2016 houve um aumento da importação de petróleo bruto de origem asiática, principalmente da Rússia que mais que quadruplicou a quantidade de petróleo importado proveniente desse país. Em contrapartida a região africana teve uma perda de mercado na ordem dos 24,9%, deixando de ser o principal fornecedor de petróleo bruto de Portugal (DGEG, 2017).

Um dos problemas associados à distribuição mundial do petróleo para além da desigualdade das reservas é a sua localização em regiões suscetíveis a conflitos bélicos e políticos que podem por em causa a segurança no abastecimento de petróleo, e resultar no aumento exponencial do preço dos combustíveis mesmo quando a procura é normal. Esta é mais uma das razões que tem incitado a procura de novas fontes de energia cujo abastecimento seja assegurado continuamente.

No caso do GN, o Relatório de Monitorização da Segurança no Abastecimento do Sistema Nacional de Gás Natural elaborado pela DGEG analisou a segurança no abastecimento em Portugal para cenários de procura normal e elevada de GN e em caso de rutura das interligações de fornecimento. Da análise feita a DGEG constatou que tal como acontece com o petróleo, Portugal deve procurar importar GN de diversos países de forma a reduzir a sua dependência de países politicamente instáveis, como é o caso da Nigéria e da Argélia, únicos fornecedores de Portugal, e de forma a aumentar a sua capacidade de resposta em cenários de procura elevada, principalmente a longo prazo. Conclui também que seja qual for o nível de procura, normal ou elevado, a segurança no abastecimento está assegurada pelo SNGN (Sistema Nacional de Gás Natural), exceto se ocorrer alguma falha no Terminal de Gás Natural Liquefeito de Sines, a maior infraestrutura de abastecimento de GN (DGEG, 2017).

No entanto, o petróleo é o combustível mais seguro a nível de abastecimento, uma vez que são dezasseis os países que exportam petróleo para território nacional enquanto o gás natural é importado apenas de dois países, o que aumenta a probabilidade de o seu abastecimento ser interrompido.

A nível mundial, também o Médio Oriente é detentor de grande parte das reservas mundiais de gás, 42,5%, seguindo-se a Europa e a Euro-Ásia com 30,4% das reservas, Ásia do Pacífico com 9,4%, África com 7,8% e América do Norte, Central e do Sul com 6% e 4,1%, respetivamente (BP, 2017a).

5.3. Avaliação Económica

5.3.1. Investimento inicial

A substituição da frota automóvel exige um investimento inicial para a aquisição de veículos novos ou usados. Este investimento pode ou não ter o contributo de apoios comunitários, contudo, para a realização deste estudo não foram considerados quaisquer apoios. Deste modo, o cálculo do investimento inicial para cada cenário foi feito considerando os valores do mercado de veículos capazes de satisfazer as necessidades da empresa. É de ressaltar que os valores apresentados podem sofrer variações, uma vez que estes dependem da marca, características estruturais e especificações de cada veículo, que também não são tidas em conta neste estudo.

Na tabela 7 são apresentados os preços, a título indicativo, de aquisição de veículos novos por tipo de veículo de acordo com o combustível usado no mesmo, que servirão de base para o cálculo do investimento inicial necessário para cada cenário.

Tabela 7 - Preços por tipo de viatura e respetivo combustível

Tipo de Viatura	Combustível	Preço da Viatura (€)	Fonte
Pesado	Euro 6 - Diesel	117 000-139 500	(Autoline, 2018)
	GNC	152 000	(Maiambiente, 2018)
Misto c/caixa aberta	Euro 6 - Diesel	25 608	(Mercedes Benz, 2018)
	GNC	45 800	(APVGN, 2009)
	Elétrico	85 608	(Schiller, Maier and Büchle, 2017)
Misto Ligeiro	Euro 6 - Diesel	11 377	(Fiat Professional, 2017)
	GNC	15 010	(APVGN, 2009)
	Elétrico	20 300	(Veículos Elétricos, 2018)
Ligeiro	Elétrico	21 805	(Veículos Elétricos, 2018)

O valor considerado para as viaturas mistas com caixa aberta elétricas, por falta de valores concretos, têm como base o estudo de Schiller, Maier and Büchle, 2017, que afirma que estes têm um custo adicional de aquisição aproximado de 60000 euros relativamente aos veículos movidos a gasóleo.

Nas viaturas a GNC também pode-se considerar a sua conversão de gasóleo para GNC, embora seja um mercado ainda em fase embrionária em Portugal. Os valores de conversão podem variar entre 34500 euros e os 52000 euros para as viaturas pesadas, e entre os 5200 e 13000 euros para as viaturas mistas (Whyatt, 2010)

Nas figuras 18 e 19 e são apresentados os valores correspondentes ao investimento inicial necessário para cada cenário para viaturas pesadas e mistas.

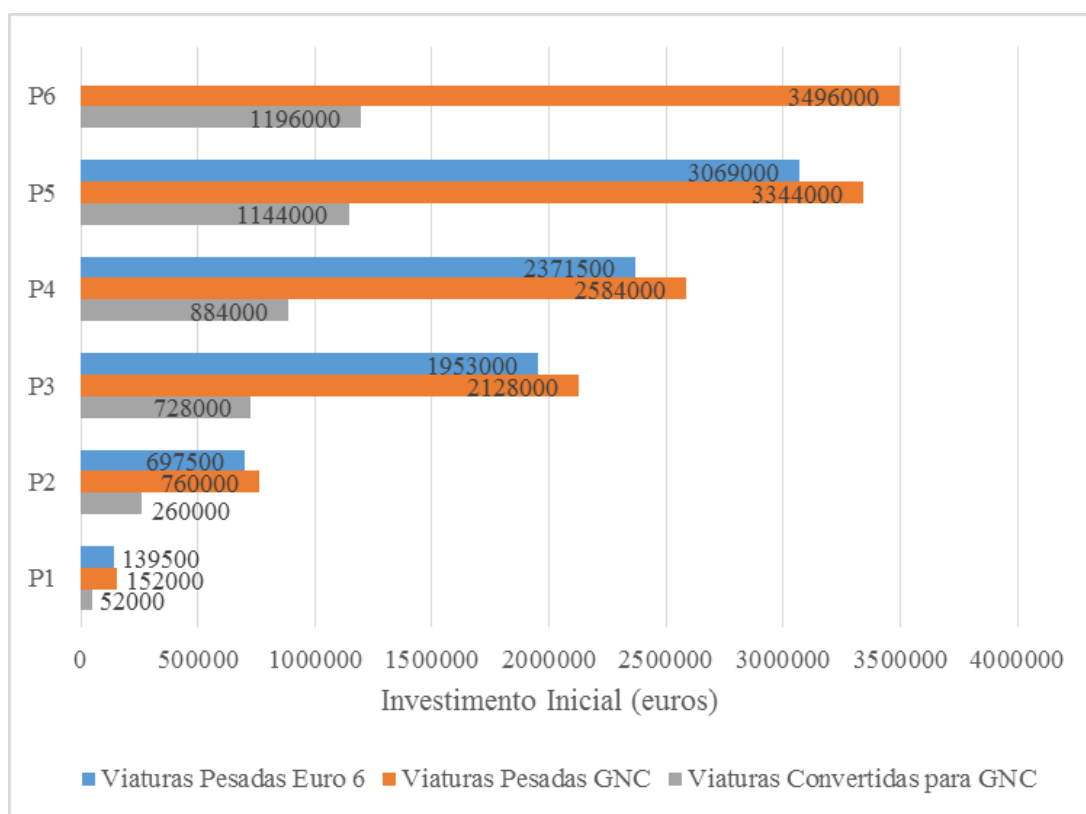


Figura 15 - Investimento inicial para substituição de viaturas pesadas por viaturas pesadas Euro 6 e a GNC e por viaturas convertidas para GNC

