

Previsão do Consumo de Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa no Setor dos Transportes em Portugal

Amanda da Silva Minucci

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial, ramo Engenharia Eletrotécnica, no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Trabalho orientado por:
Prof. Dr^a. Ângela Ferreira
Prof. Dr^a. Paula Fernandes
Prof. Dr. Antônio Sola

Bragança
2019-2020

Previsão do Consumo de Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa no Setor dos Transportes em Portugal

Amanda da Silva Minucci

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial, ramo Engenharia Eletrotécnica, no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Trabalho orientado por:
Prof. Dr^a. Ângela Ferreira
Prof. Dr^a. Paula Fernandes
Prof. Dr. Antônio Sola

Bragança
2019-2020

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus que me proporciona a vida, aos meus pais, irmão e a meu noivo que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. Aos amigos, pelo incentivo e pelo apoio constantes. Às minhas orientadoras pela paciência nas orientações e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos

O desenvolvimento de uma dissertação de mestrado é uma grande jornada permeada de grandes desafios, que trazem alegrias e tristezas. O caminho percorrido é amparado por várias pessoas, que são indispensáveis para que todo o processo se torne o melhor possível e à elas dedico este trabalho.

Em especial às orientadoras do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), professoras Dr^a Ângela Ferreira e D^a Paula Odete Fernandes, que acreditaram em mim todos os dias. Suas orientações sempre foram muito motivadoras e enriquecedoras, dedicadas em colaborar para que este trabalho obtivesse os melhores resultados, com sugestões críticas e oportunas.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em especial ao orientador professor Dr^o Antônio Sola, que me deram todo preparo durante a vida acadêmica para que chegasse até a conclusão deste trabalho.

Principalmente a meus pais Ângela Minucci e Raul Minucci, que dedicaram suas vidas com amor, para que eu tivesse a oportunidade de realizar meu sonhos e compreenderam a distância e os momentos de ausência. Também agradeço meu irmão Raul Neto, por sempre me apoiar incondicionalmente.

Ao meu noivo Vitor H. Pagani, que esteve comigo todos os dias dessa jornada me acompanhando, motivando e principalmente acreditando em mim, sempre com muito amor e paciência. Também a meus sogros Regina e Jeferson, por todo apoio e motivação.

Por fim, agradeço a meus amigos Sabrine, Matheus, Larissa, Tainá, Giovanni e Giordano de enorme importância em minha vida e que sempre me trouxeram grandes alegrias. A minhas amigas de Ana Luiza e Letícia, pelo acolhimento com grande carinho.

Resumo

O setor de atividade com maior peso no consumo final de energia é o dos transportes, refletindo o sector responsável pela maior parte das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Neste contexto, e atendendo à crescente penetração de veículos com zero ou emissão reduzida de GEE e maior eficiência energética, pretende-se contribuir para a identificação futura do impacto do setor dos transportes no consumo de energia (primária não transformada e elétrica) e nas emissões decorrentes. Este trabalho tem por objetivo identificar o consumo de energia no setor e quantificar os níveis de GEE a partir da análise comparativa do incremento da frota de veículos elétricos em detrimento dos baseados em combustão interna, em quatro cenários propostos até o ano de 2030. O estudo é aplicado em Portugal Continental considerando a frota de veículos ligeiros de passageiros e comerciais, que compreendem a grande maioria da frota portuguesa. O modelo Bottom-up, onde o detalhamento da árvore hierárquica é construída do detalhe para o todo, é aplicado ao estudo para determinação das variáveis de consumo de energia e emissões de GEE. A análise é realizada através da aplicação da ferramenta de simulação denominada Sistema de Planeamento de Alternativas Energéticas de Longo Alcance (LEAP), de modelação integrada e baseada em cenários, aqui utilizada para determinar o consumo de energia e contabilizar as fontes de emissão de GEE. Como resultados, de maneira comparativa entre os cenários, cada 10% de incremento de veículos EHP reflete em 1,38% de redução do consumo de energia total e 4,46% de redução de emissões de GEE.

Palavras-chave: Veículos Elétricos, Consumo de Energia, GEE, Bottom-up.

Abstract

The sector with the highest weight in final energy consumption is the transport sector, reflecting the one responsible for most greenhouse gas (GHG) emissions. In this context, and given the increasing penetration of zero or low GHG emission vehicles and higher energy efficiency, it is intended to contribute to the future identification of the impact of the transport sector on energy consumption (primary and electrical) and resulting emissions. This paper aims to identify the energy consumption in the sector and quantify the GHG levels from the comparative analysis of the increase of the electric vehicle fleet in the detriment of those based in internal combustion engines burning fossil fuels, considering four proposed scenarios until the year 2030. The study is applied in mainland Portugal considering the fleet of light passenger and commercial vehicles, which comprise the vast majority of the Portuguese fleet. The Bottom-up model, where the hierarchical tree detailing is constructed from detail to the whole, is applied to the study to determine the energy consumption and GHG emissions variables. The analysis is performed through the application of the simulation tool called Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP), of scenario-based and integrated modelling, wherein utilized to determine energy consumption and account for GHG emission sources. As a result, comparatively between the scenarios, each 10% increase in EHP vehicles reflects a 1.38% reduction in total energy consumption and a 4.46% reduction in GHG emissions.

Keywords: Electric Vehicles, Energy Consumption, GHG, Bottom-up.

Conteúdo

| | |
|---|------------|
| Lista de Tabelas | xii |
| Lista de Figuras | xv |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Enquadramento | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Objetivos Principais | 2 |
| 1.2.2 Objetivos Complementares | 2 |
| 1.3 Estrutura do Documento | 3 |
| 2 Estado da Arte | 5 |
| 2.1 Veículos Elétricos | 5 |
| 2.1.1 Breve Histórico Evolutivo | 5 |
| 2.1.2 Modelos de Tecnologias Associadas | 9 |
| 2.2 Setor de Transportes Português | 10 |
| 2.2.1 Frota de Veículos Portuguesa | 10 |
| 2.2.2 Mercado de Veículos Elétricos | 11 |
| 2.3 Balanço Energético | 13 |
| 2.3.1 Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal | 16 |
| 2.3.2 Objetivos e Metas para o Consumo de Energia | 17 |
| 2.4 Emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4.1 | Efeito de Estufa | 20 |
| 2.4.2 | Objetivos e Metas para Emissões de GEE | 23 |
| 3 | Metodologias de Projeção | 25 |
| 3.1 | Modelos de Previsão | 25 |
| 3.2 | Aspectos do Software de Modelagem | 28 |
| 3.3 | Modelos Aplicados à Previsão do Consumo de Energia | 30 |
| 3.3.1 | Premissas para Previsão da Frota de Veículos | 30 |
| 3.3.2 | Modelo de Regressão Linear Simples | 33 |
| 3.4 | Indicadores para Determinação do Consumo de Energia | 35 |
| 3.4.1 | Frota | 35 |
| 3.4.2 | Consumo de Combustível | 37 |
| 3.4.3 | Quilometragem Média Percorrida | 38 |
| 3.5 | Modelos Aplicados à Previsão das Emissões | 39 |
| 3.5.1 | Metodologia para Determinação das Emissões | 39 |
| 4 | Caso de Estudo | 43 |
| 4.1 | Considerações Iniciais do Estudo | 43 |
| 4.1.1 | Projeção da Frota | 43 |
| 4.1.2 | Parâmetros da Curva de Sucateamento | 45 |
| 4.1.3 | Determinação do Consumo de Combustível | 46 |
| 4.1.4 | Determinação da Quilometragem Média Percorrida | 47 |
| 4.2 | Cálculo de Consumo de Energia e Emissões de GEE | 48 |
| 4.2.1 | Cálculo de Consumo de Energia | 48 |
| 4.2.2 | Cálculo das Emissões de GEE | 48 |
| 4.3 | Cenários Propostos e Projeções | 49 |
| 4.3.1 | Cenário Base | 53 |
| 4.3.2 | Cenário 10% | 54 |
| 4.3.3 | Cenário 30% | 56 |
| 4.3.4 | Cenário 60% | 58 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.3.5 | Cenário 100% | 60 |
| 5 | Previsão do Consumo de Energia e das Emissões de GEE | 63 |
| 5.1 | Análise dos resultados para os cenários propostos | 63 |
| 5.1.1 | Cenário Base | 63 |
| 5.1.2 | Cenário 10% | 65 |
| 5.1.3 | Cenário 30% | 67 |
| 5.1.4 | Cenário 60% | 69 |
| 5.1.5 | Cenário 100% | 71 |
| 5.2 | Análise Comparativa entre os Cenários Propostos | 73 |
| 5.2.1 | Consumo Energético Total | 73 |
| 5.2.2 | Análise do Consumo de Energia Elétrica | 76 |
| 5.2.3 | Análise das Reduções de GEE | 78 |
| 6 | Conclusões | 81 |
| 6.1 | Resumo | 81 |
| 6.2 | Limitações e Trabalhos Futuros | 83 |
| | Referências | 89 |
| | Anexo A | 90 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela 2.1 | Parque de veículos em Portugal, 2011 [12]. | 11 |
| Tabela 2.2 | Vendas de veículos elétricos novos por país, 2005-18 (milhares de veículos) [13]. | 13 |
| Tabela 3.1 | Comparação entre modelos de avaliação do setor energético [20]. . . | 27 |
| Tabela 4.1 | Projeção PIB <i>per capita</i> em Portugal [28]. | 44 |
| Tabela 4.2 | Estatística de regressão PIB <i>per capita</i> x frota ligeiros de passageiros. | 45 |
| Tabela 4.3 | Estatística de regressão PIB <i>per capita</i> x frota ligeiros comerciais. . | 45 |
| Tabela 4.4 | Parâmetros a e b da Curva de Gompertz. | 46 |
| Tabela 4.5 | Consumo por categoria e tipo de combustível. | 47 |
| Tabela 4.6 | Parâmetros da curva de utilização. | 47 |
| Tabela 4.7 | Parâmetros v e f. | 49 |
| Tabela 4.8 | <i>Emission Factor</i> | 49 |
| Tabela 4.9 | Cenário 2011 para ligeiros de Passageiros. | 50 |
| Tabela 4.10 | Cenário 2011 para ligeiros comerciais. | 51 |
| Tabela 4.11 | Participação dos veículos EHP ligeiros (passageiros e comerciais). . | 51 |
| Tabela 5.1 | Projeção do consumo de energia da frota total (10^3 Gigajoule). . . . | 74 |
| Tabela 5.2 | Relação de cada cenário com o consumo energético total em termos percentuais. | 75 |
| Tabela 5.3 | Relação de cada cenário com o consumo total de energia elétrica em termos percentuais. | 78 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 5.4 | Comparativo das emissões de GEE entre os cenários propostos ($10^6 \text{tonCO}_2 \text{eq}$). | 80 |
| Tabela 5.5 | Redução percentual das emissões em comparação ao Cenário Base | 80 |
| Tabela A.1 | Projeção da frota mantendo-se os índices do cenário base (10^6 Veículos). | 91 |
| Tabela A.2 | Projeção das vendas mantendo-se os índices do cenário base (10^3 Veículos). | 91 |
| Tabela A.3 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^6 Veículos). | 92 |
| Tabela A.4 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^3 Veículos). | 92 |
| Tabela A.5 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^6 Veículos). | 93 |
| Tabela A.6 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^3 Veículos). | 93 |
| Tabela A.7 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^6 Veículos). | 94 |
| Tabela A.8 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^3 Veículos). | 94 |
| Tabela A.9 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^6 Veículos). | 95 |
| Tabela A.10 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030 (10^3 Veículos). | 95 |
| Tabela A.11 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário Base até 2030 (10^6 Gigajoule). | 95 |
| Tabela A.12 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário Base até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq). | 96 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela A.13 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 10% até 2030 (10^6 Gigajoule). | 96 |
| Tabela A.14 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 10% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq). | 96 |
| Tabela A.15 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 30% até 2030 (10^6 Gigajoule). | 97 |
| Tabela A.16 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 30% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq). | 97 |
| Tabela A.17 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 60% até 2030 (10^6 Gigajoule). | 97 |
| Tabela A.18 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 60% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq). | 98 |
| Tabela A.19 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 100% até 2030 (10^6 Gigajoule). | 98 |
| Tabela A.20 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 100% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq). | 98 |
| Tabela A.21 | Projeção da frota total de automóveis em Portugal Continental. | 98 |

Lista de Figuras

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 2.1 | Modelo de veículo elétrico, início do século. | 7 |
| Figura 2.2 | Percentual da frota Europeia, de veículos elétricos por país em 2018 [14]. | 12 |
| Figura 2.3 | Consumo de energia total por setor de atividade % - 2017 [1]. . . . | 14 |
| Figura 2.4 | Evolução do consumo de energia nos transportes nacionais [1]. . . . | 14 |
| Figura 2.5 | Estrutura do consumo do setor transportes [1]. | 15 |
| Figura 2.6 | Evolução da intensidade energética por setor de atividade [1]. . . . | 16 |
| Figura 2.7 | Balanço da produção de eletricidade (Portugal Continental)[15]. . . | 16 |
| Figura 2.8 | Preço de mercado, consumo de eletricidade e geração renovável (dez- 2017 a dez-2019) [1]. | 17 |
| Figura 2.9 | Evolução da dependência energética Portuguesa em 2018 [1]. | 18 |
| Figura 2.10 | Metas de energia da União Europeia para 2030 [3]. | 19 |
| Figura 2.11 | Evolução percentual setorial face ao total anual de emissões de gases com efeito de estufa. | 21 |
| Figura 2.12 | Metas de emissões de GEE da União Europeia (UE) para 2030. . . . | 23 |
| Figura 3.1 | Estrutura de cálculos do LEAP, adaptado de [25]. | 29 |
| Figura 3.2 | <i>PIB per capita versus</i> Vendas ligeiros passageiros e comerciais. . . . | 31 |
| Figura 3.3 | Produto Interno Bruto (PIB) per capita <i>versus</i> Frota ligeiros de passageiros. | 32 |
| Figura 3.4 | PIB per capita <i>versus</i> Frota ligeiros Comerciais. | 33 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 4.1 | Projeção da frota total de automóveis em Portugal Continental. | 46 |
| Figura 4.2 | Projeção das vendas de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> | 52 |
| Figura 4.3 | Projeção da frota de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> | 52 |
| Figura 4.4 | Projeção da frota mantendo-se os índices do cenário base. | 53 |
| Figura 4.5 | Projeção das vendas mantendo-se os índices do cenário base. | 54 |
| Figura 4.6 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 55 |
| Figura 4.7 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 56 |
| Figura 4.8 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 57 |
| Figura 4.9 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 58 |
| Figura 4.10 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 59 |
| Figura 4.11 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 60 |
| Figura 4.12 | Projeção da frota de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 61 |
| Figura 4.13 | Projeção das vendas de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e <i>plug in</i> até 2030. | 62 |
| Figura 5.1 | Projeção do consumo de energia total dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário Base até 2030. | 64 |
| Figura 5.2 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário Base até 2030. | 65 |
| Figura 5.3 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 10% até 2030. | 66 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 5.4 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 10% até 2030. | 67 |
| Figura 5.5 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 30% até 2030. | 68 |
| Figura 5.6 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 30% até 2030. | 69 |
| Figura 5.7 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 60% até 2030. | 70 |
| Figura 5.8 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 60% até 2030. | 71 |
| Figura 5.9 | Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 100% até 2030. | 72 |
| Figura 5.10 | Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 100% até 2030. | 73 |
| Figura 5.11 | Comparativo do consumo de energia entre os cenários propostos. . . | 74 |
| Figura 5.12 | Consumo total de energia final em 2017 [1]. | 76 |
| Figura 5.13 | Comparativo do consumo de energia elétrica entre os cenários propostos. | 77 |
| Figura 5.14 | Produção elétrica em Portugal Continental [41]. | 77 |
| Figura 5.15 | Comparativo das emissões de GEE entre os cenários propostos. . . | 79 |

Siglas e Acrônimos

ACAP Associação do Comércio Automóvel de Portugal. 10, 30

ADENE Agência para a Energia, Unidade de Informação. 14

AP Acordo de Paris. 78

APA Agência Portuguesa do Ambiente. 17

APREN Associação Portuguesa de Energias Renováveis. 16

CELE Comércio Europeu de Licenças de Emissão. 23

CI Combustão Interna. 1, 5, 37, 46, 53–55, 57, 59, 61, 63–72, 76, 78–81

DGEG Direção Geral de Energia e Geologia. 13

EEA Agência Europeia do Ambiente. 17

EHP Elétricos, Híbridos e *Plug in*. 2, 30, 36–38, 46, 50–53, 56–61, 63, 65, 67, 69–72, 75, 76, 78–80, 82, 83

Eionet Rede Europeia de Informação e Observação Ambiental. 18

ESA Estatística do Setor Automóvel. 36

ETC Estatísticas dos Transportes e Comunicações. 35

FE Fator de Emissão. 40

GEE Gases com Efeito de Estufa. ix, xv, 1–5, 8, 10, 19–21, 23, 25–27, 29, 39–41, 48, 63, 64, 66, 68, 70, 72, 79–82

GPL Gás de Petróleo Liquefeito. 14, 37, 38

GWP Global Warming Power ou Potencial de Aquecimento Global. 40, 41

IEA Agência Internacional de Energia. 11

IMT Instituto da Mobilidade e dos Transportes. 36

IPCC Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas. 21, 39, 41

LEAP Sistema de Planejamento de Alternativas a Energia de Longo Alcance. 4, 25, 28, 29, 37, 39–41, 45

MIBEL Mercado Ibérico de Eletricidade. 16

OMM Organização Meteorológica Mundial. 21

PIB Produto Interno Bruto. xv, 12, 15, 26, 30–33, 43, 44, 82

PNAEE Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. 18

PNEC Plano Nacional Energia e Clima. 2, 19, 23, 75, 77

PNUMA Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 21

QMP Quilometragens Médias Percorridas. 38, 39, 47

REA Relatório do Estado do Ambiente. 10, 13, 17, 18, 21

REN Redes Energéticas Nacionais. 76

RNC Roteiro para a Neutralidade Carbónica. 79

SEI Stockholm Environment Institute. 28

SNIERPA Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoções por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos. 23

SOER Relatório Europeu do Estado do Ambiente. 18

UE União Europeia. xv, 2, 5, 8, 17, 23, 84

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

O consumo energético e as emissões de GEE associadas tornaram-se, nos últimos anos, alvo de grandes investimentos mundiais para que os impactos a médio e longo prazo sejam mitigados a partir de várias medidas, como por exemplo, o aumento da eficiência dos equipamentos, sejam eles para aplicações residenciais, transportes, indústria, entre outros.

O potencial comercial dos veículos elétricos foi motivado como uma alternativa aos problemas de mobilidade associados aos altos níveis de emissão de poluentes provocados pelos veículos a Combustão Interna (CI), além da perspectiva de escassez de combustíveis fósseis. Desta forma a inclusão de veículos elétricos em detrimento dos últimos, possibilitaria a utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes.

Em relação ao consumo de energia total e a emissões dos GEE, o setor de transportes é responsável por cerca de 38% e 25% respectivamente em Portugal, segundo apontam [1] e [2]. Num cenário em que o perfil de veículos utilizados se mantenha, os percentuais nos níveis de consumo e emissões tendem a aumentar, uma vez que a curva de crescimento da frota é crescente com o passar dos anos, principalmente pelo crescimento da população. Ao realizar esta análise, a projeção indica que o atual sistema de transporte é insustentável.

O incremento de veículos mais eficientes e que apresentem fatores de emissão zero ou reduzido, são fundamentais para que o país atinja as metas estipuladas pelo governo e pela UE, como determina o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC) que estabelece uma redução de 45% a 55% nas emissões de GEE e aumento de 20% na utilização de renováveis no setor de transportes [3]. O plano também estabelece que ao tornar o transporte público mais atrativo e favorecer a intermodalidade, tornará possível reduzir o congestionamento urbano e alcançar uma mobilidade mais eficiente e limpa, com um menor consumo energético. Ações como a renovação das frotas de autocarros e de navios de transporte de passageiros, reforçar o transporte ferroviário de passageiros já estão estabelecidos no PNEC para a próxima década [3].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Principais

Os objetivos principais deste trabalho são apresentados a partir da estruturação a seguir:

- Estabelecer cenários de incremento de veículos Elétricos, Híbridos e *Plug in* (EHP) até o ano de 2030;
- Estimar o consumo energético final de cada cenário;
- Estimar o consumo de energia elétrica em cada cenário;
- Estimar as emissões provenientes de cada cenário proposto;
- Comparar os resultados referentes a cada cenários em relação ao: Consumo de energia final, consumo de energia elétrica e níveis de emissões.

1.2.2 Objetivos Complementares

Para construção dos objetivos principais com base no modelo *bottom-up* e em agregação ao modelo *top-down*, é necessário a determinação de três variáveis fundamentais afins à

frota de veículos ligeiros (passageiros e comerciais):

- Caracterização da frota;
- Consumo energético;
- Quilometragem média percorrida.

1.3 Estrutura do Documento

Este trabalho está estruturado em seis capítulos e um anexo.

No Capítulo 1 é feita a introdução do trabalho em uma análise geral, onde é contextualizado o âmbito do trabalho, baseado na penetração dos veículos elétricos. Caracteriza-se o setor de transportes como o maior consumidor de energia total, com cerca de 38% do total e também como um dos maiores emissores de GEE, proveniente da queima dos combustíveis fósseis. Estabelece que a não modernização do setor, provocará índices alarmantes em relação ao consumo de energia e às emissões decorrentes. Por fim são apresentados os objetivos e como é feita a estrutura da pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentado o Estado da Arte, onde primeiramente se faz a descrição do histórico evolutivo dos veículos elétricos bem como as tecnologias existentes no mercado de veículos elétricos. A segunda parte do Capítulo caracteriza o setor de transportes Português, onde é definida a composição da frota no ano base (2011) e o mercado de veículos elétricos no país. Na terceira parte do Capítulo é apresentado o balanço energético de Portugal, assim como o balanço da produção de eletricidade e os objetivos e metas para o consumo de energia no país. São ainda caracterizadas as emissões de gases e como é formado o efeito de estufa, além de apresentar os objetivos e metas para as emissões de GEE até o ano de 2030.

No Capítulo 3 são apresentadas as metodologias para previsão de consumo de energia e emissões a partir dos modelos *bottom-up* e *top-down*. São detalhadas as metodologias para a construção das variáveis fundamentais: frota, desempenho energético e quilometragem média percorrida, dos veículos ligeiros portugueses, bem os métodos de previsão

e determinação dos valores pertinentes das variáveis relativas a cada grupo de veículos e apresentados os aspectos do *software* de modelagem Sistema de Planejamento de Alternativas a Energia de Longo Alcance (LEAP). Por fim é definida a formulação a aplicar para a determinação do consumo de energia e emissões de GEE.

O Capítulo 4 é detalhada a aplicação da metodologia em Portugal. Na primeira parte do Capítulo é apresentada a projeção da frota Portuguesa, com aplicação da metodologia, bem como os parâmetros necessários. É definido o consumo de combustível específico de cada tipo de veículo e as características pertinentes para a definição da quilometragem média percorrida para cada grupo. Na segunda parte são apresentados os cálculos associados à previsão da energia consumida e emissões de GEE do setor de transportes. Por fim, são construídos os cenários futuros ao quais servem de comparação posterior.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados das previsões para o consumo de energia total e elétrica, assim como as emissões de GEE para os vários cenários pré-estabelecidos e suas análises. É ainda efetuada uma análise comparativa entre os cenários propostos e as constatações a partir dos resultados obtidos, em relação ao consumo de energia final, consumo de energia elétrica e emissões de GEE.

No último Capítulo, são apresentadas as conclusões a partir do estudo e também são descritas as limitações do trabalho, bem como os estudos futuros propostos que podem contribuir para o tema abordado aqui neste documento.

Capítulo 2

Estado da Arte

Na primeira parte deste capítulo é apresentada a descrição do histórico evolutivo dos veículos elétricos bem como as tecnologias existentes no mercado.