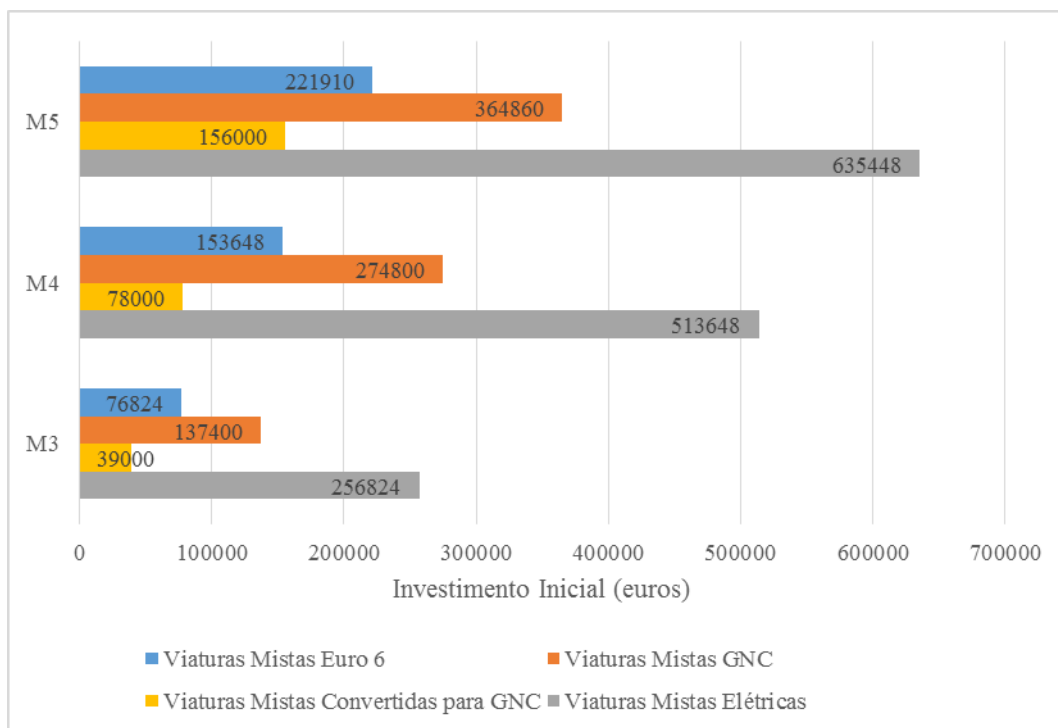


Figura 19 - Investimento inicial para substituição de viaturas mistas por viaturas mistas Euro 6, a GNC e elétricas e por viaturas convertidas para GNC

Na figura 18 pode-se verificar que em todos os cenários, a aquisição de viaturas a GNC é a opção que exige investimentos mais altos, contudo se se optar pela conversão das viaturas já existentes na frota a gasóleo para GNC o investimento reduz para menos de metade, até mesmo quando comparado com o investimento de aquisição de viaturas novas Euro 6.

Nas viaturas mistas a conversão das viaturas a gasóleo para GNC também diminui o investimento inicial para quase metade e são as viaturas elétricas que exigem maior investimento, como demonstra a figura 19.

O preço reduzido das viaturas Euro 6 a gasóleo quando comparado com as outras tecnologias é resultado do enraizamento deste combustível na sociedade, denotando-se que quanto mais recente é a tecnologia e por isso menor a oferta, mais caros são os veículos, tal como acontece com as viaturas a GNC e elétricas. No entanto, este cenário poderá se reverter a longo prazo com o aumento da oferta.

Nas viaturas ligeiras, o único cenário proposto neste estudo foi a substituição da frota ligeira, composta por duas viaturas, por viaturas elétricas, o que exige o investimento de 43 610€.

Como o objetivo da empresa a longo prazo é acompanhar as tendências nacionais e europeias e reduzir o máximo possível o seu impacto ambiental o caminho mais certo será a substituição total da frota automóvel pelas propostas apresentadas neste estudo. Deste modo, na tabela 8 é apresentado o investimento inicial total resultado da combinação dos cenários em que as viaturas de cada categoria são todas substituídas por veículos Euro 6 a gasóleo, ou a GNC ou elétricos, nomeadamente os cenários, PD5, PG6, MD5, MG5 e ME5, considerando-se que independentemente da combinação dos cenários citados é considerada a total substituição dos veículos ligeiros por veículos ligeiros elétricos.

Tabela 8 - Investimento inicial para a combinação de diferentes cenários

	PD5	PG6	PG6 Convertidas	
MD5	3 334 520 €	3 761 520 €	1 461 520 €	LE6
MG5	3 477 470 €	3 904 470 €	1 604 470 €	
MG5 Convertidas	3 268 610 €	3 695 610 €	1 395 610 €	
ME5	3 748 058 €	4 175 058 €	1 875 058 €	

Na tabela 8 é possível observar que a substituição da frota pesada e mista por veículos a Euro 6 a gasóleo é o cenário mais barato caso se optar pela substituição por viaturas novas, existindo uma diferença de 569 950€, se a substituição das mesmas viaturas fosse para GNC. Esta diferença aumenta ainda mais se a substituição das viaturas mistas novas fosse para elétricas.

Contudo se consideramos a conversão das viaturas pesadas para GNC o investimento total pode ser reduzido em menos de metade alcançando diferenças superiores a 2 000 000€, como se pode verificar na tabela 8.

5.3.2. Custos associados ao consumo de combustível

Na tabela 9 apresentam-se os consumos de gasóleo e de GNC para cada cenário de substituição de viaturas pesadas e os respetivos custos associados a cada combustível anualmente. Como já foi referido no capítulo 5.2.1 considerou-se que a alteração da classe Euro não afeta o consumo de combustível e por isso o consumo de gasóleo e o seu custo no cenário de referência é igual para os cenários PD. Os custos dos combustíveis foram

calculados considerando 0,890 €/Nm³ para o GNC e 1,127 €/L para o gasóleo, valores médio referentes ao ano de 2016 (DGEG, 2018).

Nas tabelas 9 e 10 são apresentados os consumos e os custos anuais de gasóleo e GNC associados às viaturas pesadas e mistas, respetivamente, para percorrerem o mesmo número de quilómetros do cenário de referência.

Tabela 9 - Consumo e custos anuais de gasóleo e GNC para viaturas pesadas

	Gasóleo (L/ano)	Custo Gasóleo (€/ano)	GNC (Nm ³ /ano)	Custo GNC (€/ano)	Diferença
Cref e Cenários PD	262046	295326	0	0	93271 € ↓ 32 %
P1	255289	287711	9195	8183	
P2	235041	264891	29309	26085	
P3	128339	144639	117131	104247	
P4	82313	92767	159078	141579	
P5	17962	20243	213427	189950	
P6	0	0	227027	202054	

Tabela 10 - Consumo e custos anuais de gasóleo e GNC para viaturas mistas

	Gasóleo (L/ano)	Custo Gasóleo (€/ano)	GNC (Nm ³ /ano)	Custo GNC (€/ano)	Diferença
Cref e Cenários MD	16659	18775	0	0	4173 € ↓ 22 %
M3	15314	17259	1525	1358	
M4	7738	8721	9333	8306	
M5	0	0	16407	14602	

Em ambas as tabelas é possível verificar que a substituição de gasóleo por GNC é vantajosa do ponto de vista económico a nível de consumo de combustível, havendo uma redução de 32 % nos custos de combustível para as viaturas pesadas e de 22% para as viaturas mistas.

Para o estudo dos custos associados às viaturas mistas e ligeiras elétricas, o preço da eletricidade considerado foi de 0,235 €/kWh, apresentando-se os resultados na tabela 11.

Tabela 11 - Consumo e custos de eletricidade para viaturas mistas e ligeiras elétricas

	Eletricidade (MJ/ano)	Eletricidade (kWh/ano)	Custo Eletricidade (€/ano)	Diferença
ME3	24191	6720	1579	12 459 €
ME4	48383	13440	3158	↓
ME5	96765	26879	6317	66 %
LE6	14219	3950	928	971 € ↓ 51 %

Da tabela 11 pode-se também constatar que a substituição da frota mista e ligeira por veículos elétricas é vantajosa, havendo reduções na ordem dos 66% e 51%, respetivamente. Desta forma, é possível concluir que a nível de custos no consumo de combustíveis é preferível optar pela substituição das viaturas mistas a gásóleo por viaturas mistas elétricas em vez de viaturas a GNC, existindo uma poupança duas vezes superior.

5.3.3. *Payback time*

A decisão de substituir a frota numa empresa deve ser sustentada por benefícios financeiros que permitam a viabilidade financeira da mudança.

Neste subcapítulo será calculado o período de tempo que o capital investido em cada cenário demorará para ser recuperado (*payback time*), considerando as poupanças anuais em combustíveis de cada cenário, apresentadas no subcapítulo anterior.

Para o cálculo do *payback time* simples dividiu-se o investimento correspondente a cada cenário apreseto no subcapítulo 5.3.1, pela poupança anual em combustíveis, resultante da substituição ou conversão das viaturas.

Este indicador não foi considerado para a avaliação de cenários de substituição de viaturas pesadas e mistas por viaturas Euro 6, uma vez que o consumo de gásóleo mantém-se igual, não havendo poupanças a nível económico.

Na tabela 12 é apresentado o *payback time* em anos para cada cenário de substituição de viaturas pesadas por viaturas análogas a GNC novas, e na tabela 13 é apresentado *payback time* para os mesmos cenários mas considerando a conversão das viaturas da frota para GNC.

Tabela 12 - Payback time para os cenários de substituição de viaturas pesadas a gasóleo por viaturas novas a GNC.

	Investimento (€)	Poupança (€)	<i>Payback</i> (anos)
PG1	152000	-568	-
PG2	760000	4349	175
PG3	2128000	46440	46
PG4	2584000	60979	42
PG5	3344000	85133	39
PG6	3496000	93271	37

Tabela 13 - Payback para os cenários de conversão de viaturas pesadas a gasóleo para GNC

	Investimento (€)	Poupança (€)	<i>Payback</i> (anos)
PConvG1	52000	-568	-
PConvG2	260000	4349	60
PConvG3	728000	46440	16
PConvG4	884000	60979	14
PConvG5	1144000	85133	13
PConvG6	1196000	93271	13

Na tabelas 12 e 13 é possível observar que no cenário PG1 não existe poupança inerente à mudança do combustível, resultado que pode ser explicado pelo baixo consumo de gasóleo da única viatura substituída neste cenário, 0,3284 kg/km quando comparado com o consumo médio das viaturas pesadas a gasóleo 0,516 kg/km. Além disso o consumo de GNC assumido para viaturas pesadas é superior ao consumo de gasóleo da viatura, 0,38 kg/km, o que resulta num gasto superior em GNC se se optar pela sua substituição ou conversão da viatura em questão.

No cenário PG2 embora exista uma diferença positiva na poupança em combustíveis esta é relativamente baixa quando comparada com os restantes cenários também devido ao fato das viaturas Euro II apresentarem consumos de gasóleo abaixo da média que variam entre os 0,1755 kg/km e os 0,4898 kg/km.

Os consumos das viaturas Euro I e Euro II, substituídas nos cenários PG1 e PG2, ao contrário do que seria de esperar, são inferiores aos das viaturas com tecnologia mais recente, questão que pode estar relacionada com fatores como a manutenção, o tipo de condução, o tipo de carga e os percursos realizados ou com a marca que é comum a ambas as viaturas.

Da tabela 13 pode-se concluir que a compra de viaturas novas a GNC não é economicamente viável em qualquer um dos cenários propostos, uma vez que apresentam um período de retorno de investimento muito longo.

No entanto, tal como demonstra a tabela 13 apesar da conversão de viaturas para GNC exigir um investimento menor, esta só é economicamente viável nos cenários em que se converte mais de metade das viaturas. De referir que estes valores foram obtidos calculando o investimento com o limite superior da gama para a conversão, pelo que será expectável que na situação mais favorável se obtenham valores mais baixos para este indicador económico. Por exemplo para o cenário PG6 Conv. este cálculo conduziria a 9 anos.

Na tabela 14 são apresentados os valores referentes ao investimento e poupança anual em combustíveis e respetivo *payback time* para cada cenário de substituição e conversão de viaturas mistas.

Tabela 14 - Payback time para os cenários de substituição e conversão de viaturas mistas a gasóleo para GNC

	Investimento (€)	Poupança (€)	Payback (anos)
MG3	137400	159	864
MG4	274800	1748	157
MG5	364860	4173	87

MConvG3	39000	159	245
MConvG4	78000	1748	45
MConvG5	156000	4173	37

ME3	256824	-63	-
ME4	513648	6896	74
ME5	635448	12459	51

Para os cenários propostos de substituição e conversão de viaturas mistas a gasóleo para viaturas a GNC o *payback time* tem valores muito elevados e por isso não são cenários economicamente viáveis.