A segunda parte do capítulo caracteriza o setor de transportes Português e define a composição da frota no ano base (2011) utilizado nos cenários em análise.

A terceira parte do capítulo, apresenta o balanço energético, principalmente no setor de transportes e identifica como é composta a produção de energia elétrica em Portugal. Ao final desta parte, são apresentados os objetivos e metas firmados pela UE e por Portugal, relacionadas ao consumo de energia.

A quarta parte do capítulo define os conceitos relacionados aos GEE e também são apresentados os objetivos e metas propostos pelos comitês Portugueses e Europeus em relação as emissões de GEE.

2.1 Veículos Elétricos

2.1.1 Breve Histórico Evolutivo

Os primeiros veículos elétricos surgiram em meados do século XIX na Europa e nos Estados Unidos, antes mesmo dos veículos a CI. Na mesma época, em 1859, foram desenvolvidas pelo belga Gaston Planté as primeiras baterias de chumbo-ácido, usadas naquela época

para armazenamento de energia nos primeiros modelos de veículos elétricos construídos, substituídas posteriormente pelas baterias níquel-ferro com 40% a mais de densidade energética que as de chumbo-ácido, desenvolvidas por Thomas Edison em 1901 [4]. Além do desenvolvimento do sistema de armazenamento de energia, outros fatores foram importantes para a história dos veículos elétricos, como a frenagem regenerativa, onde era possível que a energia cinética gerada pelo veículos em movimento se transformasse em energia elétrica durante uma frenagem assim como os sistemas híbridos a gasolina e eletricidade [5].

A razão pela qual se desenvolveram os modelos considerados híbridos, foi de compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos e a falta de estrutura de distribuição de energia elétrica no início do século XX, contrária à dos veículos de combustão interna onde havia facilidade de distribuição de combustíveis líquidos, comercializados em pequenos estabelecimentos comerciais, permitindo a rápida expansão das rede de distribuição de gasolina [5]. Ao se comparar a densidade energética entre os combustíveis fosseis e os sistemas de armazenamento de energia, pode-se observar que enquanto as células de lítio armazenam cerca de 690 watts-hora (Wh) por litro, 1 litro de gasolina comum, cerca de 8.890 Wh. A comparação indica que a quantidade de energia contida em 1 litro de bateria é bem menor que a contida em 1 litro de gasolina [6].

A aceitação dos veículos elétricos no mercado atingiu índices elevados no início de sua história, principalmente no sistema de transportes americano, pois da frota total de veículos da cidade de Nova Iorque, 20% é de automóveis elétricos, como o apresentado na Figura 2.1.

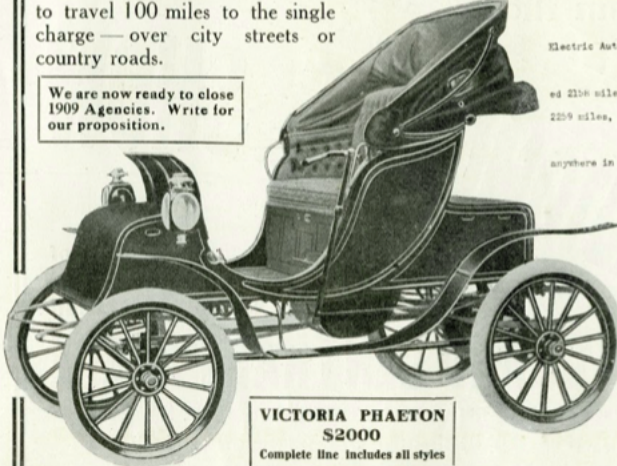
Mesmo com aceitação do mercado consumidor, a frota de veículos elétricos entrou em declínio após alguns fatores como a descoberta de grandes reservas petrolíferas no Texas que reduziram o preço da gasolina. Acresce ainda a redução nos custos de fabricação dos veículos de combustão interna, graças à produção em massa criada por Henry Ford onde os veículos produzidos passaram a custar, sensivelmente metade do preço dos elétricos, assim como as limitações de velocidade e de autonomia dos veículos elétricos que impedia sua utilização em trajetos mais longos. A partir da década de 30, os veículos elétricos foram

STORAGE
SUPPLIES

THE 100-MILE Fritchle Electric IS GUARANTEED

to travel 100 miles to the single charge—over city streets or country roads.

We are now ready to close 1909 Agencies. Write for our proposition.



**VICTORIA PHAETON
S2000**
Complete line includes all styles

PHONE MAIN — 9444

CENTRAL GARAGE
1310-12 NEW YORK AVE.
GASOLINE AND ELECTRIC CARS
STORED AND REPAIRED

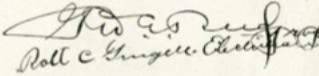
WASHINGTON, D. C. December 10, 1908.

TO WHOM IT MAY CONCERN:

This is to certify that we charged Mr. Fritchle's Electric Automobile and assisted in running down the car.

When the car left the garage, the odometer registered 2136 miles and when it returned the next day, it registered 2259 miles, showing that 123 miles had been run on one charge.

We are positive that the car was not recharged anywhere in the meantime.



Roll C. Fritchle

The above letter is respectfully submitted as absolute proof of our "100 mile per charge" claim—in this particular instance, however, the mileage having been made by a Fritchle Electric immediately after the completion of an overland tour from Lincoln, Neb., to New York City, thence to Washington, D. C. through hundreds of miles of mud and over the Allegheny mountains.

Art Catalogue showing entire line of open and closed cars mailed on request

The Fritchle Automobile & Battery Co.
1449-1455 Clarkson St., Denver, Colorado

Figura 2.1: Modelo de veículo elétrico, início do século.

sendo cada vez menos vistos e produzidos, usados apenas para prestação de pequenos serviços.

O mercado de veículos elétricos desenvolve-se novamente a partir da década 60, quando questões ambientais alavancaram o interesse tecnológico em veículos elétricos, como a queima de combustíveis fósseis como a gasolina, que naquela época ainda tinha por componente principal de aditivo o chumbo, além da não obrigatoriedade da utilização de filtros nem catalizadores para conter as emissões geradas pelo veículos da época. A crise do petróleo de 1973, causada pelo embargo dos produtores de petróleo, teve como consequência o racionamento do produto em diversos países, levando à necessidade de encontrar alternativas ao uso da gasolina, também contribuíram para que houvessem investimentos em pesquisas e desenvolvimento desse tipo de veículo. Mesmo com toda a procura por veículos mais eficientes tanto em termos de consumo quanto de emissão, os protótipos desenvolvidos não chegaram a serem comercializados pois ainda não se apresentavam competitivos suficiente para concorrerem com os já consolidados veículos a combustão interna [5]. No

final da década de 80 e início da década de 90, os modelos de veículos que tinham por objetivo a utilização de fonte de energia alternativa voltaram a ganhar forças novamente, desta vez por meio de ações governamentais e organização climáticas que alertavam para a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, indicando a necessidade em reduzir o consumo de energia, além de implementar fonte energéticas renováveis[5]. Em 1990 foram iniciadas as exigências dos Veículos Emissão Zero da Califórnia, que incentivaram os fabricantes de automóveis a se comprometerem com um limite anual de vendas de carros elétricos através da distribuição de créditos desses veículos [7]. Na Europa, a comissão da UE adotou o Livro Branco relativo ao desenvolvimento futuro da política comum dos transportes, no ano de 1992 [8]. Mesmo com todos os esforços em relação à políticas ligadas à redução do consumo elevado e emissão de gases pelos veículos de combustão interna, o desenvolvimento e comercialização de veículos elétricos tinha fortes oponentes com interesses econômicos que iriam contra a implementação desse tipo de veículo. Organizações americanas de produções automotivas questionavam que essa modalidade de veículos ainda apresentava um valor elevado e também gerariam grandes impactos ambientais no descarte das baterias compostas por chumbo[5].

A evolução até o presente momento tem sido em grande parte fomentada pelos tratados, regulamentos e medidas internacionais para a redução das emissões de GEE e mais recentemente com as políticas de desenvolvimento sustentável. A era atual dos veículos elétricos se iniciou no ano de 1997, quando a fabricante japonesa Toyota lançou o Prius, primeiro veículo elétrico híbrido produzido em série, com alto grau de aceitação entre os consumidores, além de elevado índice de satisfação. Desde então, diversos fabricantes de automóveis tradicionais lançaram modelos de veículos com motores elétricos, sendo eles puramente elétricos ou híbridos em suas diversificações, que serão apresentadas ao longo deste trabalho. Outras fabricantes também tiveram papel importante para o atual cenário de grande aceitação dos veículos elétricos como a americana Tesla, que em 2006 introduziu o Tesla Roadster, com conceito moderno que alterou as percepções dos consumidores. Outra fabricante que obteve sucesso foi a também japonesa Nissan, com o modelo Leaf que tem como objetivo fornecer um carro familiar, ecológico e de preço popular.

2.1.2 Modelos de Tecnologias Associadas

Segundo estudo apresentado em [9], veículos elétricos são definidos por viaturas que utilizam propulsão elétrica de forma exclusiva ou parcial como fonte de energia. O estudo também classifica os veículos elétricos em três tipologias diferentes, sendo elas:

- Veículos híbridos: apresentam como característica principal a associação de motor a combustão interna e motor elétrico, onde as baterias do veículo são recarregadas a partir do motor de combustão interna e também pela frenagem regenerativa, sem que nenhuma fonte externa de eletricidade seja utilizada [9]. A categoria pode ser dividida em 3 subcategorias, sendo elas: série, paralelo e mistos. A classificada como série utiliza como tração apenas o motor elétrico, onde o motor à combustão fornece energia para recarregar as baterias. Na categoria paralelo, conta com tração entre o motor elétrico e a combustão interna. Por fim o misto combina as características dos sistemas anteriores, sempre priorizando a máxima eficiência [10];
- Veículos *plug in*: são veículos que podem ser recarregados a partir de fontes externas de eletricidade ou a partir do motor a combustão interna. A função do motor a combustão interna subdivide esses veículos em outras duas categorias: paralelo e série. Nos veículos *plug in* paralelos o motor a combustão interna e o motor elétrico são acoplados mecanicamente ao eixo do veículo por um sistema de transmissão. Nos veículos *plug in* serie apenas o motor elétrico é acoplado ao eixo do veículo, enquanto o motor a combustão interna tem por objetivo o recarregamento das baterias, quando necessário [9];
- Veículos elétricos puros: são veículos com propulsão exclusivamente elétrica, dependentes do sistema de armazenamento de energia baseado em baterias, as baterias são recarregadas através de fontes externas, como a rede de distribuição pública, além do aproveitamento da energia proveniente do sistema de frenagem regenerativa [9].

Um dos principais componentes dos veículos elétricos são sem dúvidas as baterias, que

dentre as tecnologias disponíveis tem como mais utilizadas para esse segmento, as compostas por níquel-hidreto metálico (NiMH) e íon-lítio, sendo a primeira com maior recorrência em diversos modelos de veículos elétricos, devido à maior vida útil. Entretanto seu elevado peso e nível de aquecimento levaram à necessidade de desenvolvimento e pesquisa de novos materiais. Atualmente a grande aposta dos fabricantes de veículos elétricos está nas baterias íon-lítio, que apresenta boas vantagens em termos de densidade de energia, quando comparada as primeiras e de terem maior eficiência nos processos de recarga.

2.2 Setor de Transportes Português

As atividades humanas como a mobilidade das pessoas e dos bens de consumo, são exercidas no setor transportes. O desenvolvimento de tecnologias com maior eficiência energética, tanto para mobilidade humana quanto de bens, reflete-se a médio e longo prazo em indicadores positivos em relação aos impactos ambientais que o setor exerce no planeta, uma vez que as emissões de GEE são em sua grande maioria provenientes dos transportes. Além disso o setor de transportes é o maior consumidor de energia primária (petrolífera), contribuindo para a dependência energética do país.

O Relatório do Estado do Ambiente (REA) de 2019 [2] realiza a coleta e análise dos dados ambientais a fim de formular os relatórios ambientais. Este relatório prevê mitigar os impactos negativos deste setor sobre o ambiente, promover a transição do transporte individual de passageiros para o transporte coletivo, assim como do transporte rodoviário de mercadorias para o respetivo transporte ferroviário. Desta forma são objetivos fundamentais das políticas de transporte, como também a modernização do parque automóvel, tornando-o mais eficiente e melhorando o seu desempenho em relação ao impacto ambiental proveniente dos veículos [2].

2.2.1 Frota de Veículos Portuguesa

De acordo com a Associação do Comércio Automóvel de Portugal (ACAP) a frota de veículos Portuguesa se divide em 2 grandes grupos e esses se dividem em outros dois,

como apresentando a seguir:

- Ligeiro de passageiros e comerciais;
- Pesados de passageiros e de mercadorias.

Por definição Veículos Ligeiros se definem por "Veículo automóvel rodoviário, com peso bruto até 3 500 kg e cujo número de lugares sentados, incluindo o do condutor, não seja superior a nove", com as seguintes aplicações possíveis de acordo com o Artigo 106º. da Lei n.º 72/2013 [11], de Classes e tipos de automóveis:

- De passageiros: os veículos que se destinam ao transporte de pessoas;
- De mercadorias: os veículos que se destinam ao transporte de carga;

A composição da frota portuguesa no ano de 2011 (ano considerado de base nos casos de estudo posteriores), é apresentada na Tabela 2.1 com a indicação em valores percentuais da participação de cada categoria na composição geral da frota.

Tabela 2.1: Parque de veículos em Portugal, 2011 [12].

| Parque de Automóveis | | Unid. | % |
|----------------------|-------------|---------|-------|
| Ligeiros | Passageiros | 4522000 | 77% |
| | Comerciais | 1206000 | 20,5% |
| Pesados | | 145000 | 2,5% |

A partir da análise da Tabela 2.1, pode-se observar que a frota de veículos pesados tem a menor participação entre as categorias, representando apenas 2,5% do total, enquanto a frota de veículos ligeiros compreende a grande maioria da frota no país com 97,5%.

2.2.2 Mercado de Veículos Elétricos

A Agência Internacional de Energia (IEA) apresenta anualmente o *Global EV Outlook*, uma publicação anual que identifica e discute desenvolvimentos recentes em mobilidade elétrica em todo o mundo. Desta forma a edição de 2019 do anuário apresenta a evolução

dos veículos elétricos em termos de histórico de vendas e dos estoques no mundo. Segundo o *Outlook* os estoques de veículos elétricos mais do que dobraram no ano de 2018, com um crescimento de aproximadamente 63% se comparado ao ano anterior. Esta evolução foi observada também nos anos anteriores de 2017 e 2016 com crescimento de 57% e 60% respectivamente.

A China é o país com maior número de veículos elétricos no mundo, com cerca de 45% da frota mundial, tendo praticamente duplicado a frota de veículos elétricos no ano de 2018. A Europa tem o segundo maior estoque de veículos elétricos, com cerca de 24% do total mundial e os Estados Unidos representam 22%.

Dentre os países Europeus, a Noruega detém a maior penetração de veículos elétricos, com cerca de 50% da frota [13]. Diferentemente de outros países com renda Produto Interno Bruto PIB *per capita* inferior a 20 mil euros, o número de veículos elétricos registrados em Portugal é próximo a 3,5% da frota total, acima de países com renda PIB *per capita* superiores a 40 mil euros como Alemanha, Áustria e Irlanda [13], como mostra a Figura 2.2.

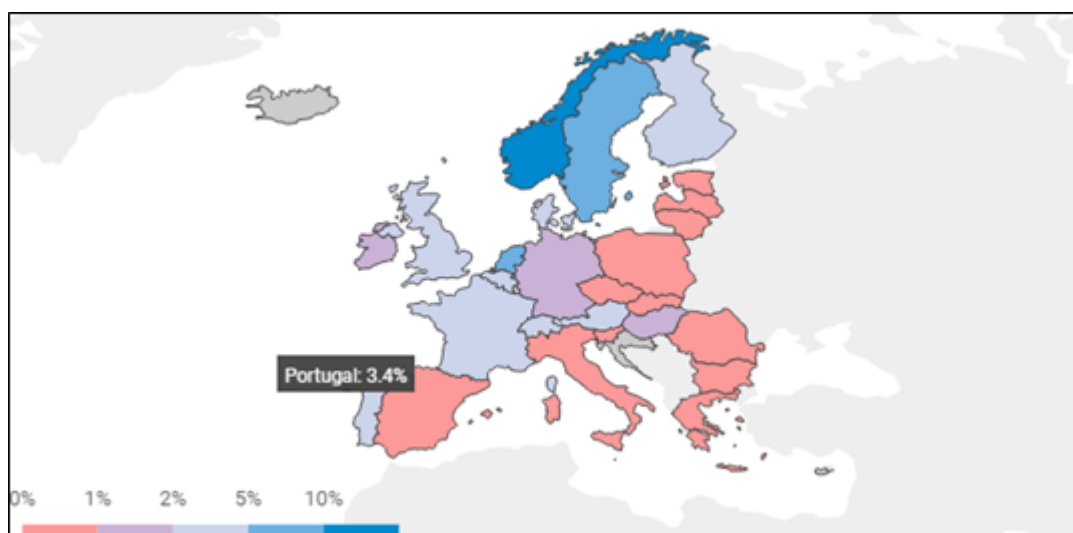


Figura 2.2: Percentual da frota Europeia, de veículos elétricos por país em 2018 [14].

O mercado de veículos em Portugal observou um enorme crescimento da frota de veículos elétricos, principalmente nos últimos 4 anos, pois de acordo com a Tabela 2.2

apresentada pelo *Global EV Outlook 2019* [13], as vendas têm praticamente duplicado anualmente. Em 2017 as vendas saltaram de 1840 para 4390 veículos e em 2018 para 8340. Dentre os fatores preponderantes estão o aumento nos preços dos combustíveis fósseis a aplicação de políticas de incentivo à compra desse tipo de veículo por parte do governo Português e também a consciência ecológica das pessoas em relação ao consumo e seus reflexos a médio e longo prazo.

Tabela 2.2: Vendas de veículos elétricos novos por país, 2005-18 (milhares de veículos) [13].

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Australia | | | | | | | 0.05 | 0.25 | 0.29 | 1.32 | 1.77 | 1.37 | 2.28 | 3.61 |
| Brazil | | | | | | | | 0.09 | 0.17 | 0.06 | 0.09 | 0.17 | 0.36 | 0.43 |
| Canada | | | | | | | 0.52 | 2.02 | 3.12 | 5.07 | 6.96 | 11.58 | 16.68 | 44.15 |
| Chile | | | | | | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.13 | 0.18 |
| China | | | | | 0.48 | 1.43 | 5.07 | 9.90 | 15.34 | 73.17 | 207.38 | 336.00 | 579.00 | 1 078.53 |
| Finland | | | | | | | 0.03 | 0.18 | 0.22 | 0.44 | 0.69 | 1.43 | 3.06 | 5.71 |
| France | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | 0.01 | 0.19 | 2.73 | 6.26 | 9.62 | 12.64 | 22.95 | 29.51 | 37.60 | 46.70 |
| Germany | 0.02 | | | 0.07 | 0.02 | 0.14 | 1.65 | 3.37 | 6.93 | 12.74 | 23.19 | 24.61 | 54.56 | 67.50 |
| India | | | 0.37 | 0.16 | 0.35 | 0.45 | 1.43 | 0.19 | 0.41 | 1.00 | 0.45 | 2.00 | 1.20 | 3.30 |
| Japan | | | | | 1.08 | 2.44 | 12.62 | 24.44 | 28.88 | 32.29 | 24.65 | 24.85 | 54.10 | 49.75 |
| Korea | | | | | | 0.06 | 0.27 | 0.51 | 0.60 | 1.31 | 3.19 | 5.26 | 14.71 | 33.68 |
| Mexico | | | | | | | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 0.78 | 1.20 | 1.79 |
| Netherlands | | | | 0.01 | 0.03 | 0.12 | 0.88 | 5.12 | 22.42 | 15.09 | 43.77 | 24.48 | 11.07 | 29.16 |
| New Zealand | | | | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.32 | 0.49 | 1.50 | 3.47 | 5.54 |
| Norway | | | 0.01 | 0.24 | 0.15 | 0.40 | 1.84 | 4.51 | 8.52 | 19.77 | 33.73 | 44.89 | 62.26 | 72.69 |
| Portugal | | | | | | 0.72 | 0.19 | 0.05 | 0.18 | 0.20 | 1.12 | 1.84 | 4.39 | 8.34 |
| South Africa | | | | | | | | | 0.03 | 0.02 | 0.24 | 0.38 | 0.20 | 0.15 |
| Sweden | | | | | | 0.00 | 0.18 | 0.93 | 1.55 | 4.67 | 8.59 | 13.42 | 20.35 | 28.96 |
| Thailand | | | | | | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.27 | 0.00 | 0.03 | 0.20 |
| United Kingdom | 0.22 | 0.32 | 0.45 | 0.22 | 0.18 | 0.28 | 1.22 | 2.69 | 3.75 | 14.74 | 29.34 | 37.91 | 47.25 | 50.36 |
| United States | 1.12 | | | 1.47 | | 1.19 | 17.73 | 53.24 | 96.70 | 118.78 | 113.87 | 159.62 | 198.35 | 361.32 |
| Others | 0.53 | | | 0.08 | 0.03 | 0.16 | 2.53 | 4.79 | 6.14 | 12.06 | 23.10 | 30.44 | 62.20 | 83.15 |
| Total | 1.89 | 0.34 | 0.84 | 2.24 | 2.32 | 7.59 | 48.95 | 118.68 | 204.92 | 325.80 | 545.96 | 752.06 | 1 174.45 | 1 975.18 |

2.3 Balanço Energético

Segundo o REA, o setor de transportes é o responsável pela maior parcela do consumo de energia total no território Português, cerca de 38%, como mostra a Figura 2.3. Ainda dentro desta parcela, 95% são utilizados nos transportes rodoviários na forma petrolífera, trazendo grande dependência energética ao país [2]. A Figura 2.4, apresenta os dados referentes às considerações anteriores, onde se apresenta a evolução do consumo de energia nos transportes nacionais, em função das tipologias, consideradas no anuário Energia em Números, publicados pelo Observatório da Energia da Direção Geral de Energia e Geologia

(DGEG) e pela Agência para a Energia, Unidade de Informação (ADENE), no ano de 2019 [1].

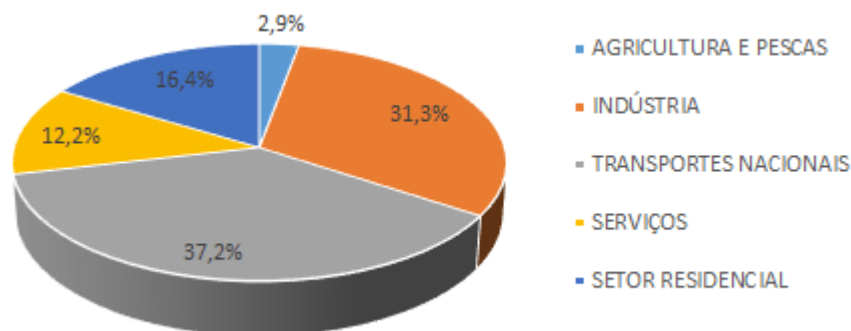


Figura 2.3: Consumo de energia total por setor de atividade % - 2017 [1].