Para recuperar o capital investido num veículo elétrico ligeiro para substituir o veículo a gasóleo seriam necessários 45 anos, uma vez que o capital investido ascende 43 610 euros e a poupança anual é apenas de 971 euros anuais, o que torna o investimento não viável também. No entanto, também aqui poderá haver um decréscimo deste indicador se o custo da eletricidade for mais baixo. De qualquer das formas mesmo considerando um valor de 0,157 €/kWh, que é um dos valores mais baixos que tem sido referido, o período de retorno será de cerca de 30 anos.

5.3.4. Variação dos preços dos combustíveis

Uma das questões que mais tem impulsionado a procura de alternativas ao petróleo é o constante aumento do preço dos combustíveis derivados do mesmo. Na figura 20 está representada a evolução do preço do gasóleo e da eletricidade desde 2004 e o preço do GNC em Portugal continental de 2015 a 2017.

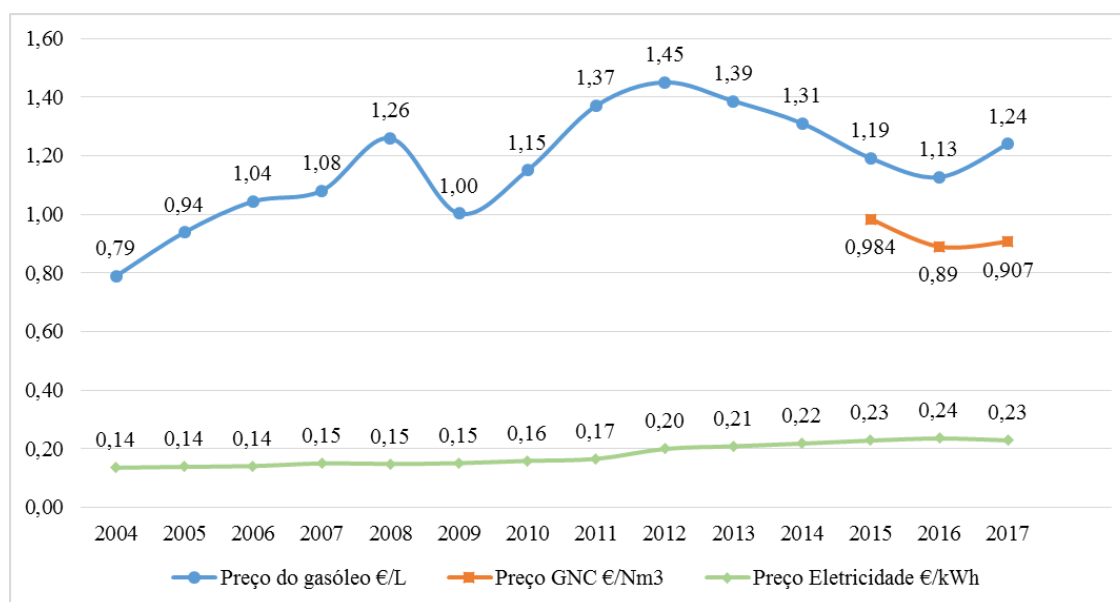


Figura 16 - Variação do preço do gásóleo e da eletricidade em Portugal desde 2004 até 2016 e do preço do GNC entre 2015 e 2017. Fonte:(DGEG, 2018)

Segundo Thomas Schiller, Michael Maier, 2017, até 2026 o preço do gasóleo e do GNC tende a aumentar 30% e 14% do valor de 2016, respetivamente (Schiller, Maier and

Büchle, 2017). Caso esta tendência se verifique, ambos os combustíveis poderão atingir valores superiores aos registados até agora em Portugal Continental. Para o gasóleo o preço rondará 1,47€ e para o GNC 1,08€.

Contudo, esta previsão pode variar uma vez que o preço do petróleo pode sofrer flutuações, podendo aumentar devido ao surgimento de conflitos políticos e bélicos nas regiões onde se localizam as reservas do petróleo, ou também devido à desvalorização do euro, podendo também diminuir caso surjam novas reservas comprovadas. Desde 2004 o preço do gasóleo aumentou 57% no total.

5.4. Avaliação Ambiental Segundo a Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia de investigação e avaliação dos impactes ambientais causado por um determinado produto ou serviço no decorrer da sua existência.

A metodologia ACV engloba quatro diferentes fases: definição de âmbito, inventário, avaliação de impactes e interpretação.

A definição de âmbito consiste na definição do objetivo e utilização da metodologia ACV, e inclui a descrição do sistema e dos seus limites e dos fluxos e funções que ocorrem no sistema. As fases do inventário e a avaliação de impactes, envolve a recolha de dados relativos às entradas e saídas do sistema e a sua conversão em indicadores para cada categoria de impacto selecionada, respetivamente. Na avaliação de impactes seleciona-se o método para a avaliação dos impactes ambientais e as categorias consideradas de acordo com os objetivos definidos.

A interpretação consiste na análise dos resultados do inventário e da avaliação de impactes em torno dos objetivos do estudo para formar conclusões.

A utilização da metodologia ACV neste estudo tem como principal objetivo analisar os impactes ambientais gerados pelo consumo e utilização de gasóleo, GNC e eletricidade na frota automóvel da Maiambiente, em cada um dos cenários propostos no capítulo 4.3.

Foram, portanto, considerados para este estudo a produção e consumo de combustível, a produção de eletricidade e as emissões associadas ao uso das viaturas.

A base de dados utilizada para este estudo foi a Ecoinvent e o SimaPro 8.5.2.0. e o método para a avaliação de impactes escolhida foi o “IMPACT 2002+” que considera doze categorias de nível médio para quatro categorias de danos. Esta metodologia foi escolhida porque expressa em pontos os impactes ambientais para as categorias de danos o que facilita a análise dos mesmos. No entanto esta metodologia tem a desvantagem de considerar que as categorias de danos igualmente importantes, sendo elas: a saúde humana, qualidade dos ecossistemas, alterações climáticas e recursos.

O sistema em estudo considera os combustíveis utilizados e a combustão do gasóleo e do GNC no motor, a produção de energia elétrica utilizada pelos veículos elétricos para realização de serviços da empresa e os produtos que resultam destes processos, nomeadamente os recursos utilizados e os poluentes emitidos para atmosfera, sendo uma ACV da fonte até à roda ou *well-to-wheel*.

Os dados para este estudo foram fornecidos pela empresa para elaboração do cenário de referência assim como os consumos reais de gasóleo para todo o tipo de viaturas. Os restantes dados como fatores de emissão e consumos de GNC e de eletricidade foram obtidos a partir da literatura disponível (Kromer and Heywood, 2007; Werpy *et al.*, 2010; Willner and Danielsson, 2014; Wolfram and Lutsey, 2016; NGVA, 2017) .

5.4.1. Depleção de Recursos

Nas tabelas 15, 16, 17, 18, 19 e 20 apresentam-se as quantidades de combustível usada em cada cenário e os respetivas emissões referentes apenas ao consumo de combustíveis e energia elétrica, não estando incluídas as emissões inerentes à produção dos mesmos.