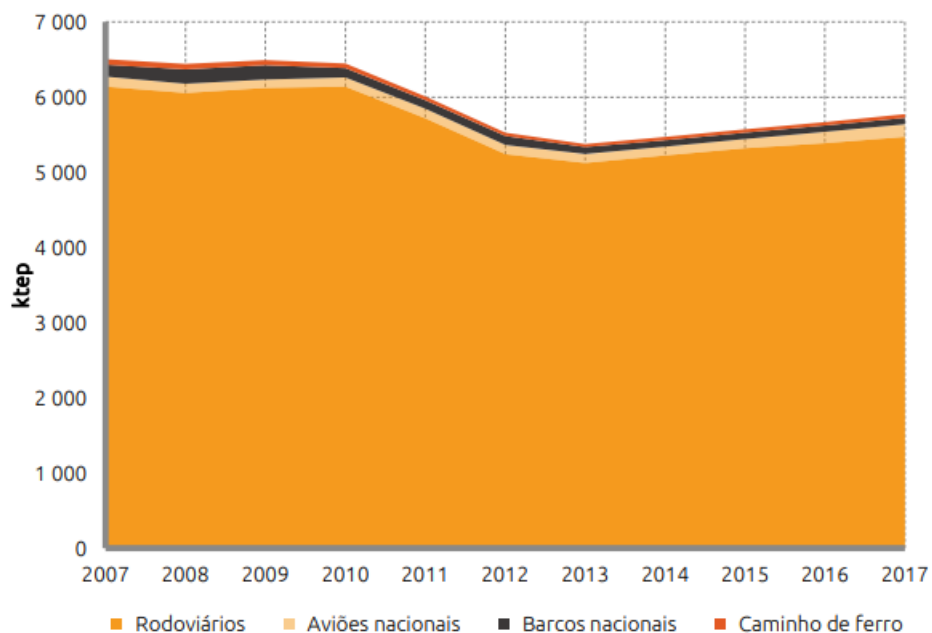


Figura 2.4: Evolução do consumo de energia nos transportes nacionais [1].

Ainda de acordo com este documento, a predominância da dependência petrolífera no setor de transportes rodoviários pode ser observada na Figura 2.5, onde gasóleo e gasolina compreendem quase que na totalidade as fontes de energia utilizadas no setor, cerca de 80% e 20% respectivamente. Verifica-se ainda uma pequena participação do Gás

de Petróleo Liquefeito (GPL) e Gás Natural, cerca de 1%. O anuário aponta que o peso do consumo de eletricidade nos transportes rodoviários foi residual [1].

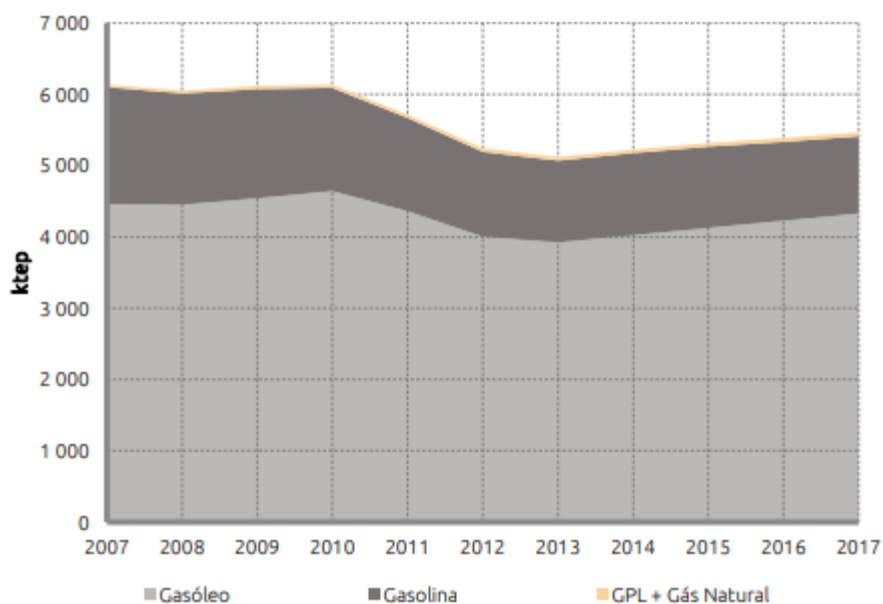


Figura 2.5: Estrutura do consumo do setor transportes [1].

No âmbito das metas aplicadas à política energética nacional, Portugal tem como objetivo reduzir a dependência energética do país, principalmente em relação ao petróleo, que se traduz em uma escala variante entre 70% e 90% nos últimos anos, uma vez que o país não tem recursos fósseis, como o gás natural e/ou o petróleo.

A intensidade energética total é um indicador da eficiência da economia que evidencia a relação entre a energia total consumida e o PIB. Uma intensidade energética da economia elevada indica uma baixa eficiência da “conversão” de energia em riqueza. A Figura 2.6 apresenta a evolução da intensidade energética por setor de atividade, onde observa-se certa estabilidade do índice no setor de transportes nos últimos 20 anos.



Figura 2.6: Evolução da intensidade energética por setor de atividade [1].

2.3.1 Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal

A produção de energia elétrica portuguesa é, em sua maioria, pautada pela geração a partir de fontes renováveis, como mostra a Figura 2.7, da Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) [15]. Em 2019, cerca de 57% de toda energia gerada vem de fontes renováveis como eólica, solar, hídrica e bioenergia, sendo a primeira com maior participação no total.

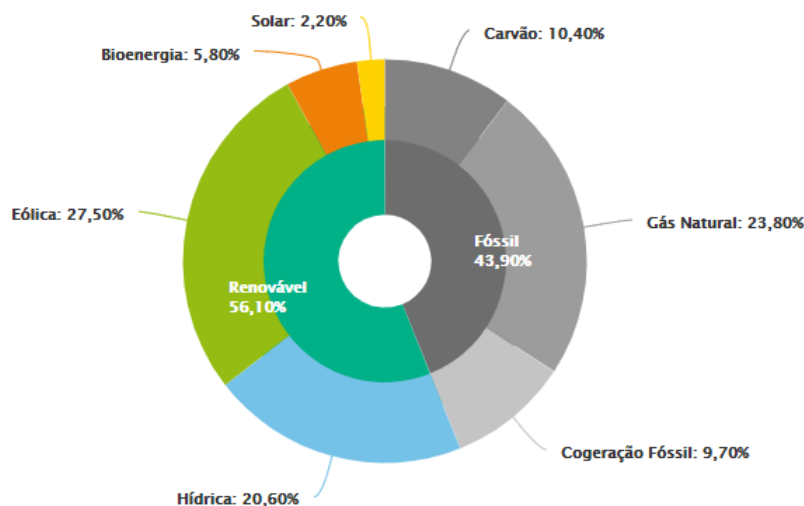


Figura 2.7: Balanço da produção de eletricidade (Portugal Continental)[15].

A APREN lança boletins mensais com o balanço da produção de energia elétrica, onde é possível observar, de acordo com a Figura 2.8, que os preços praticados no Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) estão diretamente ligados aos níveis da produção de

renováveis. A exemplo disso, pode-se identificar nos meses de março e abril de 2018, onde a curva de produção de energia por renováveis e a curva dos preços praticados se comportam de forma inversamente proporcional, assim como nos meses seguintes de 2018, quando a produção de renováveis diminui e os preços sobem.

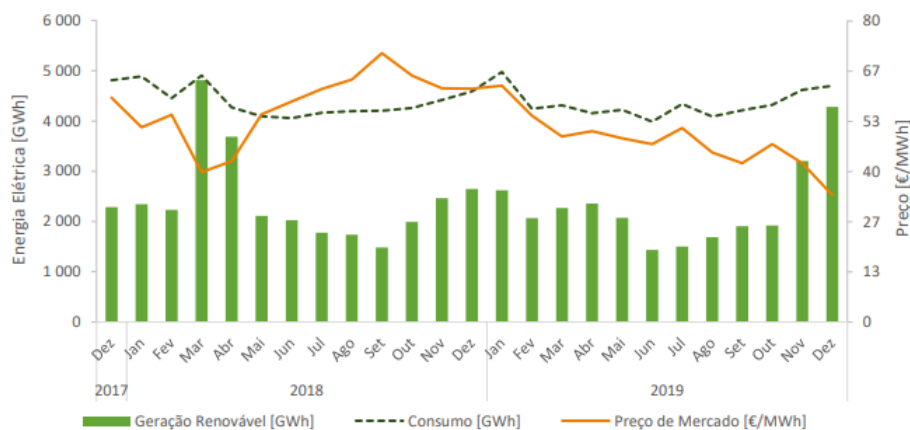


Figura 2.8: Preço de mercado, consumo de eletricidade e geração renovável (dez-2017 a dez-2019) [1].

2.3.2 Objetivos e Metas para o Consumo de Energia

A produção e o consumo de energia impacta direta e indiretamente no meio ambiente, relacionando as condições climáticas atuais resultantes das emissões para a atmosfera de gases com efeito de estufa. De acordo com a Figura 2.8, Portugal ainda apresenta grande dependência energética, principalmente em relação aos combustíveis fósseis, como apresentado na Figura 2.9. Ainda de acordo com a publicação do documento Energia em Números [1] em 2017 ocupava a 4ª posição entre os países da UE-28 com a maior dependência energética, atrás apenas de Malta, Chipre e Luxemburgo.

O REA, implementado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), é utilizado como referência ao que diz respeito à definição, execução e avaliação da política ambiental, onde se apresentam as atualizações das políticas ambientais e as metas estipuladas pelo governo Português e pela UE. A UE, por sua vez, tem como apoio um relatório baseado em informações ambientais objetivas, confiáveis e comparáveis, a partir da Agência Europeia

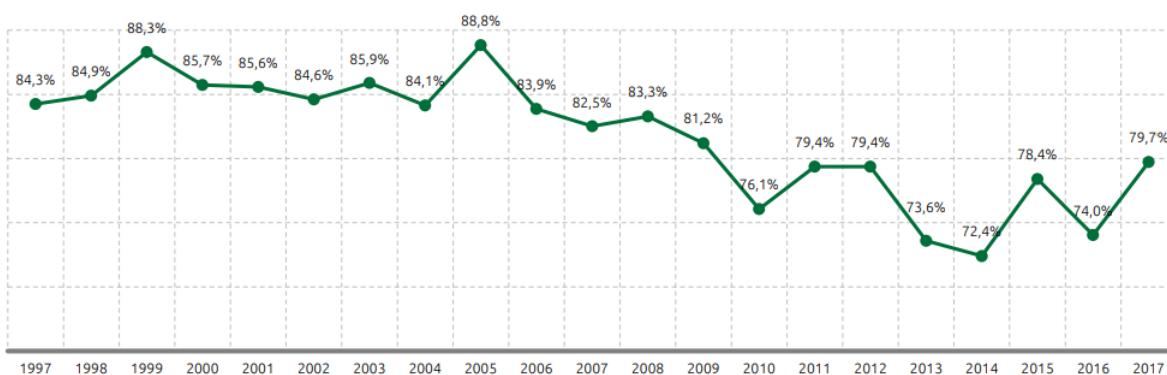


Figura 2.9: Evolução da dependência energética Portuguesa em 2018 [1].

do Ambiente (EEA) e da Rede Europeia de Informação e Observação Ambiental (Eionet), denominado Relatório Europeu do Estado do Ambiente (SOER), atualizado em 2015.

De acordo com o REA os objetivos e metas referentes a produção e consumo de energia são definidos como O Pacote “Energia-Clima” (ou Pacote “20-20-20”), descrito pelo REA como:

...adotado em dezembro de 2008 pela UE, estabeleceu para 2020 a redução de 20% do consumo de energia primária, relativamente aos níveis de 1990. Em outubro de 2014, no âmbito do quadro de ação da UE relativo ao “Energia e Clima” para 2030, foi estabelecida a meta não vinculativa de redução do consumo de energia de pelo menos 27% em relação às projeções do consumo futuro de energia com base nos critérios atuais;
REA

Além do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) no período 2013-2016, onde é definido pelo REA como:

...estima uma redução do consumo energético de aproximadamente 8,2% relativamente à média do consumo final de energia verificada no período entre 2001 e 2005, o que se aproxima da meta definida pela UE de 9% de poupança de energia até 2016 (Diretiva 2006/32/CE). Para 2020, o PNAEE fixa o objetivo geral de redução de 25% do consumo de energia primária e um objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30% relativamente à média do consumo verificada no período entre 2001 e 2005. [2]

Em relação as Energias Renováveis, os objetivos e metas segundo o REA são:

- A União Europeia definiu, por meio de diretiva que "Portugal alcance até 2020 uma quota de 31% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e uma quota de 10% no setor dos transportes"[2];
- Referente ao Pacote Energia-Clima 2030 da UE, definiu-se que "a meta vinculativa de pelo menos 27% de energias renováveis no consumo total de energia na UE em 2030"[2];
- "Preveem também a incorporação de 59,6% de energia renovável na eletricidade até 2020"[2].

No ano de 2019 o governo Português apresenta então o PNEC, baseado no pacote apresentado pela comissão europeia ilustrado na Figura 2.10, onde são definidas as metas para 2030 em relação a produção e consumo de energia e emissões de GEE, as quais tem como objetivo colaborar com a meta de neutralidade carbônica em 2050 [3].

Em relação ao setor de transportes, o PNEC prevê que para 2030, ao menos 1/3 da frota nacional seja substituída por veículos elétricos, com reduzida ou zero emissão de GEE, e que seja alcançada a meta de aumento da utilização de renováveis em 20% no setor [3]. A promoção do consumo de eletricidade no setor dos transportes terá um papel fundamental com objetivo de descarbonização do setor.

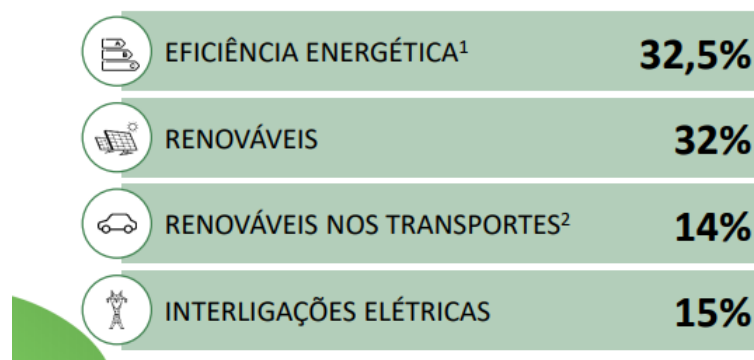


Figura 2.10: Metas de energia da União Europeia para 2030 [3].

2.4 Emissões de GEE

A poluição atmosférica é sem dúvidas um dos problemas ambientais mais preocupantes dos últimos tempos, desta forma a grande maioria dos países, tem investido forte em iniciativas que diminuam os impactos da emissão de gases poluentes no planeta. A legislação ambiental prioriza reduzir os efeitos do aquecimento global com princípios e conceitos que devem ser entendidos e serão apresentados a seguir.

2.4.1 Efeito de Estufa

Este efeito é natural e ocasionado pela concentração de gases na atmosfera, onde é formada uma camada permitindo assim, que apenas raios solares passem e haja absorção de calor, processo esse responsável por manter adequada a temperatura terrestre garantindo a sobrevivência dos seres vivos. A energia que provém do sol, ou parte dela, alcança a atmosfera terrestre e a restante é refletida de volta para o espaço. A faixa de energia com menor comprimento de onda é absorvida na camada de ozônio chegando à superfície terrestre, que por sua vez irradia energia em comprimentos de ondas maiores. A camada de ozônio retém esta energia, não permitindo que ela volte para o espaço, garantindo assim a temperatura na terra a mantendo aquecida, dando origem ao efeito estufa. Entretanto esse fenômeno tem se agravado pela ação antrópica, que eleva as emissões de GEE na atmosfera, provocando alterações climáticas em todo o planeta. O aumento da concentração de gases faz com que o calor tenha dificuldade em ser devolvido ao espaço, assim elevando cada vez mais a temperatura terrestre.

O equilíbrio entre a energia solar que incide na superfície terrestre e a energia que se reflete em forma de calor, mantém o clima inalterado. O desequilíbrio pode ocorrer de forma natural quando há variação na quantidade de energia que chega a superfície da terra. Isso ocorre pela mudança na órbita da Terra ou do próprio Sol, ou até mesmo pela ação do homem variando a quantidade de energia que chega a superfície terrestre e é refletida para o espaço, pela presença de nuvens ou de partículas na atmosfera resultantes de queimadas. Outra forma se dá pela mudança na concentração de GEE fazendo com

que altere a quantidade de energia de maiores comprimentos de onda refletida de volta ao espaço, mudanças essas devido ao aumento insustentável das emissões antrópicas desses gases.

De acordo com dados do REA de 2019 [2], o setor de transportes foi um dos mais importantes elementos para as emissões de GEE durante todo o período apresentado na Figura 2.11, atingindo em 2017 cerca de 25% das emissões totais no país. O Painel

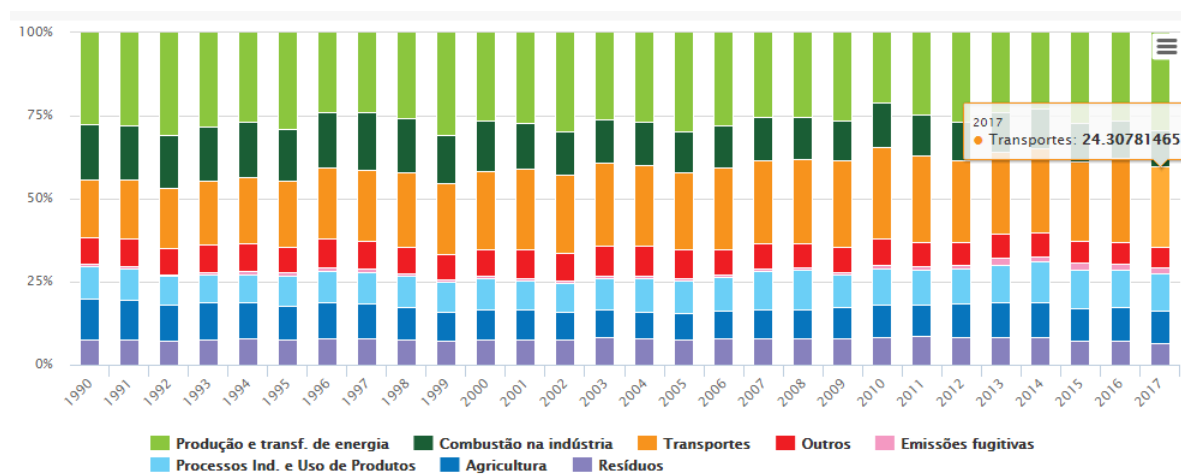


Figura 2.11: Evolução percentual setorial face ao total anual de emissões de gases com efeito de estufa.

Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), órgão criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que atualmente é composto por 195 países membros, tem como objetivo fornecer aos governos as informações científicas que eles podem usar para desenvolver políticas climáticas [16].

O IPCC classifica os gases componentes do efeito estufa em dois grupos, Gases Diretos e Gases Indiretos. Pertencentes ao primeiro grupo estão dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O) e metano (CH_4). Os gases que compõem o grupo dos indiretos são monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC). As classificações determinadas pelo IPCC são baseadas nas Diretrizes do Painel firmadas em 1996. As características de cada gás são apresentadas a seguir, em ordem de abundância na atmosfera:

- Dióxido de Carbono: Representa o principal gás componente, onde suas emissões atingem cerca de 60% do total. A principal fonte de emissão desse gás são as queimas de combustíveis fósseis, além de incêndios florestais e desmatamento;
- Óxido Nitroso: O gás é liberado de forma natural pelos microorganismos no processo de nitrificação. Sua participação no efeito estufa é cerca de 6% do total, entretanto a forte utilização na agricultura e pecuária de fertilizantes químicos, uso elevado de combustíveis fósseis além da queima de biomassa e aumento do desmatamento, tem elevado sua concentração na atmosfera;
- Metano: Proveniente da decomposição da matéria orgânica, encontrado geralmente em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas, além da produção pecuária pela criação de gado e na agricultura pelo cultivo de arroz, o metano tem poder de aquecimento global 21 vezes maior que o dióxido de carbono;
- Monóxido de carbono: Emitido a partir da queima incompleta de combustíveis fósseis e também a partir dos incêndios florestais;
- Óxidos de nitrogênio: A luz solar incidente no NO_x o transforma em NO_2 , além disso contribui fortemente para a formação do Ozônio. O NO_2 reage com água formando ácido nítrico (causador da chuva ácida) e óxido nítrico (NO).
- Compostos orgânicos voláteis não-metânicos: Compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor sob condições normais, pelo que vaporizam facilmente e são emitidos para atmosfera. A emissão de compostos orgânicos voláteis para a atmosfera pode ter origem, tanto em processos naturais como em processos antropogênicos. A utilização de tintas, produtos de proteção de superfícies, de limpeza de metais e os utilizados em lavanderias contém solventes que estão na origem da emissão antropogênica de quantidades significativas desses compostos para a atmosfera. As fontes móveis, em particular os transportes rodoviários, constituem outra fonte de emissão, não só devido às emissões dos gases de exaustão, mas também como resultado da evaporação de combustíveis. Na atmosfera estes compostos combinam-se com os

óxidos de azoto NO_x , originando ozono troposférico, um dos principais constituintes do nevoeiro fotoquímico [17].

2.4.2 Objetivos e Metas para Emissões de GEE

O monitoramento das emissões nacionais é feito a partir do Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoções por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos (SNIERPA) ao qual fica disponível para revisão e reestruturação proposta pela UE e pela Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, resultando assim no inventário nacional de emissões de GEE [2].

O Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), foi criado pela UE e colocado em vigor no ano de 2005, como o objetivo de assegurar ações em relação aos níveis de emissões de GEE [18]. No ano de 2019 foram definidas as Diretivas referentes ao período de 2021 a 2030 no PNEC, para setores CELE e não-CELE onde está contabilizado o setor de transportes. Com a implementação do plano identifica-se o regime de comércio de licenças de emissão como o principal instrumento para assegurar o cumprimento do objetivo de uma redução de 40% dos GEE até o ano de 2030 para os CELE, tendo como base o ano de 1990 como determinada as orientações internacionais. Em relação aos setores não-CELE, o plano prevê redução de 30% nas emissões, em relação a 2005. Os objetivos em relação as emissões foram baseados nos conjuntos e metas estipulados pela comissão da UE, no Pacote do Clima apresentados na Figura 2.12 [3].

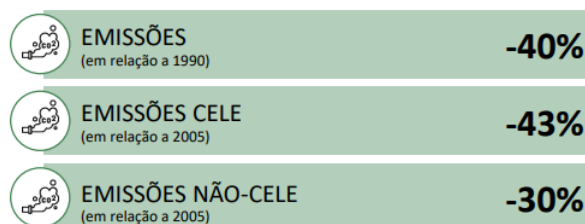


Figura 2.12: Metas de emissões de GEE da UE para 2030.

Dentre os objetivos estipulados pelo PNEC em relação as reduções de GEE, o setor de transportes se caracterizará pelo forte impulso à eletrificação do consumo, com a aposta

da mobilidade elétrica.

Capítulo 3

Metodologias de Projeção

Neste capítulo são apresentadas as metodologias para previsão de consumo de energia e emissões a partir dos modelos *bottom-up* e *top-down*. São detalhados os procedimentos para a caracterização das variáveis fundamentais, destacando-se a frota, o desempenho energético e a quilometragem média percorrida dos veículos ligeiros portugueses, bem como os métodos de previsão e determinação dos valores pertinentes das variáveis relativas a cada grupo de veículos. Por fim é definida a formulação a aplicar para a determinação do consumo de energia e emissões de GEE.

3.1 Modelos de Previsão

O modelo utilizado para previsão do consumo de energia e de emissões de GEE é baseado nos modelos *bottom-up* e *top-down*, aplicados através do *software* LEAP.

A metodologia *bottom-up* para previsão do consumo de energia no setor de transportes é caracterizada pela análise do consumo final de energia nos veículos. É determinado um modelo individual para cada parte e o modelo final é obtido por agregação do conjunto completo do sistema, ou seja, este modelo parte do detalhamento em direção ao todo. Os sistemas são agregados a vários outros subsistemas com maior grau de detalhamento, formando assim um sistema único. A aplicação do modelo pode ser feita a partir da construção de cenários, onde se analisa *what if?* de cada ramificação do sistema em

uma análise setorial detalhada, com possibilidade de avaliação dos ganhos de eficiência do sistema, além de análises econométricas que podem suportar a projeção ou fornecer cenários tendenciais para os parâmetros de modelos técnico-econômicos ou para as forças motrizes do consumo [19].

A modelagem *top-down* consiste na divisão de um sistema em subsistemas, para que se possa entender o funcionamento dos mesmos. Ao contrário do modelo *bottom-up*, a modelagem *top-down* parte do todo em direção ao detalhamento das suas partes. A análise *top-down* cria uma visão geral do sistema, porém sem detalhamento dos subsistemas de primeiro nível. Cada subsistema é então subdividido novamente em diversos níveis de outros subsistemas adicionais, até que toda a especificação seja reduzida a elementos básicos. O modelo propõe uma análise mais abrangente, que por sua vez recorre a métodos predominantemente de produtos que parametrizam e caracterizam o correspondente segmento do mercado, bem como o crescimento do PIB *per capita* e do aumento da população. As aplicações da modelação podem ser realizadas em abordagens híbridas (*bottom e top...*), em conjunção com modelos técnico-econômicos ou paramétricos [19].

A comparação entre os modelos *bottom-up* e *top-down* quando aplicados em avaliações do setor energético, é apresentada na Tabela 3.1, adaptado de [20].

A aplicação dos modelos *bottom-up* e *top-down* pode ser observada em estudos realizados em diversos países, principalmente em relação ao consumo de energia, mas também em análises de previsão de níveis de emissões.

Estudos chineses classificam o consumo de energia e os níveis de emissões de GEE do país em diferentes cenários como em [21] e [22]. Para determinar a previsão do consumo de energia, os autores de [21], estabelecem as previsões para a China até o ano de 2050, considerando as metas de 2020 e 2030 baseando-se no modelo de energia de uso final na China do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley com a modelagem *bottom-up*. No estudo de [22] foi construído um modelo *bottom-up* para estimar a procura futura de energia e as emissões de GEE do transporte rodoviário da China ao nível das províncias. Desta forma o trabalho considera o desenvolvimento econômico local, a população e as políticas energéticas. Os resultados indicam que o estoque de veículos da China continuará

Tabela 3.1: Comparação entre modelos de avaliação do setor energético [20].

| Top-Down | Bottom-up |
|---|---|
| Utiliza dados agregados | Utiliza dados detalhados de tecnologias |
| Avaliação do planejamento através dos seus impactos na produção, na renda, no PIB | Avaliação do planejamento a partir dos seus impactos no desenvolvimento e aplicação de tecnologias |
| Assume que os mercados são eficientes | Não parte da hipótese de eficiência do mercado |
| Progresso técnico agregado | Progresso técnico tende a ser superestimado: existência de “hidden costs” para inovações tecnológicas |
| Tecnologias analisadas por parâmetros de equações | Tecnologia explicitamente tratada no modelo |
| Adequado para avaliação de políticas fiscais, monetárias | Adequado para avaliação de políticas de gerenciamento pelo consumo |
| Não permite avaliação detalhada dos impactos ambientais | Adequado para avaliação de políticas ambientais setoriais |

o
 aumentando para 543 milhões em 2050 e as análises do modelo indicam que os veículos elétricos as baterias e células de combustível reduzirão a procura de petróleo em 94–157 e 28– 54 Mtep em 2050, respectivamente.

Na América Latina, o Brasil também apresenta resultados importantes em relação ao consumo de energia e redução dos níveis de emissões de GEE associados ao setor dos transportes, como por exemplo o estudo [23]. Aqui, é aplicado o modelo *bottom-up* de forma a tornar possível quantificar o impacto da penetração de veículos elétricos em relação a outros que usam diferentes tipos de combustível. O estudo é aplicado especificamente no estado de São Paulo, que é o considerado o principal estado do país. A análise determina que a cada 10% do incremento de veículos elétricos na frota representa uma redução de cerca de 1,3% do total de emissões no estado e aumento de 2% na procura de eletricidade do estado.

Nos Estados Unidos, um outro estudo [24], realiza uma estimativa do consumo total

de energia primária no uso de veículos de transporte pessoal, onde é feita uma comparação entre a utilização de eletricidade e de combustíveis fósseis. O estudo baseia-se nos modelos *bottom-up* e *top-down* para auxiliar na tomada de decisões em políticas, preços e investimentos em energia. Os resultados obtidos pelo estudo apontam que o consumo total de energia primária diminui à medida que a eletrificação da frota de veículos aumenta, ou seja, quanto maior a eletrificação da frota, maior a economia de energia primária, independentemente da quilometragem total percorrida durante o ano.

3.2 Aspectos do Software de Modelagem

Dentro do contexto dos transportes urbanos, realizar o planejamento a médio e longo prazo em relação à implementação de novas tecnologias, garante que as atividades envolvidas no setor possam ser realizadas com mais eficiência energética e gerando menores impactos ambientais. As intervenções governamentais de planejamento, execução e fiscalização dependem diretamente dos estudos relativos ao impacto de cada medida prevista. Dessa forma, faz-se necessária a simulação de diferentes cenários de forma a poder-se avaliar os impactos das políticas públicas. Para que as simulações possam ser realizadas de forma confiável, é necessário um conhecimento prévio das atuais condições do sistema, como a procura e oferta das fontes de energia, assim como quais os impactos ambientais provenientes, além do conhecimento de como tais variáveis energéticas evoluíram durante um prazo determinado.

A utilização de um *software* de simulação possibilita a análise de tais variáveis dentro de certo contexto, como no setor de transportes Português, onde a análise é realizada a partir da aplicação de um modelo específico [25].

O *software* LEAP, utilizado neste trabalho, foi desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute (SEI), sendo amplamente utilizado para análise de políticas de energia e avaliação de mitigação das mudanças climáticas [25]. Devido a sua grande capacidade de aplicação o LEAP foi adotado por milhares de organizações em mais de 190 países. O

planeamento integrado dos recursos, aliado à avaliação da mitigação dos GEE, são atrativos do software a vários países que o utilizam como padrão [25]. Além disso o *software* é utilizado como ferramenta de construção de relatórios climáticos, como o Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas [25]. O LEAP é um modelo de simulação, que pode ser utilizado tanto numa perspectiva *bottom-up* como numa perspectiva *top-down* e consiste essencialmente em um modelo energético ambiental integrado e baseado em cenários, com sua estrutura de cálculo apresentada na Figura 3.1 [25].

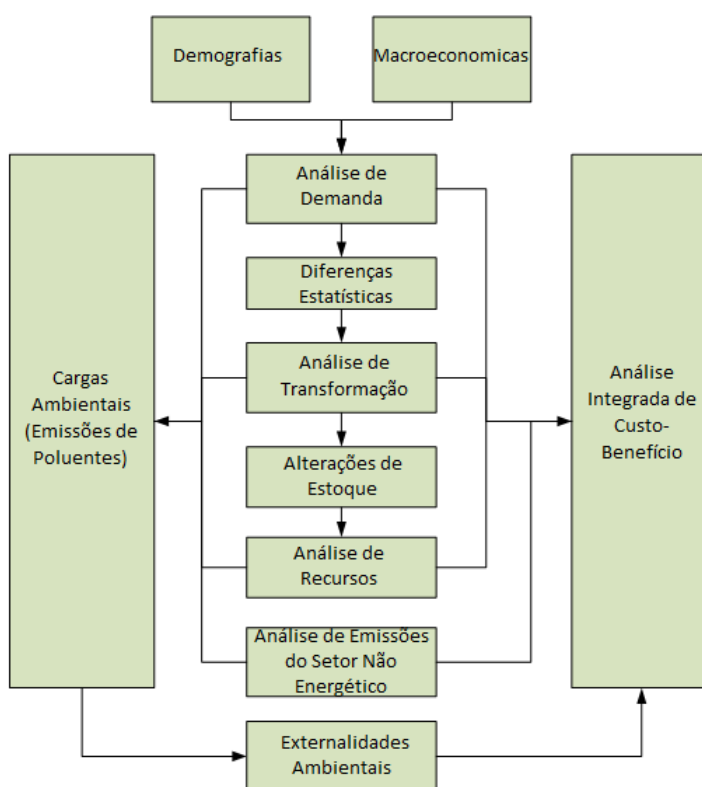


Figura 3.1: Estrutura de cálculos do LEAP, adaptado de [25].

A seleção deste *software*, dentre outros possíveis, deve-se ao fato de que permite uma modelação de vários setores e/ou tecnologias, que pode ser usado para criar modelos de diferentes sistemas energéticos, a partir de estruturas próprias de dados exclusivas, bem adaptada a uma modelagem de médio e longo prazo.

No caso específico em estudo, ou seja, de aplicação ao setor dos transportes, o estudo é conduzido em intervalos anuais, num horizonte temporal de 20 anos, sendo 10 passados

e 10 futuros, onde são estudados vários cenários. O conceito de cenários possibilita a comparação entre opções de como pode evoluir o sistema, ou a consideração de incertezas durante o período de tempo em análise e quais seus impactos futuros. Outro fator determinante para aplicação da ferramenta se deu pelo baixo requisito de dados iniciais, uma vez que o conceito aqui estudado tem um curto histórico de aplicação, pois a modernização da frota, com a inserção dos veículos elétricos da nova geração, só teve valores significativos no mercado a partir da última década [25].

3.3 Modelos Aplicados à Previsão do Consumo de Energia

Para determinação do consumo de energia entre os veículos ligeiros de passageiros e comerciais foi adotado a perspectiva *bottom-up*, enquanto que a determinação da frota de veículos futura baseou-se no modelo *top-down*, relacionando a frota de veículos com o PIB *per capita* em Portugal.

3.3.1 Premissas para Previsão da Frota de Veículos

O princípio adotado para a determinação da frota de veículos foi estabelecido através da relação entre a evolução da frota e o PIB *per capita* de Portugal.

De acordo com [26], para caracterizar o desenvolvimento econômico deve-se observar ao longo do tempo a existência de variação positiva de crescimento econômico, medido pelos indicadores de renda como o PIB *per capita*.

Neste trabalho optou-se por considerar a frota de veículos ligeiros (passageiros e comerciais) principalmente pelo fato de esta compreender cerca de 97,5% da frota total de veículos portuguesa, segundo dados da ACAP [12]. Outro fator decisivo está relacionado com a inexistência de dados históricos: de acordo com os relatórios anuais das Estatísticas do Sector Automóvel da ACAP [12], até o ano de 2017, não há dados de vendas de veículos EHP aplicados a veículos pesados.

Uma das hipóteses estudadas para o método de previsão foi a construção da frota através das vendas. Desta forma, correlacionou-se os dados históricos das vendas (ligeiros de passageiros e comerciais) e o *PIB per capita*. Essa análise obteve um baixo grau de correlação, uma vez que a curva histórica das vendas de veículos (ligeiros de passageiros e comerciais) em Portugal não apresenta um perfil confiável para projeção. Os valores de correlação entre as duas são baixos, na análise *PIB per capita versus* vendas ligeiros de passageiros obteve-se 0,016 e em relação a *PIB per capita versus* ligeiros comerciais obteve-se 0,19, como mostra a Figura 3.2. Pode-se observar na Figura, que durante a curva de vendas, seu comportamento reflete o PIB de forma latente e sem uma previsão de confiança. Esse comportamento pode ser de responsabilidade, por exemplo, de ações de incentivos as vendas de comerciais, entre outras ações governamentais.

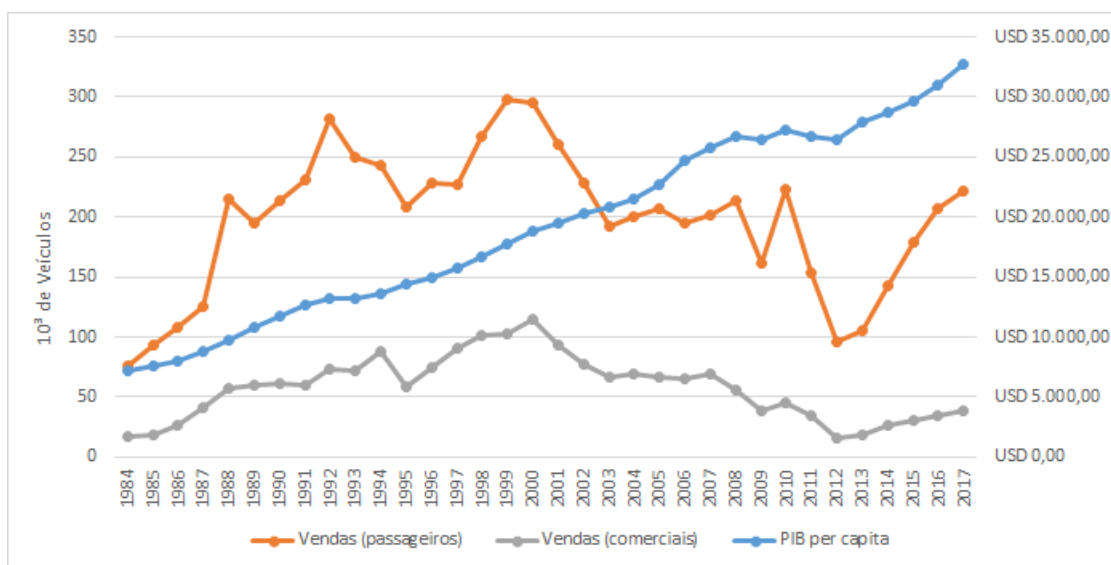


Figura 3.2: *PIB per capita versus* Vendas ligeiros passageiros e comerciais.

Desta forma, optou-se por relacionar a evolução histórica da frota e o *PIB per capita*. No caso em estudo, o coeficiente de correlação obtido na relação *PIB per capita versus* frota de veículos ligeiros de passageiros foi de 0,966 e o obtido para o *PIB per capita versus* veículos ligeiros comerciais foi de 0,920, o que representa um elevado ajustamento de qualidade.

O período considerado da evolução histórica da frota [27] e do *PIB per capita* [28] foi

de 1984 a 2017. A Figura 3.3 apresenta as curvas comportamentais entre a frota (ligeiros passageiros) e o PIB *per capita*.

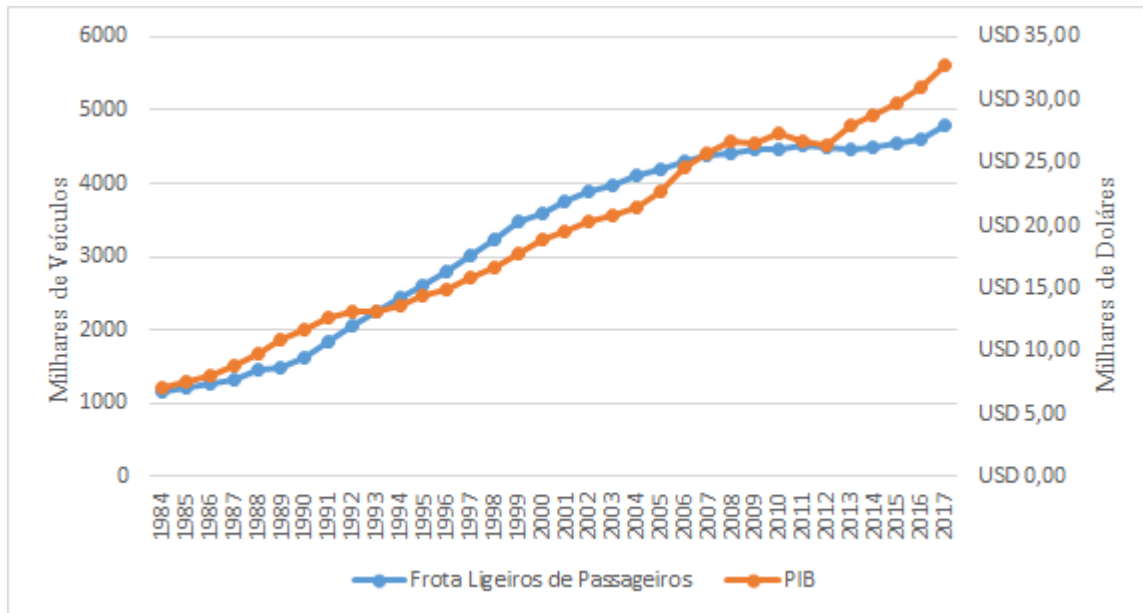


Figura 3.3: PIB per capita *versus* Frota ligeiros de passageiros.

A Figura 3.4 apresenta as curvas comportamentais entre a frota (ligeiros comerciais) e o PIB *per capita*.

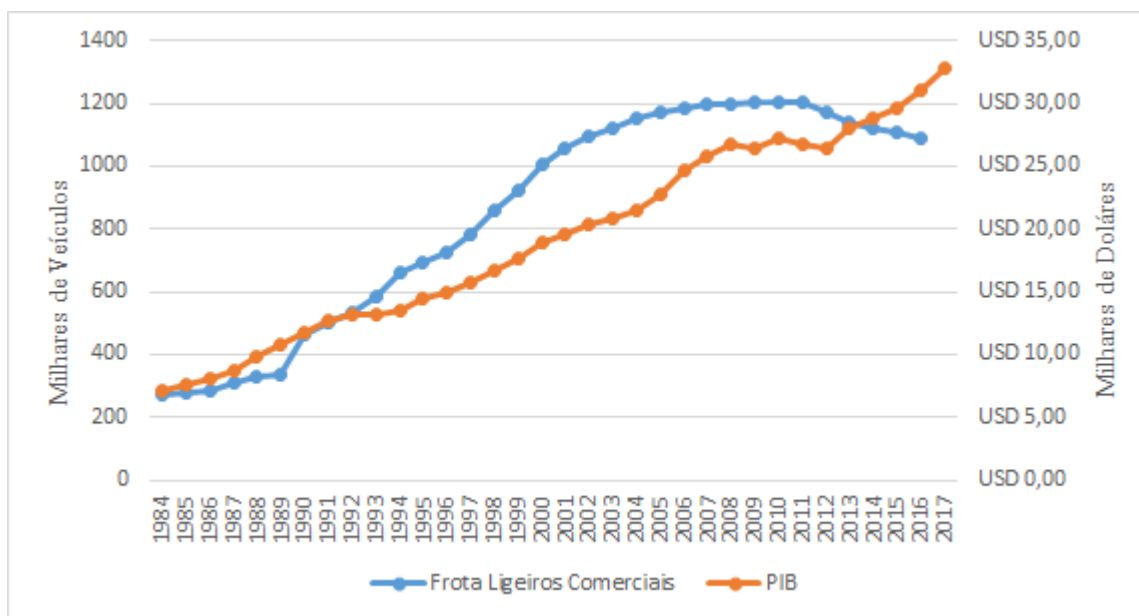


Figura 3.4: PIB per capita *versus* Frota ligeiros Comerciais.

3.3.2 Modelo de Regressão Linear Simples

Para determinação da frota futura de ambos os grupos de veículos, foi aplicado o modelo de regressão linear simples. A análise de regressão estuda a relação entre uma variável chamada dependente e outras variáveis chamadas variáveis independentes. A relação entre elas é representada por um modelo matemático, que associa a variável dependente com as variáveis independentes. Este modelo é designado por modelo de regressão linear simples e se define uma relação linear entre a variável dependente e uma variável independente. A Equação 3.1 representa o modelo de regressão linear simples. O PIB *per capita* se caracteriza como sendo a variável independente (X) e o número de veículos (passageiros e comerciais) é a variável dependente (Y). Além disso, α coeficiente de regressão, que representa o intercepto, β coeficiente de regressão, que representa o declive (inclinação) e ϵ e erro aleatório ou estocástico [29].

$$Y_i = E(Y|X = x_i) + \epsilon = \alpha + \beta x_i + \epsilon, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.1)$$

Para aplicação do modelo é preciso que seja feita a análise da relação linear entre duas

variáveis quantitativas. Existem dois pontos muito importantes que validam a aplicação da modelagem, onde é preciso afirmar se uma relação linear entre as variáveis deve ser assumido e também se o grau de relacionamento linear entre as variáveis é forte ou fraco. Para determinar o grau de relacionamento deve-se observar em que posição o coeficiente de correlação de *Pearson* se encontra no intervalo compreendido entre -1 e 1 [29].

Os pressupostos em relação ao modelo de regressão linear são as premissas que se supõe antecipadamente sobre o modelo, afim de ter um modelo útil a aquilo que se quer obter. Sendo assim, tem-se as considerações onde se utiliza informações da amostra para realizar inferências acerca da população:

i O modelo é linear nos parâmetros:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \epsilon_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.2)$$

ii y_i é a variável dependente;

x_i é a variável independente;

ϵ_i é o erro aleatório.

iii Para dado valor x de X , os erros distribuem-se ao redor da média $\alpha + \beta_x$ com média zero, isto é:

$$E = (\epsilon_i | x_i) = 0 \quad (3.3)$$

iv Deve-se supor que os erros tenham a mesma variabilidade em torno dos níveis de X , ou seja:

$$Var = (\epsilon_i | x_i) = \sigma^2, \forall_i \in 1, \dots, n \rightarrow \text{homoscedasticidades} \quad (3.4)$$

v A covariância entre os termos de erro é zero:

$$Cov = (\epsilon_i | \epsilon_j) = 0, i \neq j \quad (3.5)$$

vi O termo de erro segue uma distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

$$\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.6)$$

A aplicação da modelagem se deu a partir da ferramenta *Microsoft Excel 2016*, onde a partir da função de regressão, se apresentaram os resultados da análise. Desta forma apresentam-se as análises da variância, como as médias quadráticas de regressão, média quadrática residual, bem como a estatística de teste F, que determinou um valor superior ao da distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade num teste bicaudal. Assim sendo descartou-se o teste da hipótese nula, onde não há correlação linear entre X e Y e aceitou-se o teste da hipótese alternativa, onde há correlação linear entre X e Y .

3.4 Indicadores para Determinação do Consumo de Energia

Para se determinar o consumo de energia de qualquer classe do setor de transportes, recorre-se a três fatores:

- Frota
- Consumo Energético
- Quilometragem Média Percorrida

3.4.1 Frota

O parque de veículos rodoviários motorizados em Portugal é dividido em dois grandes grupos, de ligeiros e pesados, sendo o primeiro subdividido em dois outros subgrupos, passageiros e mercadorias, como apresentado nos anuários das Estatísticas dos Transportes e Comunicações (ETC) [30]. Esta classificação em subcategorias obedece a uma

caracterização em função da utilização, como realizado pelo órgão regulamentador, o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT) [31].

Para objeto de estudo deste trabalho, considerou-se apenas a frota de veículos ligeiros, considerando-se veículos de passageiros e de mercadorias. A escolha deste grupo se deu ao facto de que é a maior parcela da frota em circulação no país e também é o grupo onde se tem maior incidência de crescimento nas vendas de veículos EHP. Relativamente aos veículos pesados, os elétricos ainda não apresentam índices de inserção nas vendas, como aponta o último anuário das Estatística do Setor Automóvel (ESA) [27]. Daqui e considerando o horizonte temporal até 2030, a penetração de veículos elétricos na frota de pesados não deve apresentar grandes impactos na frota.

A Equação 3.7 modela a frota em circulação, onde s diz respeito ao vintage (ou seja, o ano em que um veículo é colocado em uso), V é o número máximo de anos vintage, determinado como 25 anos, de acordo com os dados históricos do anuário ESA 2011 [12], v é o grupo de veículos (ligeiros passageiros e comerciais) e y o ano em que se quer determinar a frota.

$$Stock_{v,y} = \sum_{s=0}^V Stock_{y,s,v} \quad (3.7)$$

A determinação da frota (*stock*) de veículos do grupo v no ano y é o somatório dos *stocks* no ano y , para *vintage* do tipo s , do grupo de veículos v .

A frota (*stock*) dos veículos *vintage* de cada grupo em cada ano é determinado pela Equação 3.8.

$$Stock_{y,s,v} = Sales_{v,s} \times Survival_{v,y-s} \quad (3.8)$$

onde a determinação da variável é o produto das vendas dos veículos do grupo v de idade *vintage* s , pelo índice de sobrevivência dos veículos do grupo v , no ano y menos o ano *vintage*.

A sobrevivência dos veículos, caracterizada neste trabalho pela a curva de sucateamento em estudo, foi estimada de acordo com a curva de Gompertz [32], representada pela equação 3.9.

$$S(t) = e^{-e^{(a+bt)}} \quad (3.9)$$

A variável $S(t)$ é o índice de sobrevivência do veículo, ou seja a fração de veículos sucateada na idade t , e a e b são parâmetros de ajuste da curva. Os parâmetros a e b são obtidos a partir da calibração do modelo com base em dados históricos. A curva de sucateamento determina quantos veículos saem se circulação ano após ano. Estes parâmetros são obtidos a partir da calibração do modelo com base em dados históricos.