Essas emissões foram consideradas no cálculo dos impactos ambientais associados a cada uma das categorias de dano e no cálculo do indicador global, tal como já referido anteriormente.

Os valores apresentados foram inseridos na base de dados em gramas (g) no entanto para apresentação de valores alguns foram convertidos a quilogramas e no caso do CO₂, a toneladas.

Tabela 15 - Inventário relativo às emissões do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas Euro 6

	CRef	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5
CO (kg/ano)	320	303	256	40	40	40
NMVOOC (kg/ano)	62	56	46	4	4	4
NO _x (kg/ano)	1844	1757	1481	561	292	162
N ₂ O (kg/ano)	6,3	6,7	7,7	12,3	13,9	13,8
NH ₃ (kg/ano)	2,2	2,4	2,7	4,1	4,7	4,7
Pb (g/ano)	4,29	4,28	4,26	4,15	4,15	4,15
CO ₂ (ton/ano)	691,4	691,4	691,4	691,4	691,4	691,4
PM _{2,5} (kg/ano)	33,2	30	24,1	3,9	2,9	0,5
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
B(k)F (g/ano)	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
B(b)F (g/ano)	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
B(a)P (g/ano)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	220118	220118	220118	220118	220118	220118

Tabela 16 - Inventário dos cenários de substituição de viaturas pesadas por viaturas a GNC

	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG6
CO (kg/ano)	340	371,3	496,3	659,1	873,2	926
NMVOOC (kg/ano)	57,5	49,4	17,3	22	28,3	29,9
NO _x (kg/ano)	1762	1491,2	597	339,1	235,4	239
N ₂ O (kg/ano)	7,5	10,3	22,9	28,2	32,9	34,1
NH ₃ (kg/ano)	2,2	2,1	1,6	1,4	0,3	0
Pb (g/ano)	4,14	3,73	1,94	1,10	0,27	0,00
CO ₂ (ton/ano)	688,9	668,9	533,7	482,1	402,8	378,1
PM _{2,5} (kg/ano)	29,9	24,5	5,2	3,8	2,8	3
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,58	0,53	0,32	0,22	0,09	0,06
B(k)F (g/ano)	2,49	2,26	1,26	0,78	0,16	0,00
B(b)F (g/ano)	2,23	2,04	1,16	0,75	0,21	0,07
B(a)P (g/ano)	0,37	0,34	0,20	0,13	0,04	0,02
CH ₄ (kg/ano)	5,5	17,6	70,5	95,7	128,4	136,6
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	214443	197434	107805	69143	15088	0
MASSA CH ₄ (kg/ano)	6568	20935	83665	113627	152448	162162

Tabela 17 - Inventário do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas Euro 6

	CRef	MD3	MD4	MD5
CO (kg/ano)	37,9	33	14,2	14,2
NMVOC (kg/ano)	7,4	6,6	6,6	6,6
NO _x (kg/ano)	196,7	195,9	204	182,1
N ₂ O (g/ano)	1,1	1,1	0,8	0,8
NH ₃ (g/ano)	0,3	0,3	0,4	0,4
Pb (g/ano)	0,79	0,79	0,79	0,79
CO ₂ (ton/ano)	44	44	44	44
PM2,5 (kg/ano)	3,6	2,7	0,2	0,2
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,13	0,13	0,13	0,13
B(k)F (g/ano)	0,04	0,04	0,04	0,04
B(b)F (g/ano)	0,11	0,11	0,11	0,11
B(a)P (g/ano)	0,12	0,12	0,12	0,12
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	13994	13994	13994	13994

Tabela 18 - Inventário dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas a GNC

	MG3	MG4	MG5
CO (kg/ano)	33,3	15,6	17,8
NMVOC (kg/ano)	6,6	6,5	6,4
NO _x (kg/ano)	189,3	163,8	80,4
N ₂ O (g/ano)	1	0,5	0
NH ₃ (g/ano)	293	218	0
Pb (g/ano)	0,74	0,48	0,00
CO ₂ (ton/ano)	43,5	38,8	32,2
PM2,5 (kg/ano)	2,7	0,3	0,4
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,12	0,08	0,00
B(k)F (g/ano)	0,03	0,02	0,00
B(b)F (g/ano)	0,11	0,07	0,00
B(a)P (g/ano)	0,11	0,07	0,00
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	12864	6500	0
MASSA CH ₄	1090	6666	11719

Tabela 19 - Inventário dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas elétricas

	ME3	ME4	ME5
CO (kg/ano)	32,1	8,6	0
NMVOOC (kg/ano)	6,2	4	0
NO _x (kg/ano)	184,1	132,1	0
N ₂ O (kg/ano)	1	0,5	0
NH ₃ (g/ano)	293	218	0
Pb (g/ano)	0,74	0,48	0
CO ₂ (ton/ano)	40,5	20,5	0
PM2,5 (kg/ano)	2,7	0,1	0
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,12	0,08	0
B(k)F (g/ano)	0,03	0,02	0
B(b)F (g/ano)	0,11	0,07	0
B(a)P (g/ano)	0,11	0,07	0
CONSUMO DE ELETRICIDADE (MJ/ano)	6243	38200	96765
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	12864	6500	0

Tabela 20 - Inventário do cenário de substituição das viaturas ligeiras por viaturas elétricas

	CRef	LE6
CO (kg/ano)	1,2	0
NMVOOC (kg/ano)	0,2	0
NO _x (kg/ano)	15,4	0
N ₂ O (g/ano)	109	0
NH ₃ (g/ano)	52	0
Pb (g/ano)	0,50	0
CO ₂ (ton/ano)	5,3	0
PM2,5 (g/ano)	50	0
ID(1,2,3,cd)P (g/ano)	0,04	0
B(k)F (g/ano)	0,04	0
B(b)F (g/ano)	0,05	0
B(a)P (g/ano)	0,05	0
CONSUMO DE ELETRICIDADE (MJ/ano)	0	14219
MASSA GASÓLEO (kg/ano)	1685	0

Para os restantes processos como por exemplo a produção de energia foram considerados os dados do Ecoinvent, presente no SimaPro 8.5.3.0. tal como já referido anteriormente.

5.4.2. Determinação dos Impactes Ambientais (ACV)

Nas tabelas 21, 22, 23, 24, 25 e 26 apresenta-se os valores dos impactes ambientais, em pontos (pt), por categorias de danos para os cenários de referência de cada tipo de viatura assim como para os cenários propostos no capítulo 4.3.