3.4.2 Consumo de Combustível

O consumo de combustível de um veículo determina qual a eficiência média deste durante a sua circulação em modalidade mista de utilização, sendo ela urbana e rodoviária. O que determina seu valor de aplicação é o tipo de combustível utilizado e como é feita a transformação da energia em movimento. Para efeitos da análise realizada, os valores foram obtidos de exercícios de aplicação do setor de transportes na ferramenta LEAP. Desta forma, a unidade adotada é a mesma para todos os combustíveis, sendo ela $L.100km^{-1}$, com exceção do GPL que é especificada em km/m^3 . É utilizado o pressuposto que estes valores se mantêm constantes durante a vida útil do veículo.

Ao que diz respeito à fonte de energia, esta varia com o tipo de propulsão, se de combustão interna ou elétrica e/ou elétrica híbrida, tal que:

- CI: Diesel, Gasolina e GPL;
- EHP: Puramente elétricos, Híbridos (Gasolina e Diesel) e *Plug in* (Elétricos e Gasolina).

3.4.3 Quilometragem Média Percorrida

Para a determinação do consumo de energia da frota torna-se necessário conhecer as Quilometragens Médias Percorridas (QMP) anualmente pelos veículos ao longo da sua vida útil. O Relatório Nacional de Inventário Português Sobre Gases de Estufa, 1990 – 2012 [33] apresenta a formulação proposta na Equação 3.10, para determinar a degradação da utilização dos veículos, conforme seu tempo de uso. O QMP pode diminuir com o aumento da idade do veículo devido à deterioração, redução de fiabilidade e mudança do uso do carro primário para o secundário [34], [35]. Os parâmetros são divididos em três grupos: no primeiro grupo estão os veículos a combustão interna (gasolina e GPL) e os veículos EHP ligeiros de passageiros e comerciais, o segundo grupo diz respeito aos veículos a diesel ligeiros de passageiros, e por fim, o último grupo diz respeito aos veículos a diesel comerciais.

$$km/year = \frac{A2 + (A1 - A2)}{(1 + (\frac{age}{x0})^p)} \quad (3.10)$$

onde $A2$, $A1$, $x0$ e p , são os parâmetros da equação que determina a degradação no uso dos veículos, determinados pelo Inventário Português [33] (não há detalhamento de cada variável no Inventário). Aplicados a cada tipo de combustível, por categoria de veículo, apresentado no Capítulo 4.

O LEAP relaciona o valor da quilometragem anual média do primeiro ano de utilização do veículo com a curva de perfil de ciclo de vida, determinada por aplicação da Equação 3.10.

A equação 3.11 representa a QMP anual do veículo. O cálculo é feito a partir do produto da QMP anual do veículos (*Mileage*) pela degradação do uso (durante o ciclo de vida), aqui tratado como perfil de ciclo de vida (*MIDegradation*).

$$Mileage_{f,v,y} = Mileage_{v,y} \times MIDegradation_{v,y-s} \quad (3.11)$$

onde f é o tipo de combustível utilizado (fonte de energia), v é o grupo de veículos (passageiros ou comerciais), s é o vintage (ou seja, o ano em que um veículo é colocado em uso) e y é o ano que se quer determinar o QMP.

3.5 Modelos Aplicados à Previsão das Emissões

Para a determinação dos índices de emissões dos principais gases responsáveis pelo efeito de estufa, foram utilizados os procedimentos do IPCC, criado em 1988 no âmbito das Nações Unidas, que tem como objetivo principal sintetizar e divulgar o conhecimento mais avançado sobre as mudanças climáticas, as quais foram publicadas nas Diretrizes Revisadas do IPCC de 1996 para Inventários Nacionais De Gases de Efeito de Estufa, no Manual de Referências [36], revistas pelas atualizações de 2006 [37]. Em 2019 o órgão publicou uma nova atualização, mas não está presente nas bases de dados da ferramenta LEAP na versão 2018.0.1.29 [25].

3.5.1 Metodologia para Determinação das Emissões

As diretrizes de 1996 indicam a aplicação dos dois modelos de previsão das emissões de GEE, apresentados anteriormente, nas aproximações *top-down* e *bottom-up*. A diferença entre a aplicação dos dois mecanismos está na complexidade da apresentação dos gases emitidos, uma vez que o modelo *top-down* considera apenas as emissões de dióxido de carbono (CO_2) a partir dos dados de produção e consumo de energia, sem detalhamento de como essa energia é consumida, enquanto a abordagem *bottom-up* leva em conta as emissões de todos os gases. Neste caso as emissões são quantificadas levando-se em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos. A diferença básica entre as duas metodologias baseia-se principalmente na fiabilidade dos dados. Enquanto a metodologia *top-down* possui uma grande quantidade de informações sobre suprimento de combustíveis, a metodologia *bottom-up* necessita de informações detalhadas, como por exemplo os fatores de emissões específicos de certos gases, que muitas vezes não estão disponíveis [19]

O presente estudo utilizou a metodologia a *bottom-up* para que se pudesse estimar de forma separada todos os gases que compõem os GEE. Assim desta, forma é possível a identificação dos graus de participação dos mesmos, permitindo futuros projetos para redução dessas emissões de (CO₂) e dos gases não-(CO₂).

A determinação das emissões quer a partir do *software* LEAP, quer na Diretriz de 1996 do IPCC, é realizada pelo produto do Fator de Emissão (FE) pela Atividade, ou seja, quantidade de energia consumida ou distância percorrida por uma determinada atividade de uma fonte móvel, como representado na Equação 3.12.

$$Emissões = FE_{i,a,b} \times Atividade_{a,b} \quad (3.12)$$

Sendo i é o gás (CO₂, CO, NO_x, CH₄, etc.), a é o tipo de combustível e b é o tipo de veículo.

O procedimento para aplicação da metodologia segundo as Diretriz de 1996 do IPCC é o seguinte:

- Determinar a quantidade de energia consumida (em TJ), por tipo de combustível, para cada setor e subsetor.
- Multiplicar a quantidade de energia consumida pelo fator de emissão específico de cada combustível, para cada setor e subsetor, que deve ser dado em t/TJ (tonelada/Terajoule).

Os resultados das emissões dos GEE na equação 3.12 são apresentados em toneladas (t). De forma a que os valores sejam apresentados em toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂eq.) recorre-se à Equação 3.13.

$$tCO_2eq = t(gás) \times GWP(gás) \quad (3.13)$$

onde o Global Warming Power ou Potencial de Aquecimento Global (GWP) corresponde a

um dos cinco Relatórios de Avaliação do IPCC (AR1 - AR5), que se baseiam na importância relativa dos GEE, em relação ao dióxido de carbono, na produção de uma quantidade de energia por unidade de volume vários anos após um impulso de emissão, ou seja, os valores de GWP medem o potencial de aquecimento de uma tonelada de cada gás em relação a uma tonelada de CO₂.

Para este estudo foram adotados os valores referentes ao AR5, ou seja, a mais recente versão dos dados do LEAP, os valores de GWP do dióxido de carbono (CO₂) sempre será 1, para os outros gases ao considerar-se um horizonte temporal de 100 anos os valores de GWP são 30 para metano (CH₄) e 265 para óxido nítrico (N₂O). Não são estabelecidos os GWPs dos gases indiretos (CO, NO_x e NMVOC), esses não são contabilizados nos resultados apresentados em CO₂ equivalentes.

Capítulo 4

Caso de Estudo

O presente estudo teve por base a metodologia proposta no capítulo anterior que irá ser aplicada para Portugal continental, tal como já referido. O período temporal em estudo para a projeção das variáveis será o período de 2018 a 2030, tendo por base o programa Portugal 2030. Os objetivos estratégicos do programa tem oito eixos distintos, sendo um deles referente à Energia e Alterações Climáticas, que estabelece como plano “assegurar as condições para a diminuição da dependência energética e de adaptação dos territórios às alterações climáticas, nomeadamente garantindo a gestão dos riscos associados” [38]. O ano base em análise é o 2011, atendendo ao início de apresentação dos dados históricos. Serão caracterizados os cenários futuros estudados neste trabalho, variáveis com a penetração de veículos elétricos na frota.

4.1 Considerações Iniciais do Estudo

4.1.1 Projeção da Frota

Baseando-se na premissa apresentada anteriormente, a frota de veículos do país evolui ao mesmo ritmo que evolui o PIB *per capita*. Sendo assim, a tabela 4.1 apresenta a evolução do índice dentro do horizonte temporal proposto.

Os dados históricos apresentam informações até o ano de 2017. A previsão do PIB

Tabela 4.1: Projeção PIB *per capita* em Portugal [28].

| Anos | PIB <i>per capita</i> (USD) | Anos | PIB <i>per capita</i> (USD) |
|------|-----------------------------|------|-----------------------------|
| 2011 | 26.769,00 | 2021 | 34.810,88 |
| 2012 | 26.438,00 | 2022 | 35.569,26 |
| 2013 | 27.936,00 | 2023 | 36.327,65 |
| 2014 | 28.742,00 | 2024 | 37.086,03 |
| 2015 | 29.669,00 | 2025 | 37.844,42 |
| 2016 | 31.043,00 | 2026 | 38.602,80 |
| 2017 | 32.777,00 | 2027 | 39.361,19 |
| 2018 | 32.535,72 | 2028 | 40.119,57 |
| 2019 | 33.294,11 | 2029 | 40.877,96 |
| 2020 | 34.052,49 | 2030 | 41.636,34 |

per capita até o ano de 2030, foi obtida pela aplicação do algoritmo de previsão ETS (Exponential Triple Smoothing, ETS), disponível no *Microsoft Excel* 2016.

As relações entre o PIB *per capita* e as frotas dos dois grupos de veículos podem ser visualizadas nas Tabelas 4.2 e 4.3. A partir da função de Análise de Dados do Microsoft Excel, por meio da função de regressão linear, foi implementada a previsão da frota (*stocks*).

Neste tipo de análise é importante determinar o quanto a linha de regressão representa os dados. Neste caso, torna-se necessário calcular o coeficiente de determinação, R^2 , para analisar a qualidade de ajuste do modelo, isto é se o modelo se ajusta bem aos dados e o coeficiente de correlação de Pearson, R , que permite analisar a relação existente entre as variáveis em estudo. Um R^2 igual a 0,9333, reflete que 93,33% da variabilidade decorre da variável independente, x (no caso em estudo, o PIB *per capita*) da frota de ligeiros de passageiros, enquanto que relativamente à frota ligeiros comerciais, um R^2 igual a 0,8472, permite concluir que 84,72% da variabilidade decorre do PIB *per capita*. De outra forma, pode dizer-se que o percentual restante da variância das frotas, não é atribuível às diferenças no PIB *per capita*. É ainda possível verificar que existe uma correlação positiva forte entre as variáveis PIB *per capita* e Frota Ligeiros Passageiros ($R=0,966$) e entre PIB *per capita* e Frota Ligeiros Comerciais ($R=0,92$) sendo que a primeira relação é mais elevada do que na segunda.

Tabela 4.2: Estatística de regressão PIB *per capita* x frota ligeiros de passageiros.

| Estatística de regressão | |
|--|------------|
| R (coeficiente de correlação de Pearson) | 0,966 |
| R-Quadrado | 0,933 |
| Erro padrão | 331571,979 |
| Observações | 34 |

Tabela 4.3: Estatística de regressão PIB *per capita* x frota ligeiros comerciais.

| Estatística de regressão | |
|--|------------|
| R (coeficiente de correlação de Pearson) | 0,920 |
| R-Quadrado | 0,847 |
| Erro padrão | 136574,274 |
| Observações | 34 |

Para a determinação das frotas (*stocks*) futuras, é implementado no *software* LEAP faz o incremento das vendas e a dedução da sucata para construção da frota ano a ano. Este cálculo foi realizado no *Microsoft Excel*, de forma inversa, pois de acordo com a evolução das vendas não se podia realizar uma relação de confiança entre os dados históricos de vendas com os do PIB *per capita*, portanto foi determinada a venda anual de veículos de forma algébrica.

A frota total de veículos e respetiva projeção apresenta-se na Figura 4.1. Os dados utilizados na formulação são apresentados em anexo (Fonte de dados vide Anexo A, Tabela A.21).

4.1.2 Parâmetros da Curva de Sucateamento

Para a construção da curva de abate ou de sucateamento de veículos, foi adotada a curva de Gompertz, como introduzido no capítulo anterior. Os parâmetros adotados foram apresentadas no Relatório de Referência de Emissões de Gases com Efeito de Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, MCT de 2006 e são utilizadas pelo Serviço de Planejamento da PETROBRAS, calibradas pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios [39]. Os valores dos parâmetros apresentam-se na Tabela 4.4. Os parâmetros foram usados

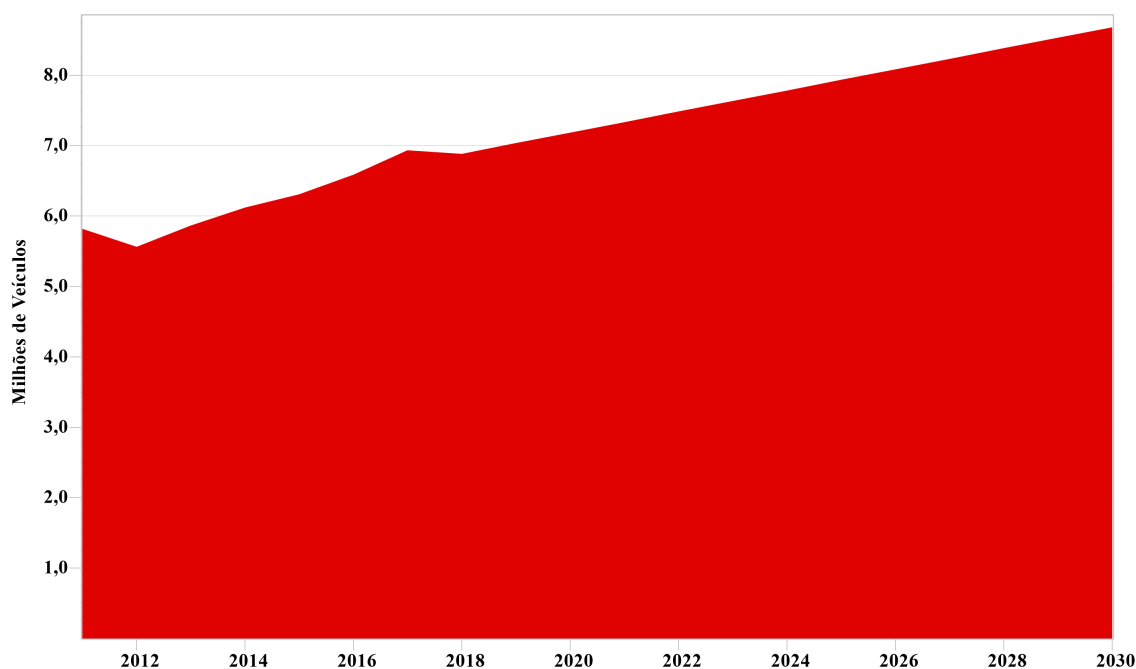


Figura 4.1: Projeção da frota total de automóveis em Portugal Continental.

Tabela 4.4: Parâmetros a e b da Curva de Gompertz.

| | a | b |
|-----------------------------|-------|--------|
| Ligeiros Passageiros | 1,798 | -0,137 |
| Ligeiros Comerciais | 1,618 | -0,141 |

do banco de dados brasileiro, pois não há parâmetros disponível na literatura portuguesa.

4.1.3 Determinação do Consumo de Combustível

A Tabela 4.5, apresenta os valores praticados como consumo médio dos combustíveis. As unidades de medidas são padronizadas quanto ao estado físico dos combustíveis. Pode-se observar que entre os veículos EHP, quanto à utilização de combustíveis fósseis, há maior eficiência quando comparados aos CI, numa análise em L/100km. Os valores utilizados são apresentados a partir da fonte apresentada no Capítulo 3.5.2.

Tabela 4.5: Consumo por categoria e tipo de combustível.

| | | | | |
|------------|----------|--------------|----------|-----------|
| CI | Diesel | | 8,400521 | L/100km |
| | Gasolina | | 9,408584 | L/100km |
| | GPL | | 12754,31 | Km/ m^3 |
| EHP | Elétrico | | 19,88393 | kWh/100km |
| | Híbrido | Gasolina | 4,900304 | L/100km |
| | | Diesel | 4,30948 | L/100km |
| | Plug-In | Eletricidade | 18,64118 | kWh/100km |
| | | Gasolina | 4,900304 | L/100km |

4.1.4 Determinação da Quilometragem Média Percorrida

Os valores utilizados para determinação da QMP foram obtidos através do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários [39] onde, para veículos de passageiros e comerciais, a média anual percorrida é 19 400 km no primeiro ano de utilização.

Entretanto, para determinação dos índices de utilização, foram aplicadas curvas de perfil de ciclo de vida que consideram nos cálculos a diminuição na utilização dos veículos ao longo de sua vida útil. Os parâmetros da equação 3.10, que determina o perfil de utilização para os três grupos de veículos, como introduzido anteriormente, são determinados a partir do Relatório Nacional De Inventário Português Sobre Gases De Estufa [33] e apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Parâmetros da curva de utilização.

| | A1 | A2 | x0 | p |
|----------------|-----------|------------|-----------|----------|
| Grupo 1 | 13354,668 | 737,09264 | 19,69152 | 2,4209 |
| Grupo 2 | 19241,066 | 6603,86725 | 17,45625 | 2,53695 |
| Grupo 3 | 20800,215 | 2597,42606 | 15,44257 | 2,32592 |

4.2 Cálculo de Consumo de Energia e Emissões de GEE

A apresentação da metodologia no capítulo anterior objetiva-se por obter as projeções para cada indicador. As projeções são de fundamental importância, pois estas serão aplicadas nos cálculos de consumo de energia e das emissões de GEE associadas ao sistema de transportes realizado por veículos ligeiros.

4.2.1 Cálculo de Consumo de Energia

O software LEAP utiliza a Equação 4.1 para determinar a energia consumida no setor de transportes:

$$Energy\ Consumption_{f,v,y} = Stock\ of\ Vehicles_{f,v,y} \times Annual\ Vehicle\ Mileage_{f,v,y} \times Fuel\ Economy_{f,v,y} \quad (4.1)$$

Sendo v é o grupo de veículos considerado (passageiros ou mercadorias), f o tipo de combustível (gasolina, diesel, eletricidade ou gás de petróleo liquefeito) e y o ano civil em que se quer determinar a energia consumida. A energia consumida é estimada pelo produto do *stock* (frota) pela distância média anual percorrida pelo consumo médio de combustível, do tipo de combustível f para o tipo de veículo v no ano y .

Na tabela 4.7, sintetiza os parâmetros v e f , utilizados neste estudo e adotados para o cálculo de consumo.

4.2.2 Cálculo das Emissões de GEE

As emissões de GEE são definidas a partir da metodologia *bottom up*, determinadas pelos dados do IPCC e expressas pela Equação 4.2.

$$Emission_{f,v,y} = Energy\ Consumption_{f,v,y} \times Emission\ Factor_f \quad (4.2)$$

Tabela 4.7: Parâmetros v e f.

| v | Ligeiros Passageiros | | Comerciais Ligeiros | |
|----------|----------------------|----------|---------------------|----------|
| f | Diesel | | Diesel | |
| | Gasolina | | Gasolina | |
| | GPL | | GPL | |
| | Elétrico | | Elétrico | |
| | Híbrido | Gasolina | Híbrido | Gasolina |
| | | Diesel | | Diesel |
| | Plug in | Elétrico | | |
| Gasolina | | | | |

Tabela 4.8: *Emission Factor*.

| Combustível | $tCO_2eq./TJ$ |
|-------------|---------------|
| Diesel | 73,28 |
| Gasolina | 68,56 |
| GPL | 62,71 |

onde v, f e y são as variáveis acima definidas. As emissões são estimadas pelo produto da *Energy Consumption* pelo *Emission Factor* do combustível.

Os parâmetros de *EmissionFactor* utilizados são apresentados na Tabela 4.8 e foram obtido através do AR5 do IPCC.

A determinação das emissões em $tCO_2eq.$, são apresentadas pela Equação 4.3. Os valores referentes a GWP são definidos no capítulo anterior.

$$tCO_2eq = Emission_{f,v,y} \times GWP \quad (4.3)$$

4.3 Cenários Propostos e Projeções

Foram definidos quatro cenários futuros onde se considera haver um incremento de veículos elétricos nas vendas e também um cenário onde se mantêm as condições do cenário base. Os cenários são descritos a seguir:

- Cenário Base: Mantêm-se os índices de vendas do ano base (2011), como apresentado nas Tabelas 4.9 e 4.10.

- Cenário 10%: As vendas de veículos EHP crescem ano a ano até atingirem 10% das vendas totais no ano 2030, em detrimento das vendas de veículos a combustão interna.
- Cenário 30%: As vendas de veículos EHP crescem ano a ano até atingirem 30% das vendas totais no ano 2030, em detrimento das vendas de veículos a combustão interna.
- Cenário 60%: As vendas de veículos EHP crescem ano a ano até atingirem 60% das vendas totais no ano 2030, em detrimento das vendas de veículos a combustão interna.
- Cenário 100%: As vendas de veículos EHP crescem ano a ano até atingirem 100% das vendas totais no ano 2030, em detrimento das vendas de veículos a combustão interna.

Tabela 4.9: Cenário 2011 para ligeiros de Passageiros.

| Ligeiros | | | | |
|--------------------|-----------|---------------|----------------|----------------|
| Passageiros | | | | |
| CI | Gasolina | 44544 | 29,04% | 99,22% |
| | Diesel | 106832 | 69,64% | |
| | GPL | 839 | 0,55% | |
| Eléctricos | Eléctrico | 203 | 0,13% | 0,78% |
| | Híbridos | 932 | 0,61% | |
| | Plug In | 54 | 0,03% | |
| Total | | 153404 | 100,00% | 100,00% |

Tabela 4.10: Cenário 2011 para ligeiros comerciais.

| Comerciais | | | | |
|-------------------|-----------|--------------|----------------|----------------|
| Ligeiros | | | | |
| CI | Gasolina | 3 | 0,01% | 99,99% |
| | Diesel | 34955 | 99,98% | |
| Eléctricos | Eléctrico | 5 | 0,01% | 0,01% |
| Total | | 34963 | 100,00% | 100,00% |

Do total de veículos EHP, as participações por tipo de propulsão são apresentadas na Tabela 4.11 (passageiros e comerciais) e se aplicam os mesmo índices para todos os cenários.

Tabela 4.11: Participação dos veículos EHP ligeiros (passageiros e comerciais).

| | Do total de veículos EHP (%) | |
|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | Ligeiros Passageiros | Ligeiros Comerciais |
| Puramente Eléctricos | 17,1 | 100 |
| Híbridos | 78,4 | 0 |
| Plug In | 4,5 | 0 |

As percentagens dos veículos por tipos de combustíveis, é a mesma do ano base (2011) e foram obtidas através do anuário ESA 2018 [27].

As projeções das vendas de veículos EHP do ano de 2011 até o ano de 2030, dentro dos cenários propostos, são apresentadas na Figura 4.2.

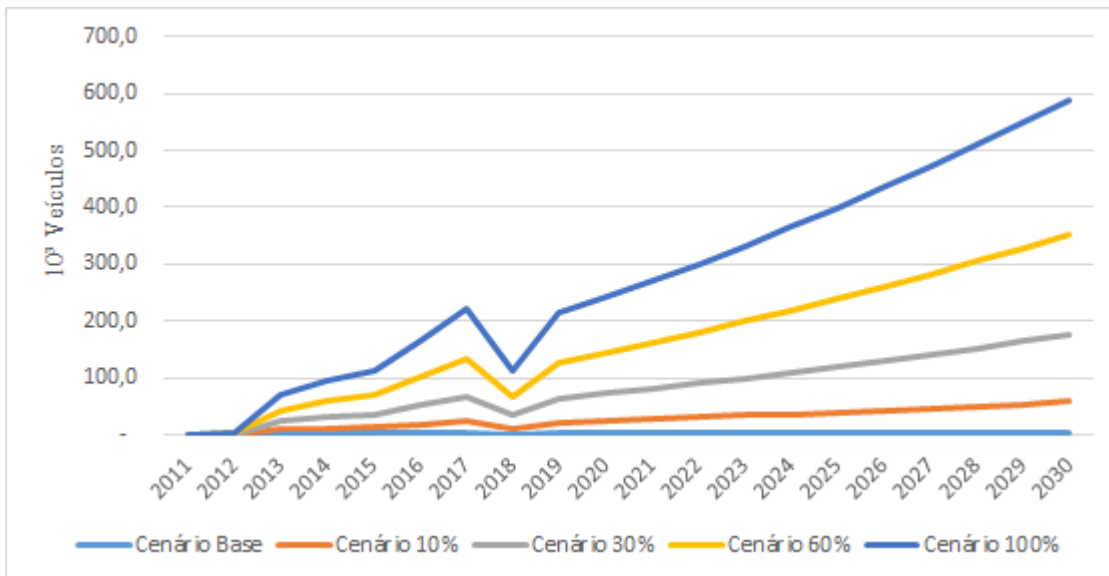


Figura 4.2: Projeção das vendas de veículos elétricos, híbridos e *plug in*.

A projeção da frota de EHP do ano de 2011 até ao ano de 2030, dentro dos cenários propostos, apresentam-se na Figura 4.3. A frota de cada ano é composta por veículos de diferentes idades (*vintage*) e desta forma varia ano a ano.

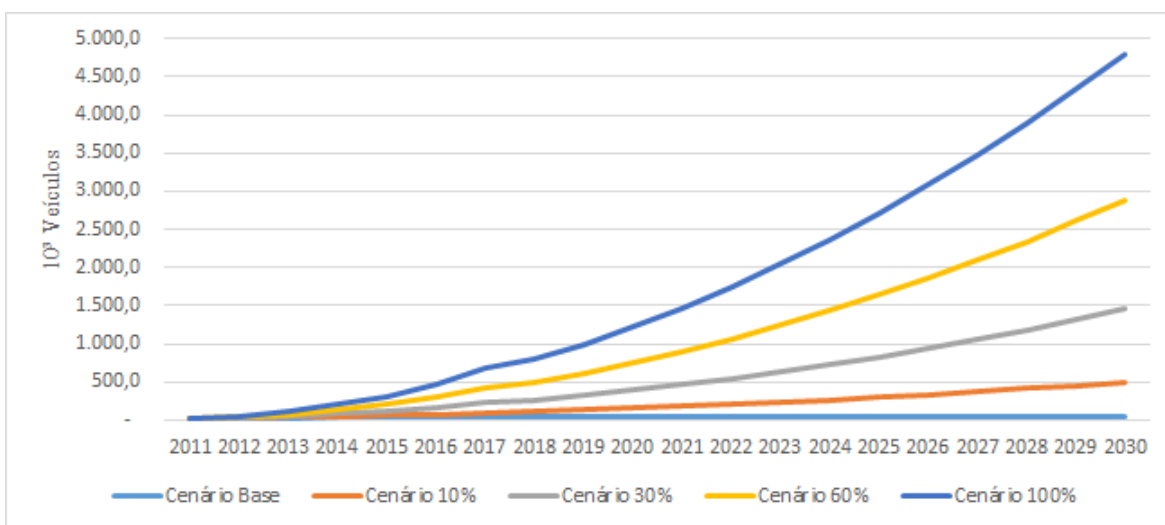


Figura 4.3: Projeção da frota de veículos elétricos, híbridos e *plug in*.

4.3.1 Cenário Base

A projeção da frota para o Cenário Base é apresentada na Figura 4.4. É possível observar que para este cenário a participação dos veículos EHP é imperceptível e que a predominância é sobre os veículos a CI, principalmente dos veículos a Diesel. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.1).

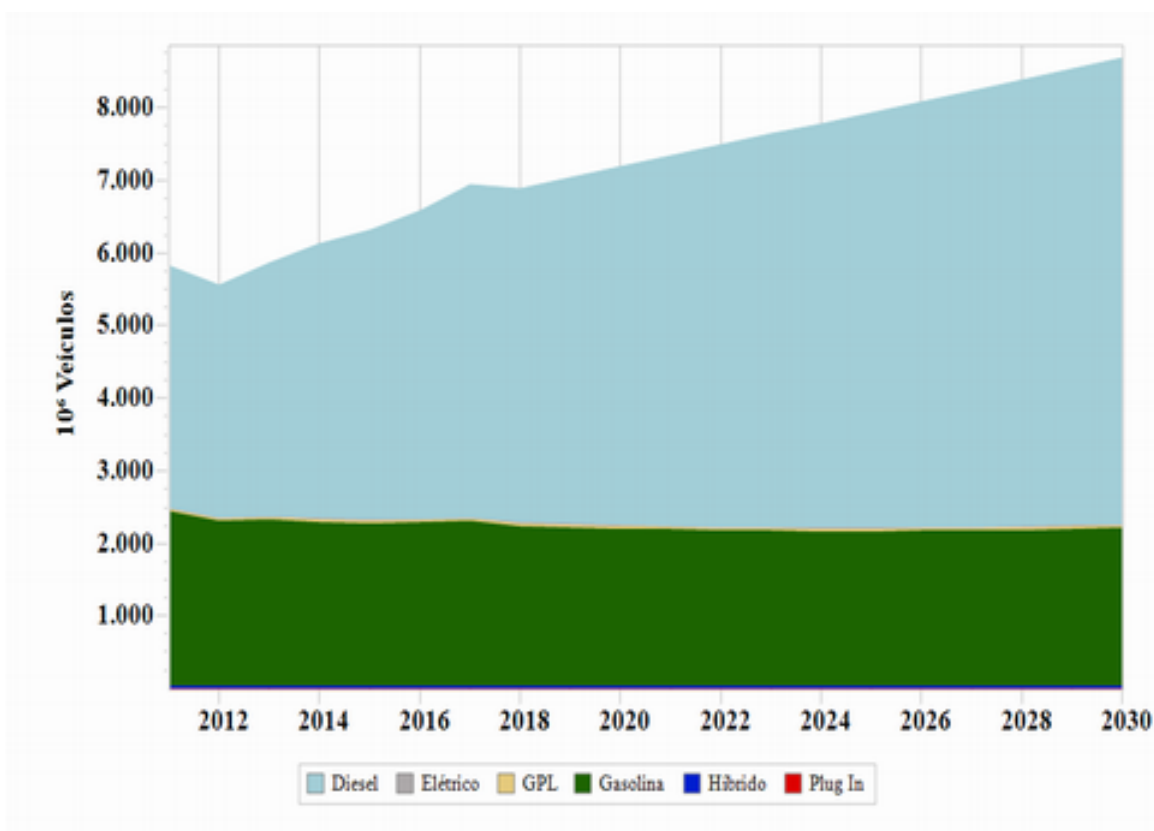


Figura 4.4: Projeção da frota mantendo-se os índices do cenário base.

Em relação à projeção das vendas, os resultados para o Cenário Base são representado na Figura 4.5. É possível observar, assim como na Figura 4.4 referente à frota, que a participação dos veículos EHP é desprezável e que a predominância é sobre os veículos a CI, principalmente dos veículos a Diesel. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.2). O aprofundamento característico das Figuras referentes as vendas, acompanham a imprevisibilidade nas vendas indicadas pelos dados históricos, apresentados na Figura 3.2.

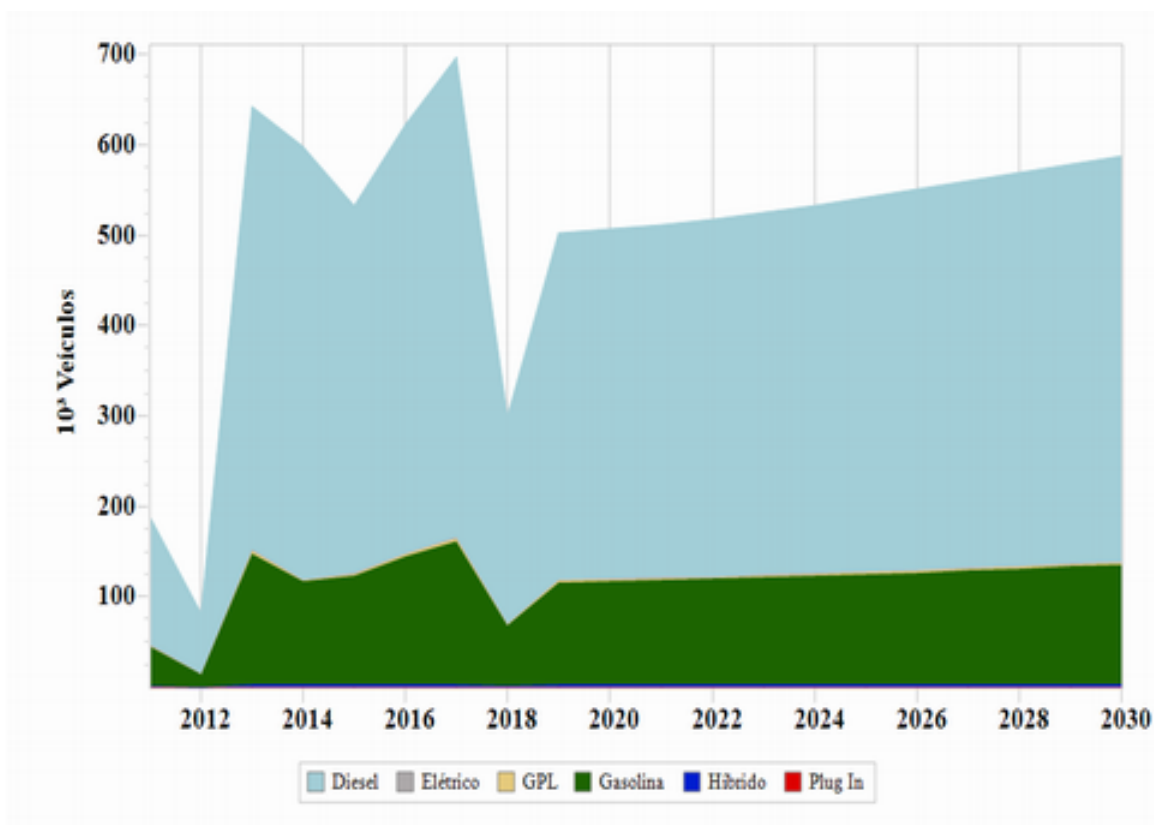


Figura 4.5: Projeção das vendas mantendo-se os índices do cenário base.

4.3.2 Cenário 10%

A projeção da frota para o Cenário 10% é apresentada na Figura 4.6. Nesta análise já é perceptível que a participação de veículos elétricos e híbridos na composição da frota, mas a predominância ainda é de veículos a CI, principalmente dos veículos a Diesel. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.3).

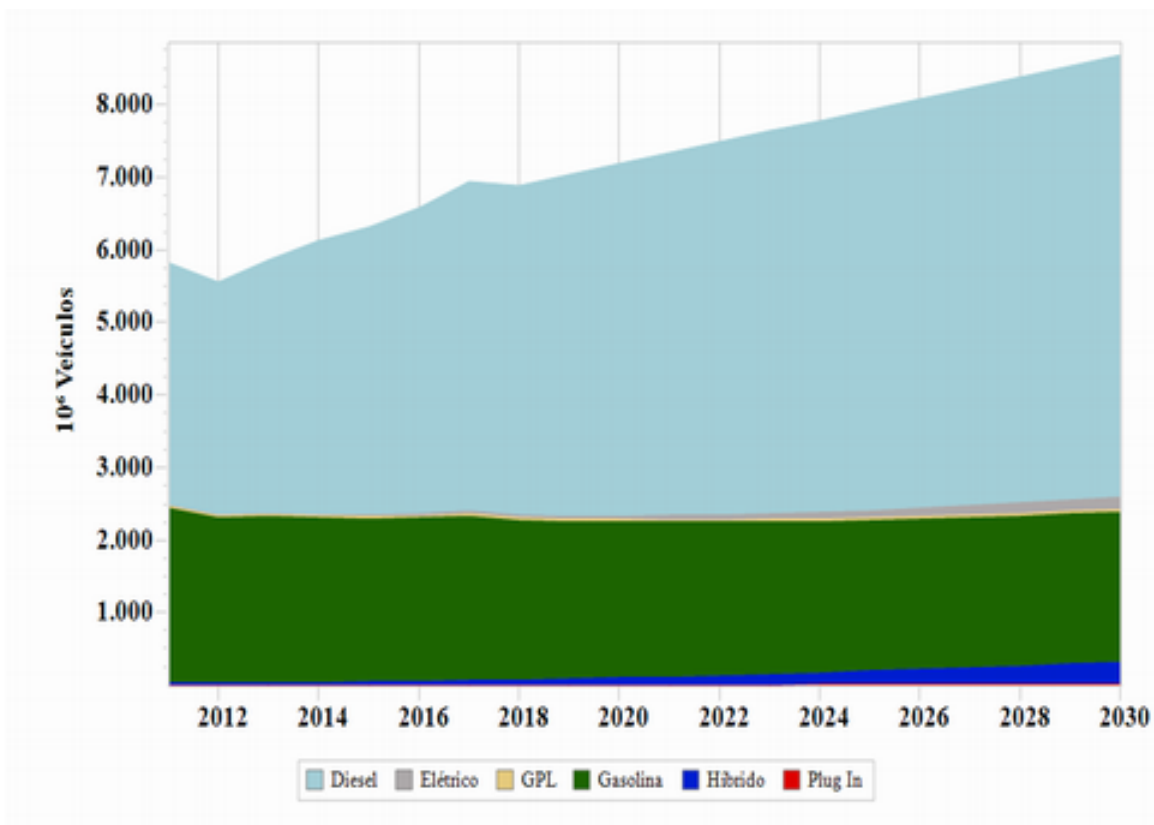


Figura 4.6: Projeção da frota de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

Em relação à projeção das vendas, os resultados para o Cenário 10% é apresentado na Figura 4.7. É possível observar, que há um incremento de veículos elétricos e híbridos em detrimento dos veículos a CI, entretanto estes ainda apresentam grande predominância, principalmente dos movidos a Diesel. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.4).

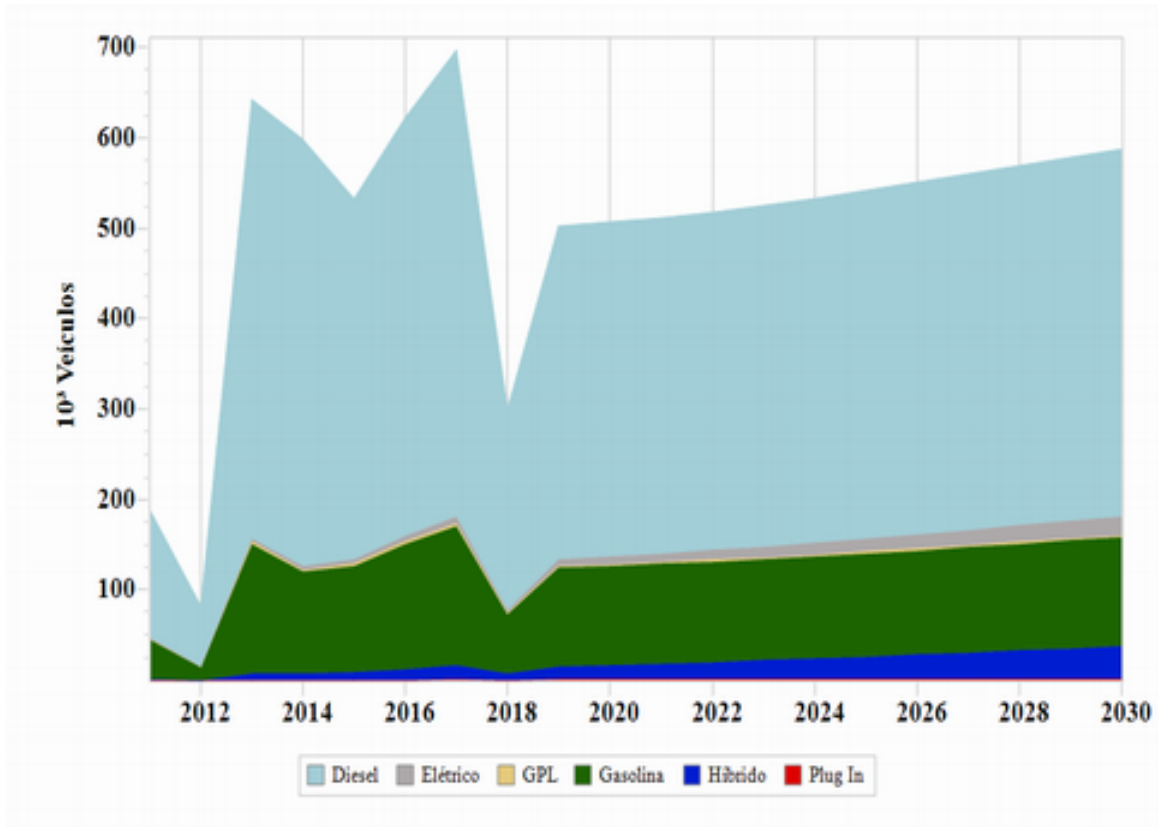


Figura 4.7: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

4.3.3 Cenário 30%

A projeção da frota para o Cenário 30% é apresentada na Figura 4.8. Análise deixa clara a participação dos veículos EHP. A frota de veículos a Diesel continua de maior participação na frota total, mas com volume menor, quando comparado ao Cenário Base. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.5).

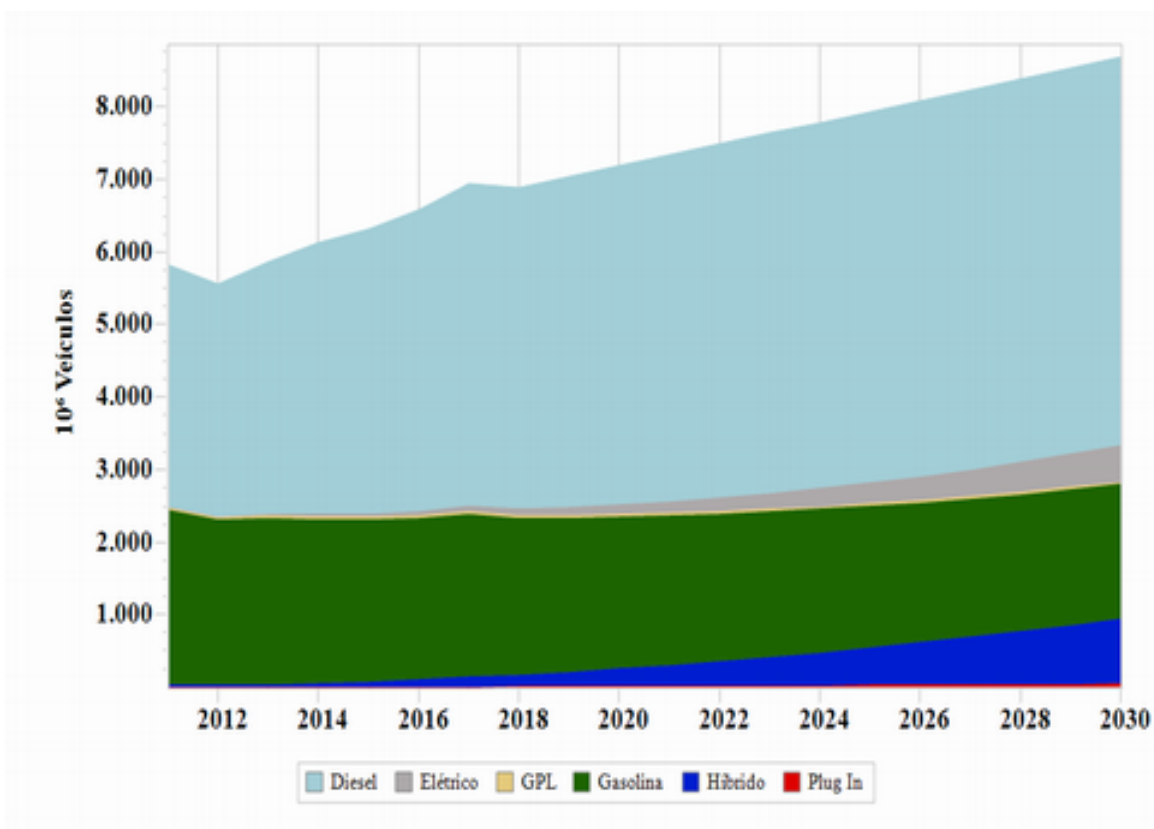


Figura 4.8: Projeção da frota de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

Em relação à projeção das vendas, *output* para o Cenário 30% é apresentado na Figura 4.9. É possível observar, que há um incremento de EHP em detrimento dos veículos a CI durante o período em análise. Ainda existe grande predominância dos veículos a CI, principalmente dos movidos a Diesel. Por outro lado, os veículos movidos a gasolina já apresentam índices de vendas próximos aos híbridos, quando se observa o final do período de análise. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.6).

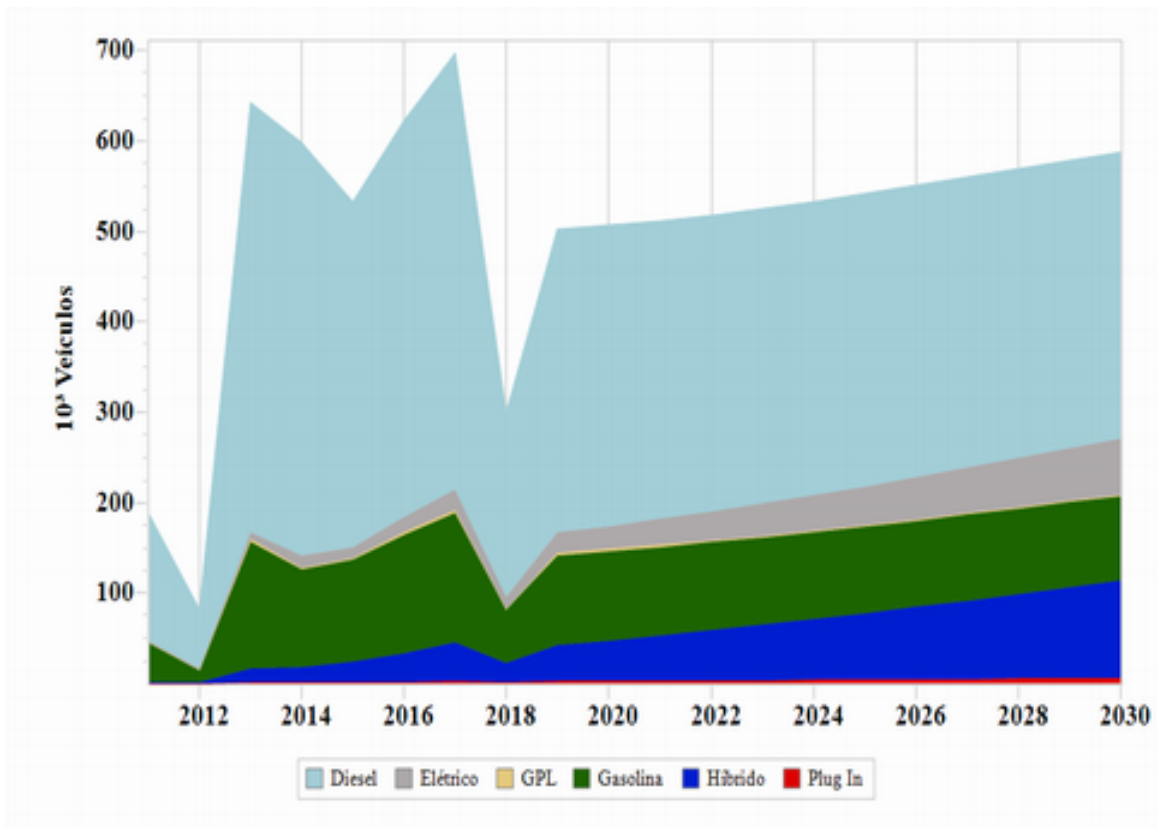


Figura 4.9: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

4.3.4 Cenário 60%

A projeção da frota para o Cenário 60% é apresentada na Figura 4.10. Esta análise representa a elevada participação dos veículos EHP. A frota de veículos a Diesel continua ser a de maior participação na frota total, mas com volume bem menor, quando comparado ao Cenário Base. (Dados apresentados no Anexo A1, Figura A.7).