Tabela 21 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas Euro 6

Categoria	CRef	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5
Saúde Humana (pt)	44,70	21,95	21,39	19,40	19,23	19,07
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	4,79	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
Alterações Climáticas (pt)	82,43	82,12	82,13	82,17	82,20	82,19
Recursos (pt)	83,75	83,45	83,45	83,45	83,45	83,45
Impactes Totais (pt)	215,67	191,82	191,27	189,32	189,18	189,01

Tabela 22 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas pesadas por viaturas a GNC

Categoria	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG6
Saúde Humana (pt)	21,77	20,46	13,81	11,77	8,85	8,02
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	4,20	3,92	2,39	1,73	0,81	0,55
Alterações Climáticas (pt)	81,84	79,53	63,69	57,68	48,38	45,47
Recursos (pt)	83,78	82,76	72,47	69,13	63,30	61,25
Impactes Totais (pt)	191,60	186,66	152,36	140,31	121,34	115,29

Atendendo aos resultados da tabela 21, a substituição das viaturas pesadas por viaturas Euro 6 reduz significativamente impacto na saúde humana, o que comprova a eficácia das normas Euro na redução da poluição atmosférica. Contudo a substituição das viaturas pesadas por viaturas a GNC tem ainda menos impacto na saúde humana que as viaturas Euro 6, havendo uma redução de 47% do impacto ambiental comparativamente ao cenário de referência. Também nas restantes categorias, o uso de GNC como combustível tem impactos menores, principalmente nas alterações climáticas, que juntamente com a saúde humana perfaz 74 dos 100 pontos reduzidos entre o cenário de referência e o cenário com total substituição da frota para GNC, PG6.

Tabela 23 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas Euro 6

Categoria	Cref	MD3	MD4	MD5
Saúde Humana (pt)	1,57	1,48	1,23	1,23
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	0,27	0,27	0,27	0,27
Alterações Climáticas (pt)	5,24	5,24	5,23	5,23
Recursos (pt)	5,31	5,31	5,31	5,31
Impactes Totais (pt)	12,39	12,30	12,04	12,04

Tabela 24 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas a GNC

<i>Tabela 24 –Saúde Humana (pt)</i>	1,43	0,91	0,60
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	0,25	0,15	0,04
Alterações Climáticas (pt)	5,16	4,55	3,73
Recursos (pt)	5,29	4,98	4,43
Impactes Totais (pt)	12,14	10,59	8,79

Tabela 25 - Impactos ambientais dos cenários de substituição das viaturas mistas por viaturas elétricas

Categoria	ME3	ME4	ME5
Saúde Humana (pt)	1,45	1,03	1,15
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	0,26	0,20	0,18
Alterações Climáticas (pt)	4,89	2,85	1,05
Recursos (pt)	4,93	2,80	0,84
Impactes Totais (pt)	11,53	6,87	3,22

Relativamente às viaturas mistas, o gás natural é o combustível com menor impacto a nível de saúde humana e da qualidade dos ecossistemas, enquanto a eletricidade tem menor impacto nas categorias de alterações climáticas e recursos. No entanto, de uma maneira geral os impactos ambientais totais são nitidamente menores usando eletricidade como fonte de energia para a mobilidade. Regista-se uma redução de 29 % quando se usa GNC e de 74 % quando se utiliza electricidade.

Tabela 26 - Impactos ambientais do cenário de referência e dos cenários de substituição das viaturas ligeiras por viaturas elétricas

Categoria	Cref	LE6
Saúde Humana (pt)	0,15	0,17
Qualidade dos Ecossistemas (pt)	0,03	0,03
Alterações Climáticas (pt)	0,63	0,15
Recursos (pt)	0,64	0,12
Impactes Totais (pt)	1,46	0,47

Tal como acontece nas viaturas mistas, também nas viaturas ligeiras a eletricidade é opção que do ponto de vista ambiental tem mais vantagens, uma vez que reduz os impactos ambientais em todas as categorias de danos, exceto na saúde humana. Contudo, atendendo à pontuação do gasóleo e da eletricidade na saúde humana, pode considerar-se que a diferença não é significativa.

5.5. Quadro – Resumo

Neste capítulo, é seguidamente apresentado um quadro-resumo de ajuda à tomada de decisão e que sintetiza as conclusões dos critérios avaliados, especificando quais as opções propostas que têm vantagem (cor verde) ou desvantagem (cor vermelho) relativamente ao cenário de referência nos diversos critérios estudados ou se não existe qualquer influencia (cor cinza) do critério e/ou falta de informação (cor azul) acerca do mesmo.

É de ressaltar que o quadro funciona como uma ferramenta de comparação entre as tecnologias propostas e o cenário de referência, e não como forma de comparar as tecnologias propostas entre si.

		Regularidade e Tipo de Manutenção	Carga Acrescentada	Autonomia	Fiabilidade para o Serviço	Infraestruturas existentes	Consumo de Combustível	Segurança no abastecimento	Investimento Inicial	Custo e Consumo de Combustível	Payback Time	Varição dos preços dos combustíveis	Impactes Ambientais
Pesadas	Euro 6												
	GNC												
	GNC Conv.												
Mistas (ligeiras / caixa)	EURO 6												
	GNC												
	GNC Conv.												
	Elétricas												
Passageiros	Elétricas												

Figura 17 – Quadro – resumo do estudo

6. Conclusões

Com este estudo pretendeu-se analisar o potencial do GNC e da eletricidade como alternativa ao gasóleo e quais os impactes ambientais dos mesmos comparativamente aos causados pela utilização do gasóleo.

Dos critérios analisados o GNC tem essencialmente vantagens do ponto de vista económico, havendo redução de custos na manutenção, no consumo do combustível e consequentemente no gasto económico associado a este e ainda pelo fato deste ser um combustível mais barato que o gasóleo. No entanto, estas reduções na fatura da empresa não são suficientes para cobrir o investimento inicial em viaturas novas a GNC num intervalo de tempo aceitável, colocando-se então a ideia de conversão das viaturas já existentes em cima da mesa, uma vez que é uma opção economicamente mais viável, apresentando um *payback time* significativamente mais reduzido.

O GNC tem ainda vantagem a nível ambiental, reduzindo significativamente os impactos ambientais em todas as categorias de danos.

A eletricidade apresenta as mesmas vantagens que o GNC, com reduções mais significativas no custo da energia, e ainda há a acrescentar o fato da eletricidade ser uma fonte de energia cujo abastecimento é mais seguro, na medida em que Portugal tem

capacidade para produzir a sua própria eletricidade, ao contrário do que acontece com o gásóleo e o GNC.

As principais desvantagens na aquisição de viaturas elétricas é a inexistência de postos de abastecimento de energia elétrica, além do investimento inicial em viaturas serem valores muito superiores aos de aquisição de viaturas a gásóleo, o que também resulta em *payback time* elevados e pouco viáveis.

A nível ambiental a eletricidade é a fonte de energia com menores impactos ambientais em comparação com o GNC e o gásóleo, apresentando valores superiores de impacto ambiental apenas na categoria de saúde humana por uma parte ainda ter origem em combustíveis fósseis.

Apesar do GNC e da eletricidade serem as tecnologias com mais vantagens, a substituição das viaturas pesadas e mistas por viaturas Euro 6 a gásóleo também é uma opção que se coloca e que apresenta, embora menos significativas, reduções nos impactos ambientais para além de ter a vantagem de ser um combustível que domina o mercado automóvel existindo já uma rede alargada de postos de abastecimento o que não se verifica para os restantes casos. A nível económico as viaturas Euro 6 a gásóleo têm a desvantagem de ter custos superiores com o combustível e de a aquisição das viaturas não ser economicamente viável.