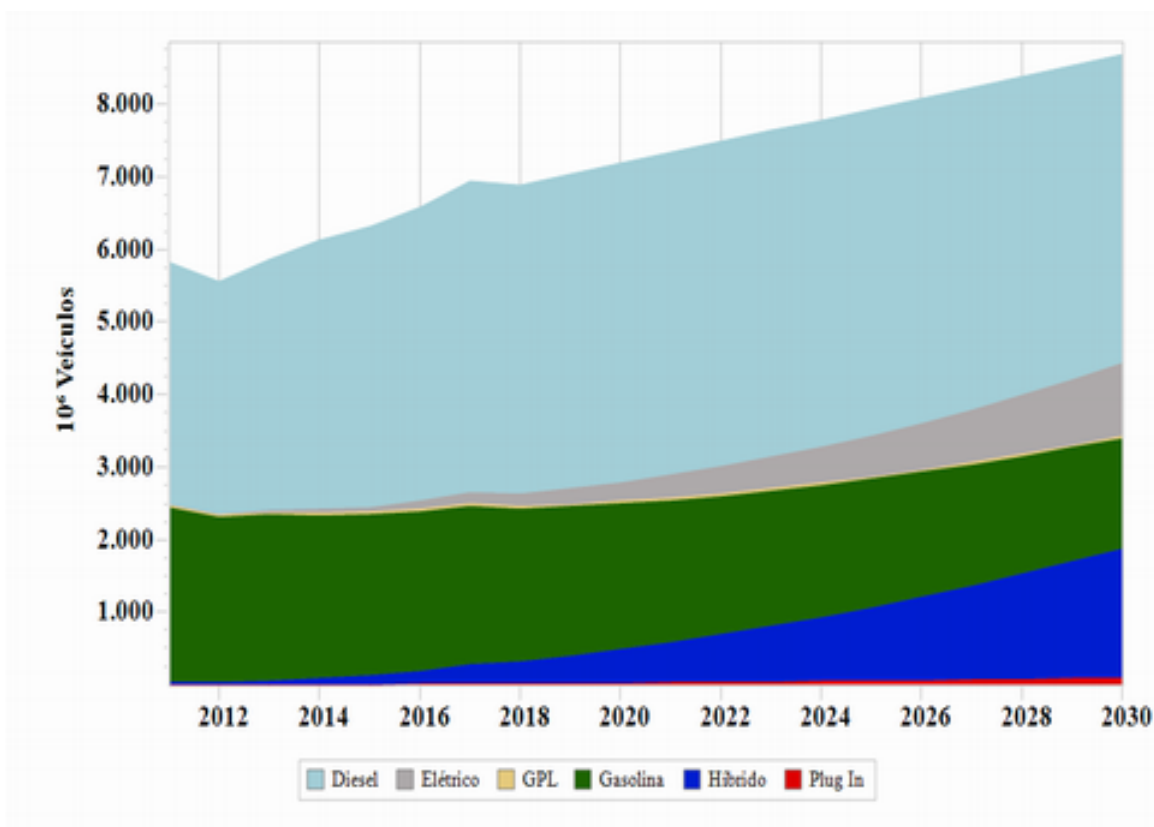


Figura 4.10: Projeção da frota de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

Em relação à projeção das vendas, os resultados para o Cenário 60% é apresentado na Figura 4.11. É possível observar, que há um incremento de veículos EHP em detrimento dos veículos a CI durante o período de análise. Ainda existe certa participação nas vendas dos veículos a CI, principalmente dos movidos a Diesel, que neste cenário já se aproximam dos índices de vendas de veículos híbridos. Os veículos movidos a gasolina apresentam índices de vendas muito menores em relação ao Cenário Base, quando se observa o final do período de análise. (Dados apresentados no Anexo A1, Figura A.8).

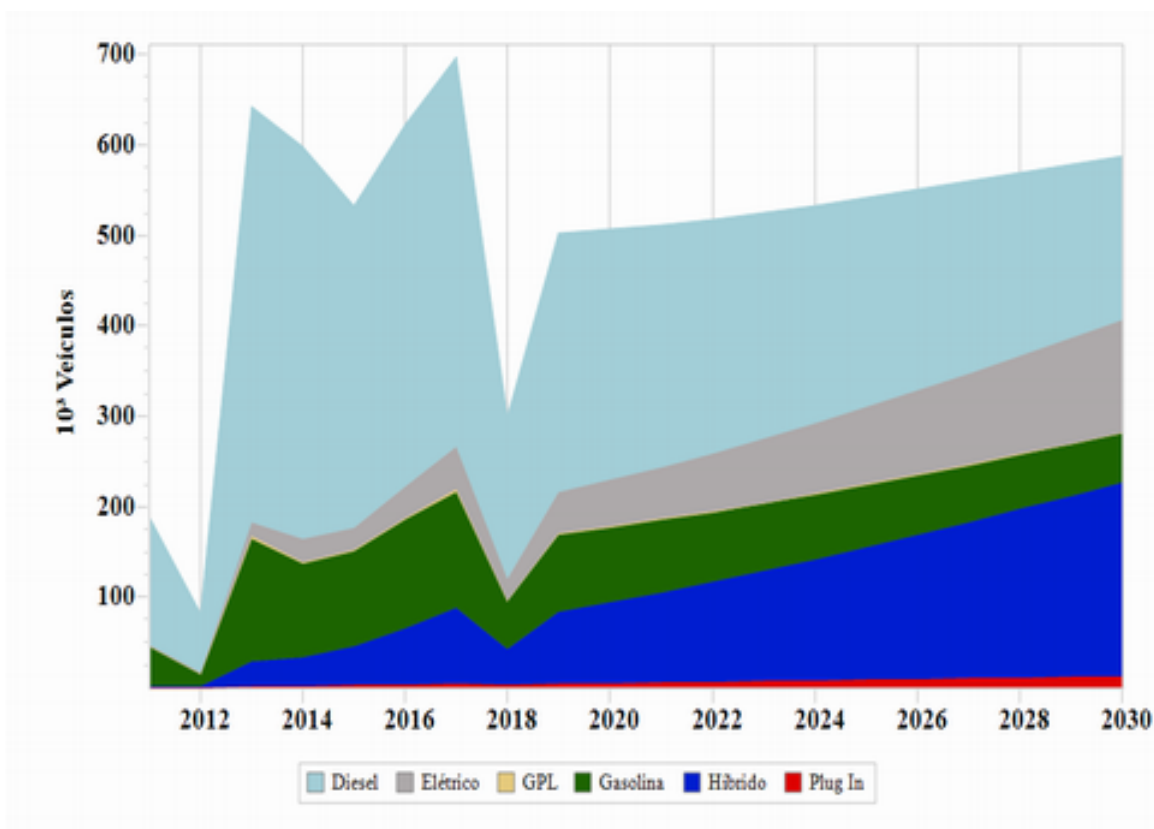


Figura 4.11: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

4.3.5 Cenário 100%

A projeção da frota para o Cenário 100% é apresentada na Figura 4.12. Esta análise representa a maior participação possível dos veículos EHP na composição da frota total. Ao se observar os veículos a Diesel, ainda apresentam uma participação considerável, entretanto, mesmo com o crescimento da frota durante o período em análise, a quantidade de veículos desse grupo não aumenta, pelo contrário, apresenta ligeira queda. Antevê-se que veículos EHP já representam cerca de 50% da frota total, quando comparado ao Cenário Base. (Dados apresentados no Anexo A1, Figura A.9).

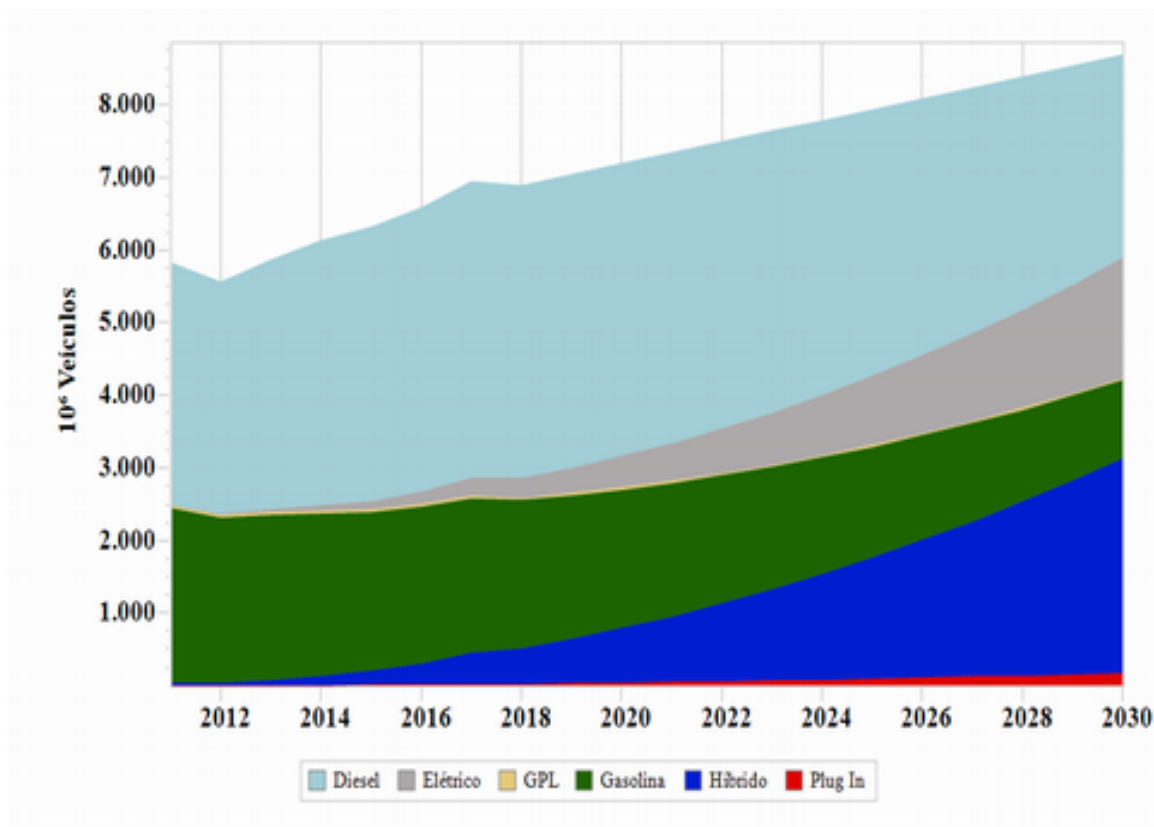


Figura 4.12: Projeção da frota de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

O Cenário 100% é apresentado na Figura 4.13. É possível observar, que o incremento de EHP em detrimento dos veículos a CI ao final período de análise é total. As vendas de veículos CI diminuem gradativamente até atingir 0% do total. Os veículos híbridos compreendem a maior fatia na participação das vendas em 2030, seguidas pelos veículos puramente elétricos. (Dados apresentados no Anexo A1, Figura A.10).

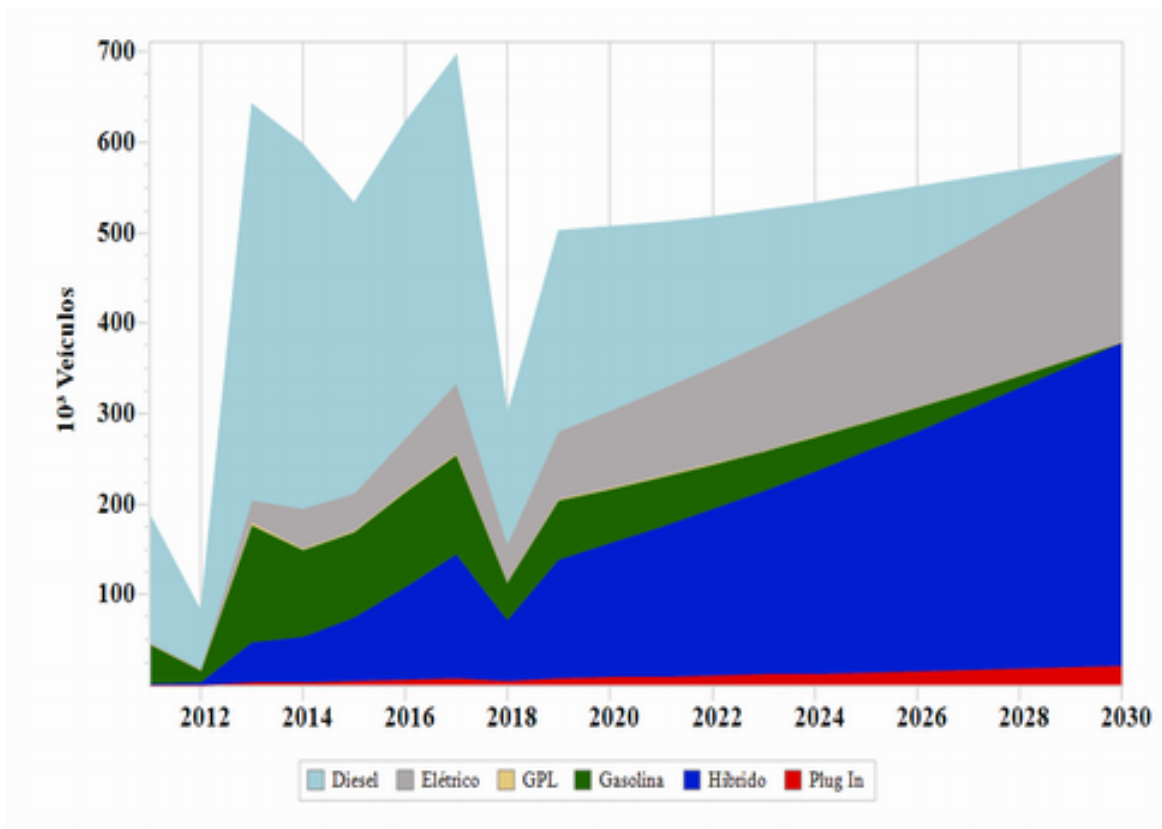


Figura 4.13: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030.

Capítulo 5

Previsão do Consumo de Energia e das Emissões de GEE

Na primeira parte deste capítulo são apresentados os valores relativos às projeções do consumo de energia e de emissões de GEE dentro do período temporal em estudo. Na segunda parte do capítulo é apresentada uma análise comparativa entre os cenários determinados no capítulo anterior.

5.1 Análise dos resultados para os cenários propostos

Os resultados para cada cenário identificado no capítulo anterior, apresentam-se a seguir.

5.1.1 Cenário Base

O Cenário Base, foi obtido por uma projeção onde os índices de vendas dos veículos se mantiveram assim como em 2011 (ano base). O consumo de energia total anual, até 2030, é apresentado na Figura 5.1. Os valores estão de acordo com a fonte de energia utilizada. Observa-se que a grande maioria, quase a totalidade, da energia consumida para este cenário é direcionada aos veículos a CI, mais especificamente para veículos Diesel e Gasolina, como expetável atendendo à baixa participação de incremento de veículos EHP

neste cenário. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.11).

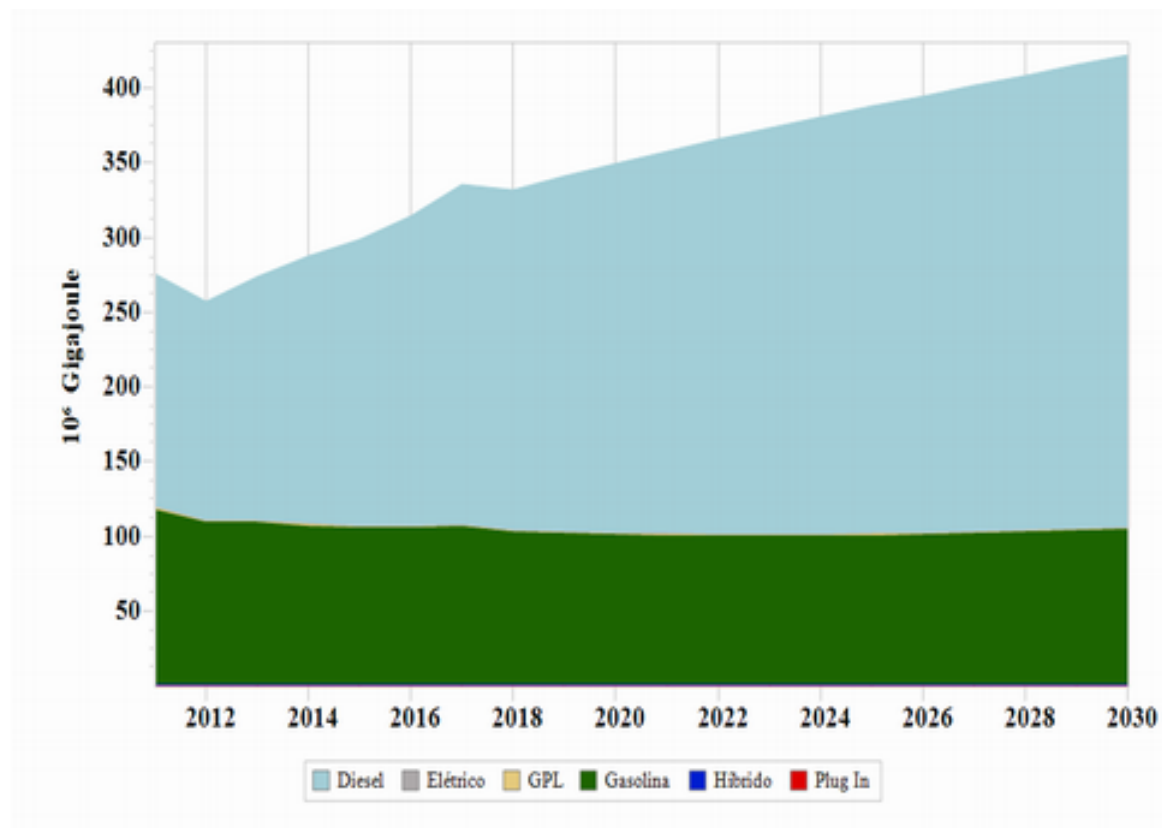


Figura 5.1: Projeção do consumo de energia total dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário Base até 2030.

As emissões globais de GEE por tipo de combustível para este cenário, apresentam-se na Figura 5.2. De forma análoga à análise da Figura anterior, aqui também existe predominância das emissões de GEE devido aos veículos a CI. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.12).

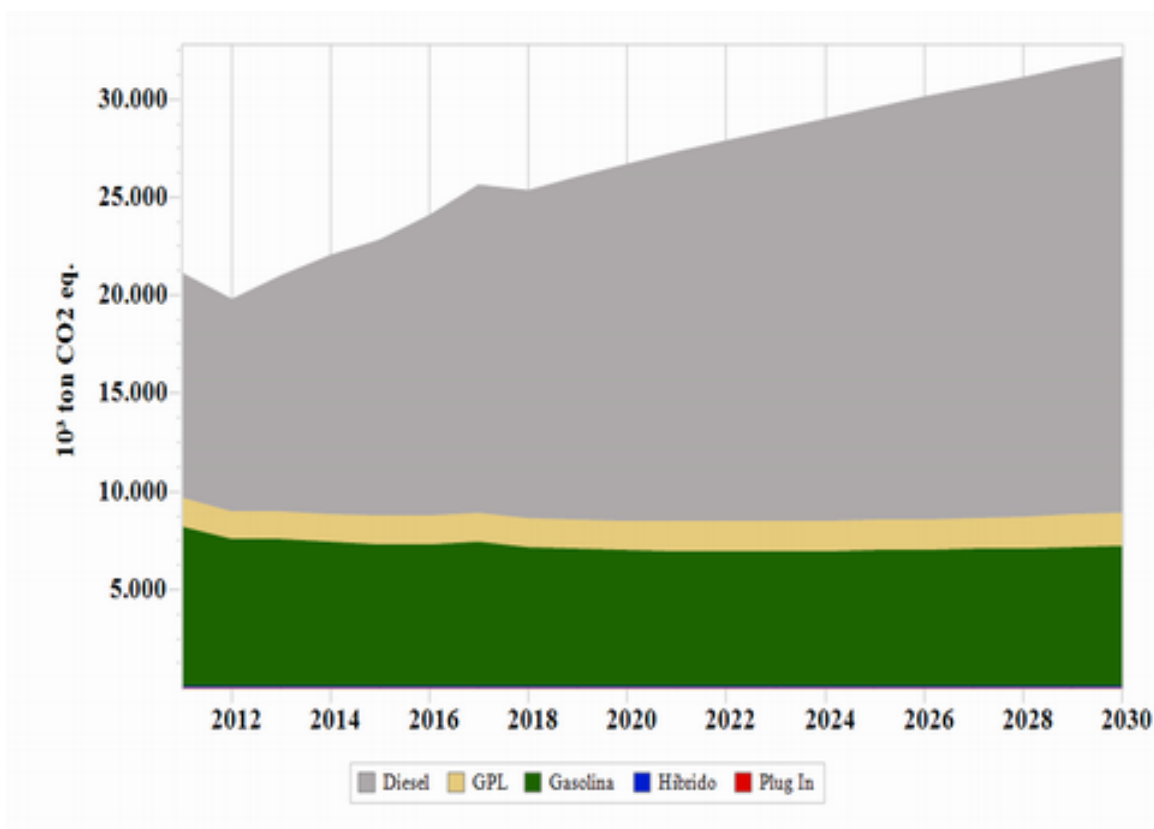


Figura 5.2: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário Base até 2030.

5.1.2 Cenário 10%

O Cenário 10%, foi construído a partir de uma projeção onde os índices de vendas dos veículos EHP crescem progressivamente até atingir 10% do total em 2030. Esta progressão ocorre em detrimento das vendas de veículos a CI, não alterando a frota total projetada.

O consumo de energia total, ano a ano, até 2030, é apresentado na Figura 5.3. Os valores estão de acordo com a fonte de energia utilizada. Neste cenário observa-se uma pequena participação dos veículos EHP, mais especificamente dos híbridos. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.13).