Nos critérios de carga acrescentada, autonomia e fiabilidade para o serviço, seja qual for a tecnologia (gásóleo ou CNG), ambas são capazes de fazer o mesmo que a frota atual da empresa, não havendo uma influência negativa nem positiva. No caso das viaturas pesadas a utilização de energia elétrica ainda está numa fase muito embrionária, sendo necessário verificar critérios como a fiabilidade para o serviço, aspeto crucial nesta atividade.

Dito isto, dos cenários propostos para a substituição da frota pesada o cenário mais vantajoso é o cenário PG6, uma vez que o investimento necessário para a utilização do CNG pode ser reduzido recorrendo à conversão das viaturas ou através do apoio de fundos comunitários, tornando a mudança economicamente viável.

Nas viaturas mistas o cenário MG5 é uma boa referência se se priorizar a questão económica, ou o cenário ME5 se a prioridade for as questões ambientais. A evolução do mercado pode mudar significativamente o valor do investimento inicial associado aos

veículos elétricos e nessa altura estes poderão vir a ser a melhor solução em todas as vertentes. Para as viaturas ligeiras o único cenário proposto apresenta vantagens superiores ao CRef e por isso deve ser considerado se a empresa tiver possibilidade de substituir a frota ligeira.

Neste estudo a maior dificuldade foi a aquisição de dados fidedignos (sobre manutenção, consumos, fatores de emissão, etc.) relativos às tecnologias propostas como alternativa à frota da Maiambiente, e que fossem o mais possível de encontro às condições reais, pelo que a recolha de informações reais e de campo são fundamentais para melhorar a análise das tecnologias propostas e diminuir a incerteza associada a alguns dados.

Como trabalho futuro pode-se sugerir, portanto, o estudo das tecnologias apresentadas em condições reais, registando e analisando as informações recolhidas.

Bibliografia

AEA (2011) *Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles - Lot 1: Strategy*.

APA (2017) *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2017 - emissões 2015)*.

APVGN (2009) ‘Revista VGN - Veículos a Gás Natural’, 2, p. 40.

Autoline (2018) *Camiões de lixo da Europa*. Available at: <https://autoline.pt/-/camies-de-lixo/novo/Europa--c342st13177cgrp1?page=3> (Accessed: 10 September 2018).

Awad Maimound, M. (2011) *Environmental Study of Solid Waste Collection*. University of Central Florida.

Bastos, D. and Ledo, M. (2014) *Powertrain de um veículo elétrico – estudo térmico da bateria e projeto mecânico*. Universidade do Porto.

Beijoco, A. (2011) *Optimização de um Sistema de Recolha e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos*. Universidade Técnica de Lisboa. Available at: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142733878/Dissertação.pdf>.

Berjoza, D. and Jurgena, I. (2017) ‘Effects of change in the weight of electric vehicles on their performance characteristics’, *Agronomy Research*, 15(Special Issue 1), pp. 952–963.

Borrego, C., Lopes, M., Ribeiro, I. and Carvalho, A. (2010) ‘As alterações climáticas: uma

realidade transformada em desafio’, *CAPTAR*, 2(2), pp. 1–16.

BP (2017a) *BP Statistical Review of World Energy 2017*, British Petroleum. doi:
<http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>.

BP (2017b) *Bp Statitital Review of World Energy*. Available at:
<http://www.bp.com/statisticalreview>.

Campos, J. (2015) *Recolha seletiva de resíduos em ambiente urbano : Eficácia dos sistemas de recolha porta a porta em estabelecimentos comerciais*. Universidade do Porto.

Chiaradia, C. E. (2015) *Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no cenário brasileiro*. Universidade Estadual Paulista.

Citroen (2015) ‘Catálogo Veículos Comerciais’, p. 56.

Comissão Europeia (2007) ‘COM(2007) 723 - Plano Estratégico para as Tecnologias Energéticas (Plano SET) - Para um Futuro com Baixas Emissões de Carbono’, p. 3.

Comissão Europeia (2011a) ‘COM(2011) 144 - Livro Branco - Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos’. Bruxelas, Bélgica, pp. 1–34.

Comissão Europeia (2011b) ‘Transport 2050 : The major challenges, the key measures’. Bruxelas, p. 4. Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-197_ga.htm.

Comissão Europeia (2013) ‘COM(2013) 17 - Energia limpa para os transportes: uma estratégia europeia para os combustíveis alternativos’. Bruxelas, Bélgica, pp. 1–13.

Comissão Europeia (2014a) ‘Compreender as políticas da União Europeia: Transportes’. Bruxelas, pp. 1–20. doi: 10.2775/15111.

Comissão Europeia (2014b) *Diretiva 2014/94/UE*.

DGEG (2017) ‘Fatura energética portuguesa’. Available at: www.dgeg.gov.pt.

DGEG (2018) ‘Estrutura de Preços dos Combustíveis em Portugal Continental’. Available at: www.dgeg.gov.pt.

European Commission (2012a) ‘Energy Roadmap 2050’, pp. 1–9. doi: 10.2833/10759.

European Commission (2012b) ‘Roadmap 2050 - A practical guide to a prosperous, low-carbon Europe’, pp. 1–19. doi: 10.2833/10759.

European Commission (2015) *Optimisation of heavy duty vehicles for alternative fuels use*.

Available at:

<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/gv-01-2017.html> (Accessed: 14 September 2017).

European Commission (2017) *Climate Action - Transport*. Available at:

https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/transport_en (Accessed: 9 September 2017).

European Expert Group on Future Transport Fuels (2011) *Future Transport Fuels*.

Available at: <http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/cts/doc/2011-01-25-future-transport-fuels-report.pdf>.

Fiat (2017) *Características Técnicas: Novo Fiorino Cargo*. Available at:

http://www.fiatprofessional.pt/pt/Modelos/Fiorino_Furgao/Capacidade_de_carga (Accessed: 4 December 2017).

Fiat Professional (2017) ‘Fiat Fiorino : Guia Automóvel’, pp. 20–23. Available at:

<http://www.fiatprofessional.pt/pt/CMSPT/Pdf/News/Guiaautomovel314-Fiorino.pdf> [visitado a 05 de dezembro de 2017].

Goyal, P. and Sidhartha (2003) ‘Present scenario of air quality in Delhi: A case study of CNG implementation’, *Atmospheric Environment*, 37(38), pp. 5423–5431. doi: 10.1016/j.atmosenv.2003.09.005.

Hazeldine, T. and Sharpe, R. (2016) ‘Technical options for heavy duty vehicles’, in *EU Transport GHG: Routes to 2050?* Bruxelas, pp. 1–10.

Howell, J. and Harger, J. (2013) ‘CNG and LNG : What’s Best for Your Fleet ?’, in *Westport and Clean Energy Webinar*.

IEA (2012a) *CO2 Emissions from Fuel Combustion - Part III: Greenhouse- Gas Emissions*. Available at: http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2012-International-Energie-Agency-CO2-from-fossil-fuel-combustion-ed-2012-PART-III.pdf.

IEA (2012b) *World Energy Outlook 2012, BP Statistical Review*. doi: 10.1787/20725302.

IEA (2017) 'IEA Headline Energy Data 2017'. Available at: <https://www.iea.org/>.

IPCC (2013) *Alterações Climáticas 2013: A Base Científica - Perguntas Frequentes*.

IPMA. Edited by T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J.

Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Working Group III*

Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Edited by O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner,

K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S.

Schlömer, C. von Stechow, T. Z. and J.C., and J. Minx. doi: 10.1017/CBO9781107415416.

IVECO (2011) 'Especificações Daily 70C17 Chassis Cabina Simples', (mm), pp. 15–16.

Available at:

https://www.iveco.com/portugal/collections/technical_sheets/Documents/Daily/Cabinato/70C17.pdf [visitado a 05 de dezembro de 2017].

IVECO (no date) 'Daily Cabinato 65C14G'. Available at:

http://www.motored.com.pe/uploads/files/pdf_content_142319672866.pdf [visitado a 05 de dezembro de 2017].

Jaffe, A. M., Medlock, K. B. and Soligo, R. (2011) *The status of world oil reserves: conventional an unconventional resources in the future supply mix*.

Janelle, D. G. and Beuthe, M. (1997) 'Globalization and research issues in transportation', *Journal of Transport Geography*, 5(3), pp. 199–206. doi: 10.1016/S0966-6923(97)00017-3.

Khan, M. I., Yasmin, T. and Shakoor, A. (2015) 'Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 51, pp. 785–797. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.053.

Kouridis, C., Samaras, C., Hassel, D., Mellios, G., Mccrae, I., Hickman, J., Zierock, H., Keller, M., Rexeis, M., Andre, M., Winther, M., Pastramas, N., Boulter, P., Katsis, P., Joumard, R., Rijkeboer, R. and Geivanidis, S. (2016) 'EMEP/EEA air pollutant emission

inventory guidebook 2016', pp. 1–153.

Kromer, M. a and Heywood, J. B. (2007) 'Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet', *Challenges*, (May), p. 153. Available at: http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf.

Li, Z. (2014) *Analysis of Natural Gas Vehicle Industry*. Savonia University of Applied Sciences.

Lima, L. (2015) 'Projeto de Desenvolvimento de Viaturas Pesadas GNL'.

Maiambiente (2016) *Relatório e Contas de 2016*. Maia.

Maiambiente (2018) *Maiambiente aposta numa frota mais sustentável*. Available at: https://api.pdfplayer.com/api/convert?access_key=5d6d3337836459972acfb0650653e4a4&inline=1&document_url=http://news.cision.com/pt/maiambiente/r/maiambiente-aposta-numa-frota-mais-sustentavel,c636723386930000000&document_name=MAIAMBIENTE-APOSTA-NUMA-FROTA-MAIS-SUSTENT-VEL---Maiambiente.pdf (Accessed: 4 October 2018).

Mercedes Benz (2018) *O novo Sprinter Vito Classe X*. Available at: <https://www.mercedes-benz.pt> (Accessed: 9 August 2018).

NASA's Goddard Institute for Space Studies (2014) *Global Temperature*. Available at: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (Accessed: 3 December 2017).

NGVA (2017) 'Vehicle Catalogue - June 2017'.

Nissan (2017) *Nissan Leaf: Prestações e bateria*. Available at: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/bateria.html> (Accessed: 5 December 2017).

Omer, A. M. (2008) 'Energy, environment and sustainable development', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), pp. 2265–2300. doi: 10.1016/j.rser.2007.05.001.

Owen, N. A., Inderwildi, O. R. and King, D. A. (2010) 'The status of conventional world oil reserves-Hype or cause for concern?', *Energy Policy*. Elsevier, 38(8), pp. 4743–4749. doi: 10.1016/j.enpol.2010.02.026.

Pereira Oliveira, N. I. (2009) *Avaliação de Sistemas de Recolha e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos : Eficiência energética e Emissões Poluentes*. Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Renault Trucks (2015) ‘Optimum Magazine - The Renault Trucks Magazine’, *Optitrack: A Flexible 4x4 Drive*, p. 20.

Sampaio, N. (2012) ‘Estudo da viabilidade técnica e económica da conversão para veículo elétrico’.

Santos, D. S. B. dos (2015) ‘Estudo para a Implementação de Infraestruturas de Carregamento de Veículos Elétricos’.

Satterthwaite, D. (2009) ‘The implications of population growth and urbanization for climate change’, *Environment and Urbanization*, 21(2), pp. 545–567. doi: 10.1177/0956247809344361.

Schiller, T., Maier, M. and Büchle, M. (2017) ‘Global Truck Study 2016 The truck industry in transition’, p. 42. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-global-truck-study-the-truck-industry-in-transition.pdf>.

Shea, S. (2011) ‘Clean Cities Niche Market Overview : Refuse Haulers’. U.S. Department of Energy.

Souza, F. R. (2006) *Impacto do Preço do Petróleo na Política Energética Mundial*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Steve Josephs (2015) *The per-mile Costs of Operating Compressed Natural Gas Trucks: Experience from 16 Million Miles with the Cummins ISX12G*. Available at: <http://static1.squarespace.com/static/54df8befe4b0419b74c936c2/t/55f706f8e4b0c1c31ccc861d/1442252536965/ampCNG+White+Paper+on+12L+Operating+Costs+per+Mile.pdf>.

Suganthi, L. and Samuel, A. A. (2012) ‘Energy models for demand forecasting - A review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 16(2), pp. 1223–1240. doi: 10.1016/j.rser.2011.08.014.

United Nations (1987) ‘Report of the World Commission on Environment and Development

- Our Common Future', p. 318. doi: 10.2307/2621529.

United Nations (2017a) 'World Population Prospects: The 2017 Revision'. Available at: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>.

United Nations (2017b) *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Nova Iorque. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Veículos Elétricos (2018) 'Preços carros elétricos e motocicletas elétricos'. Available at: <http://www.veiculoselectricospt.com/precos/>.

Volvo (2007) *Tomadas de força e bombas hidráulicas*. Available at: www.volvotrucks.com.

Volvo (2017) *Volvo FE: Product Guide*. Available at: www.volvotrucks.com.

Werpy, M. R., Santini, D. ., Burnham, A. . and Mintz, M. (2010) *Natural Gas Vehicles : Status , Barriers , and Opportunities*.

Whyatt, G. (2010) *Issues Affecting Adoption of Natural Gas Fuel in Light- and Heavy-Duty Vehicles*. doi: PNLL-19745.

Willner, K. and Danielsson, D. (2014) 'Testing of unregulated emissions from heavy duty natural gas vehicles (Provning av oreglerade emissioner i tunga metangasdrivna fordon)', 2.

Wolfram, P. and Lutsey, N. (2016) 'Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions', (July), pp. 1–23. doi: 10.13140/RG.2.1.2045.3364.