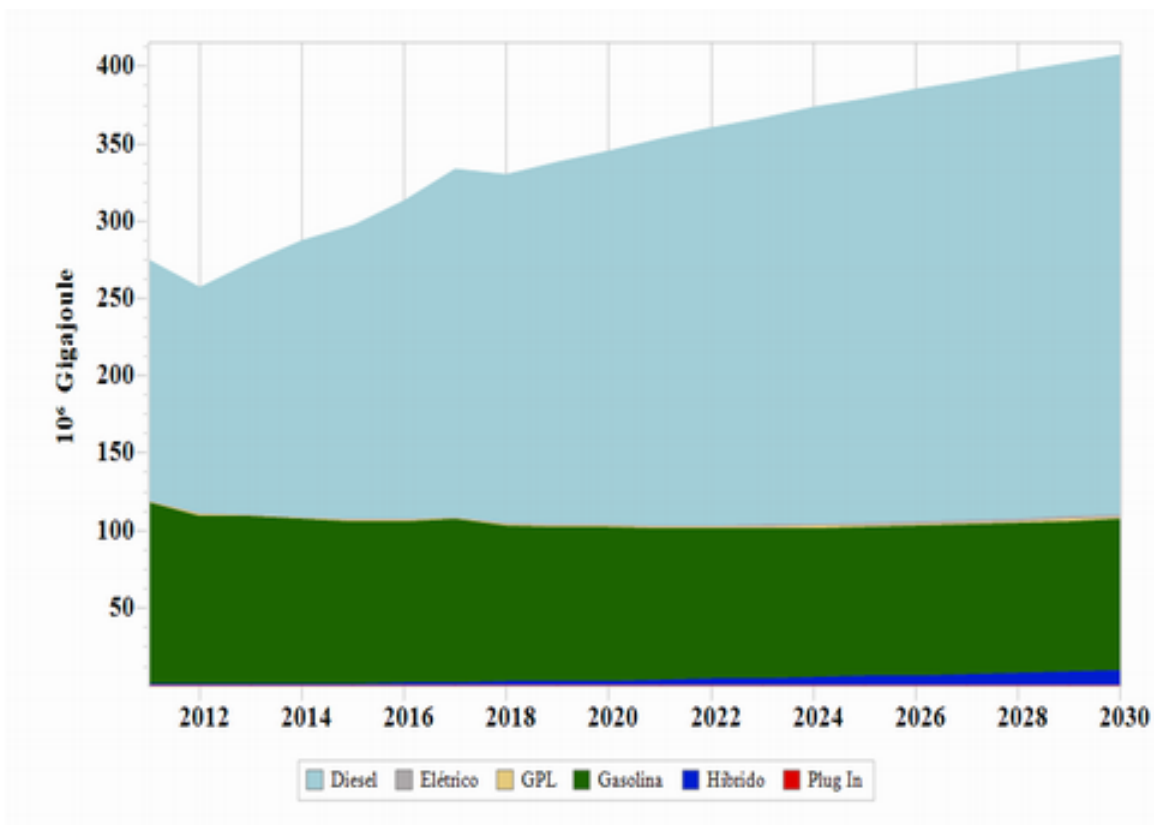


Figura 5.3: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 10% até 2030.

As emissões globais de GEE por tipo de combustível para este cenário, apresentam-se na Figura 5.4. Nesta análise é possível identificar uma pequena participação dos veículos híbridos nas emissões de GEE. A maior parte das emissões de GEE continua a ser dos veículos a CI que compõem a frota. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.14).

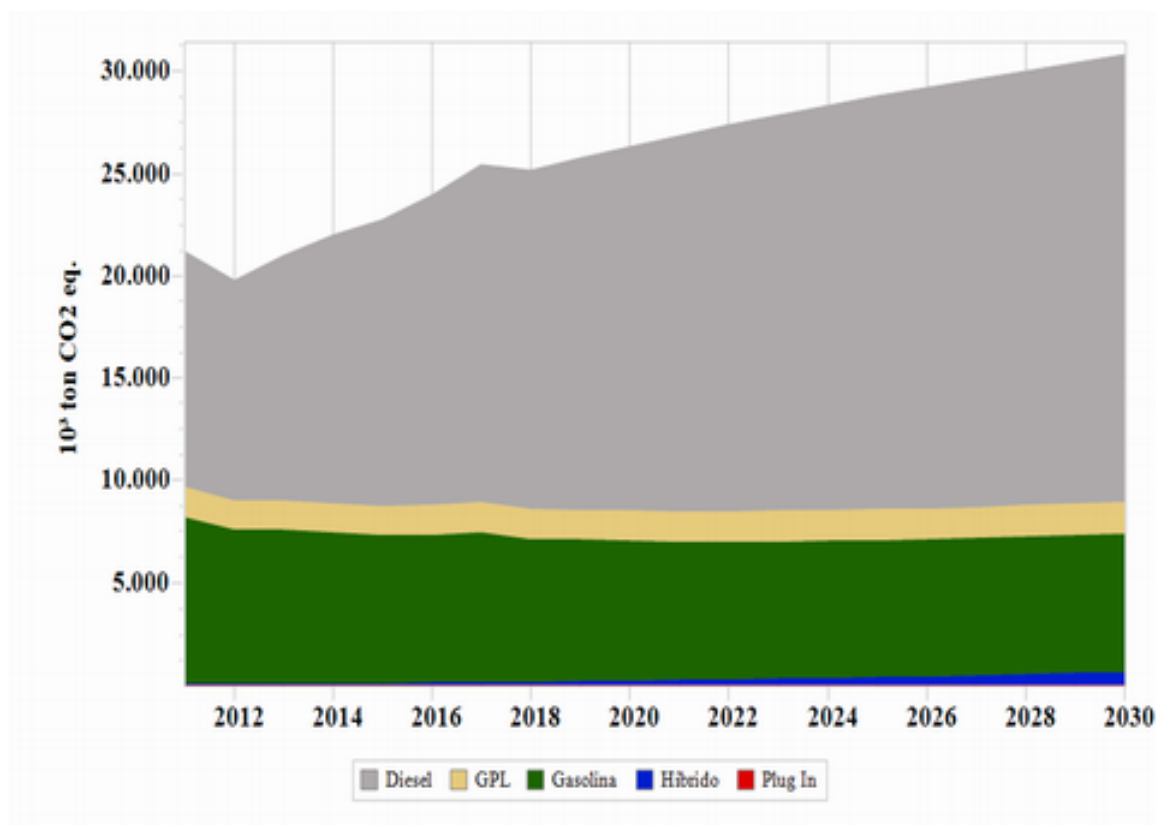


Figura 5.4: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 10% até 2030.

5.1.3 Cenário 30%

O Cenário 30%, se deu por uma projeção onde os índices de vendas dos veículos EHP crescem progressivamente até atingir 30% do total em 2030. Esta progressão ocorre em detrimento das vendas de veículos a CI, não alterando a frota total projetada.

O consumo de energia total ano a ano, até 2030, é apresentado na Figura 5.5. Os valores estão de acordo com a fonte de energia utilizada. Neste cenário observa-se uma maior participação dos veículos EHP, mais especificamente dos híbridos. É possível observar também o crescimento dos veículos puramente elétricos durante o período de análise. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.15).

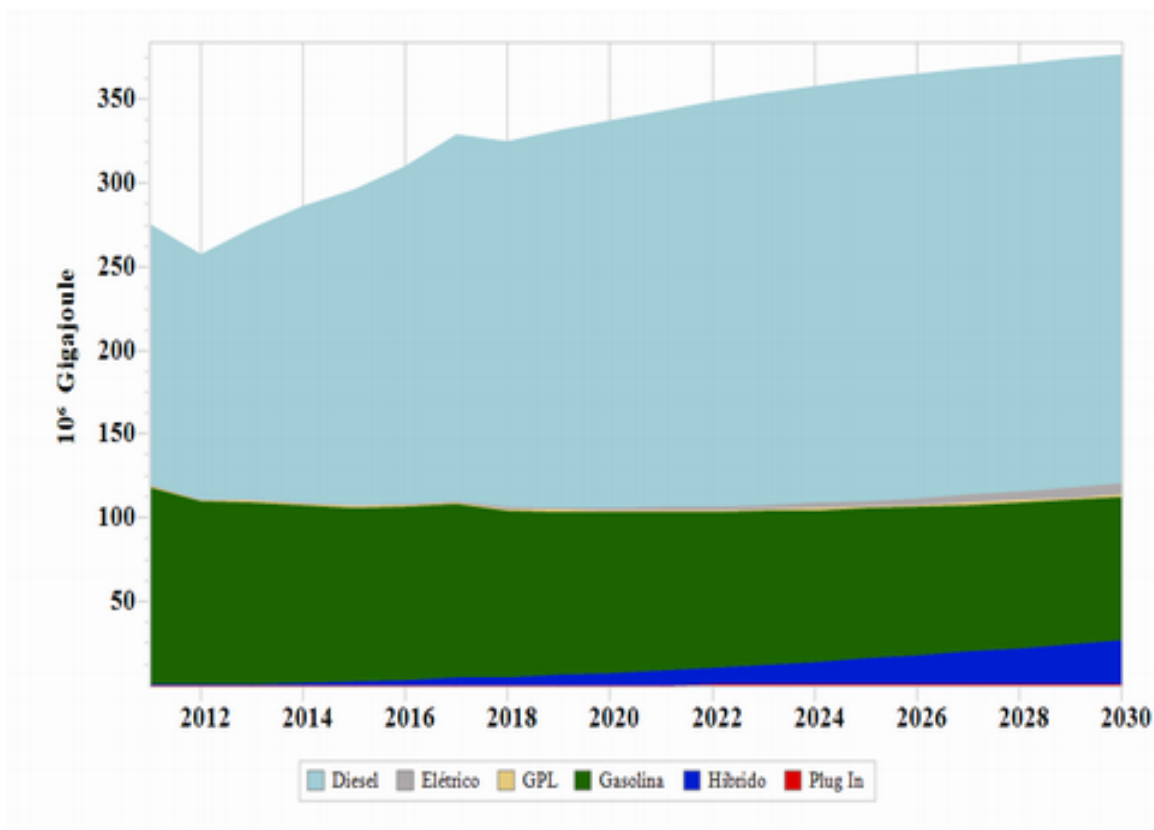


Figura 5.5: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 30% até 2030.

As emissões globais de GEE por tipo de combustível para este cenário, apresentam-se na Figura 5.6. Nesta análise é possível identificar uma maior participação dos veículos híbridos nas emissões de GEE, quando comparado com a Figura 5.4. Mesmo com a identificação dos veículos puramente elétricos na análise de consumo de energia para este cenário, estes não aparecem na análise de emissões de GEE, pois são 0 emissões. A maior parte das emissões de GEE continua a ser dos veículos a CI que compõem a frota, mais em específico dos movidos a Diesel. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.16).

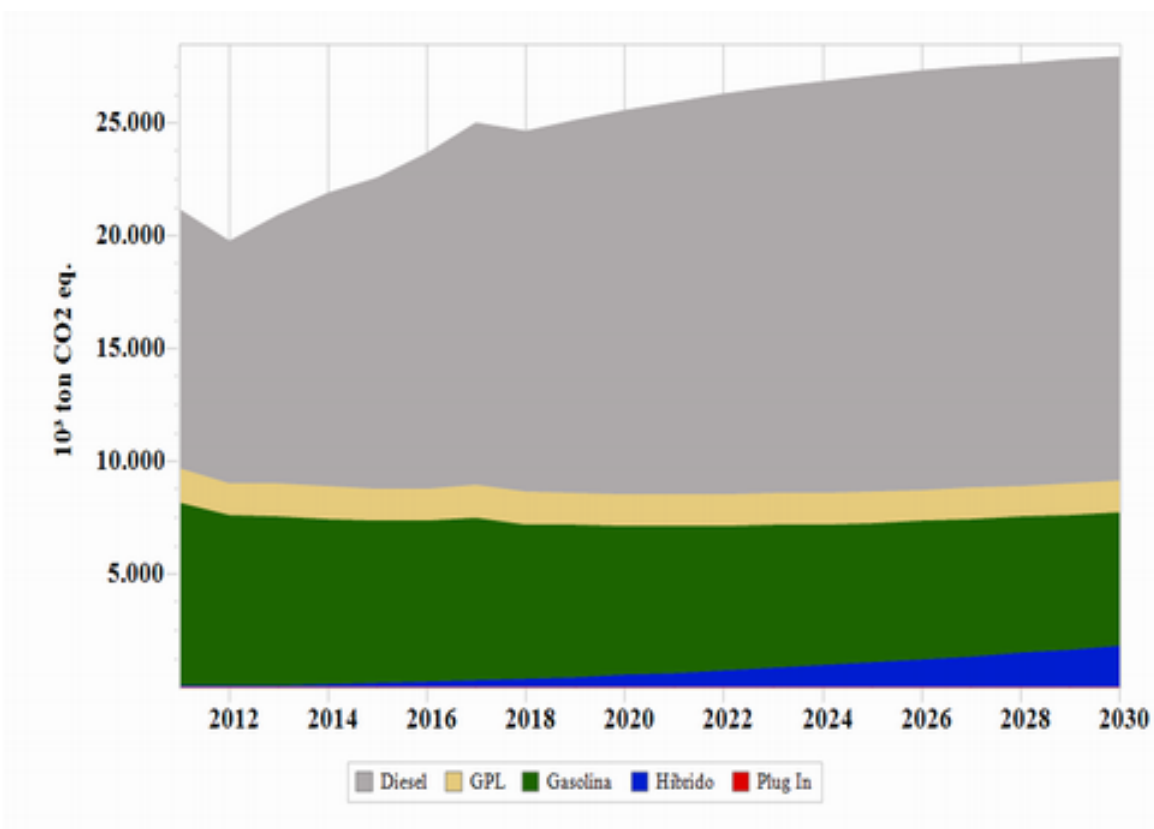


Figura 5.6: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 30% até 2030.

5.1.4 Cenário 60%

O Cenário 60%, obedeceu a uma projeção onde os índices de vendas dos veículos EHP crescem progressivamente até atingir 60% do total em 2030. Esta progressão ocorre em detrimento das vendas de veículos a CI, não alterando a frota total projetada.

O consumo de energia total ano a ano, até 2030, é apresentado na Figura 5.7. Os valores estão de acordo com a fonte de energia utilizada. Neste cenário observa-se uma maior participação dos veículos EHP, o que se reflete no decréscimo da curva de consumo de energia total: No cenário 30%, o consumo total de energia passava dos 350×10^3 GJ, superior ao estimado no cenário atual, ligeiramente superior a 300×10^3 GJ. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.17).

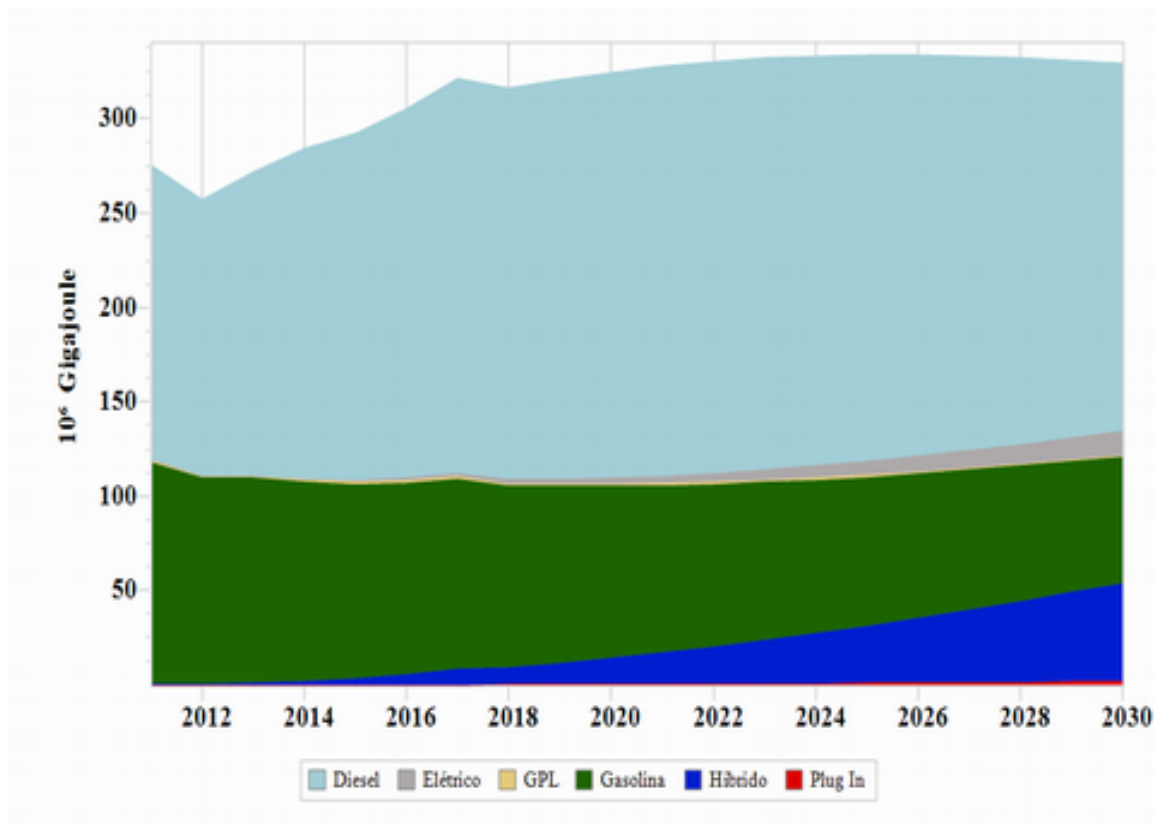


Figura 5.7: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 60% até 2030.

As emissões globais de GEE por tipo de combustível para este cenário, apresentam-se na Figura 5.8. Nesta análise é possível identificar uma maior participação dos veículos híbridos nas emissões de GEE, quando comparado aos resultados dos cenários 10% e 30%. A maior participação nas emissões de GEE continua a ser dos veículos a CI que compõem a frota, mais em específico dos movidos a Diesel. Entretanto, o incremento de veículos EHP torna a curva de emissões decrescente a partir deste cenário. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.18).

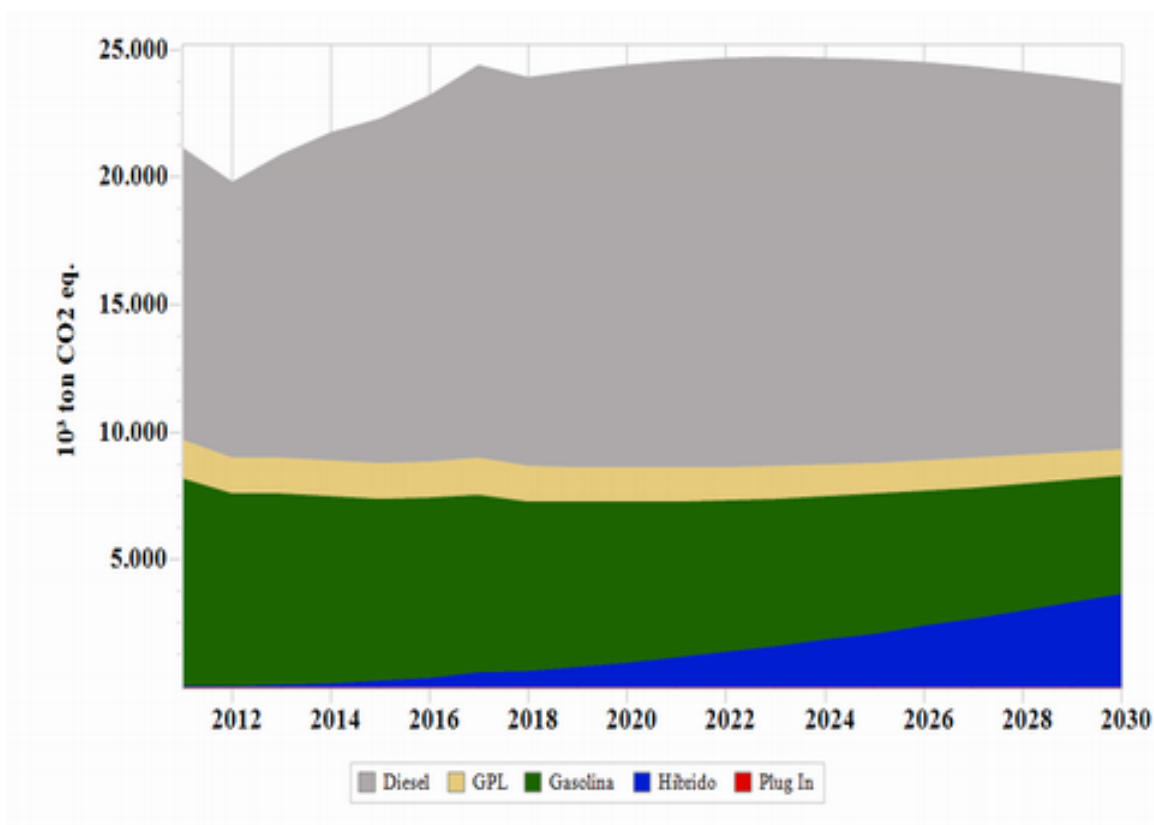


Figura 5.8: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 60% até 2030.

5.1.5 Cenário 100%

Neste Cenário 100%, as vendas dos veículos EHP crescem progressivamente até atingir 100% do total em 2030. Este incremento total das vendas de veículos EHP, não exime a frota total de veículos a CI, pois os vendidos até 2029, mesmo que em pequeno percentual, ainda compõe a frota total até o final de sua vida útil.

O consumo de energia total ano a ano, até 2030, é apresentado na Figura 5.9. Os valores estão de acordo com a fonte de energia utilizada. Neste cenário observa-se o maior percentual possível de participação dos veículos EHP nas vendas. A curva de consumo de energia total tem maior decréscimo quando comparada a Figura 5.7. A análise expressa a influência dos veículos EHP no consumo energético. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.19).

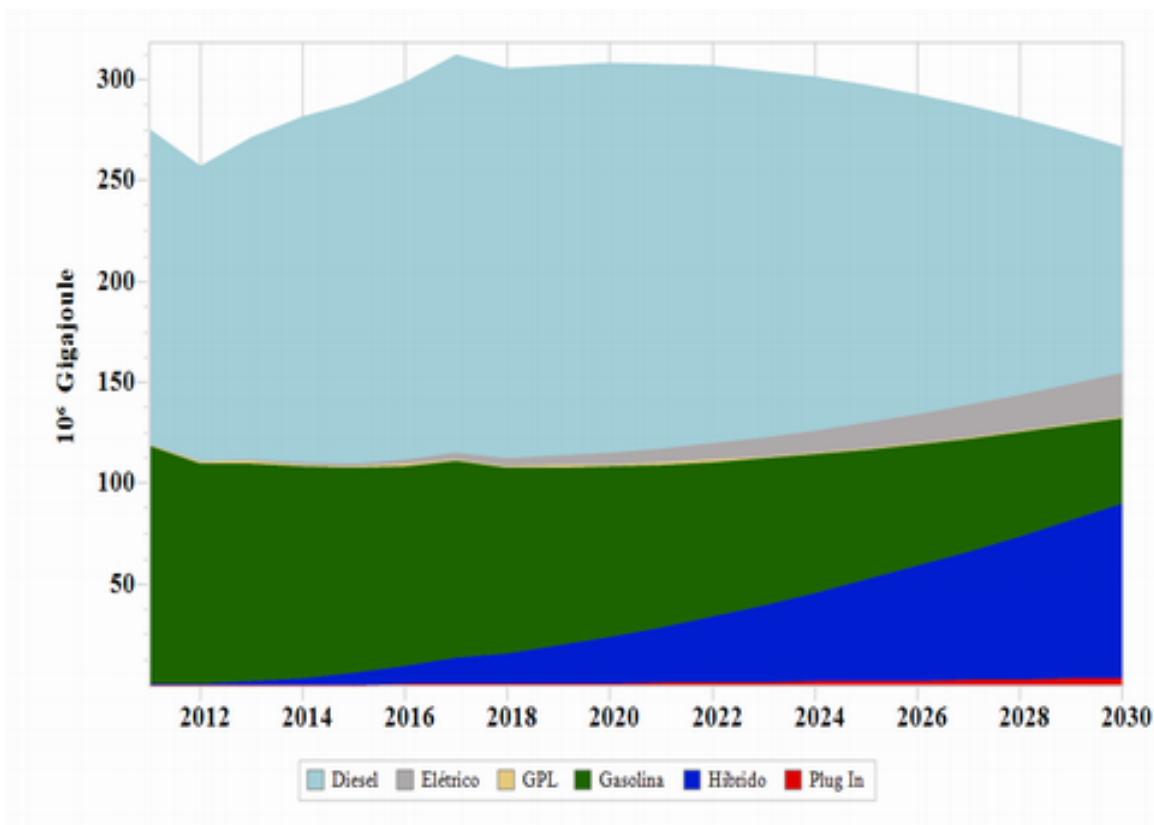


Figura 5.9: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 100% até 2030.

As emissões globais de GEE por tipo de combustível para este cenário, apresentam-se na Figura 5.10. Nesta análise é possível identificar que o incremento de 100% nas vendas de veículos EHP refletem um grande decréscimo na curva de emissões de GEE, quando comparado ao cenários anteriores. A tendência é de que a curva continue a decrescer até que os veículos a CI não componham mais a frota. (Dados apresentados no Anexo A1, Tabela A.20).

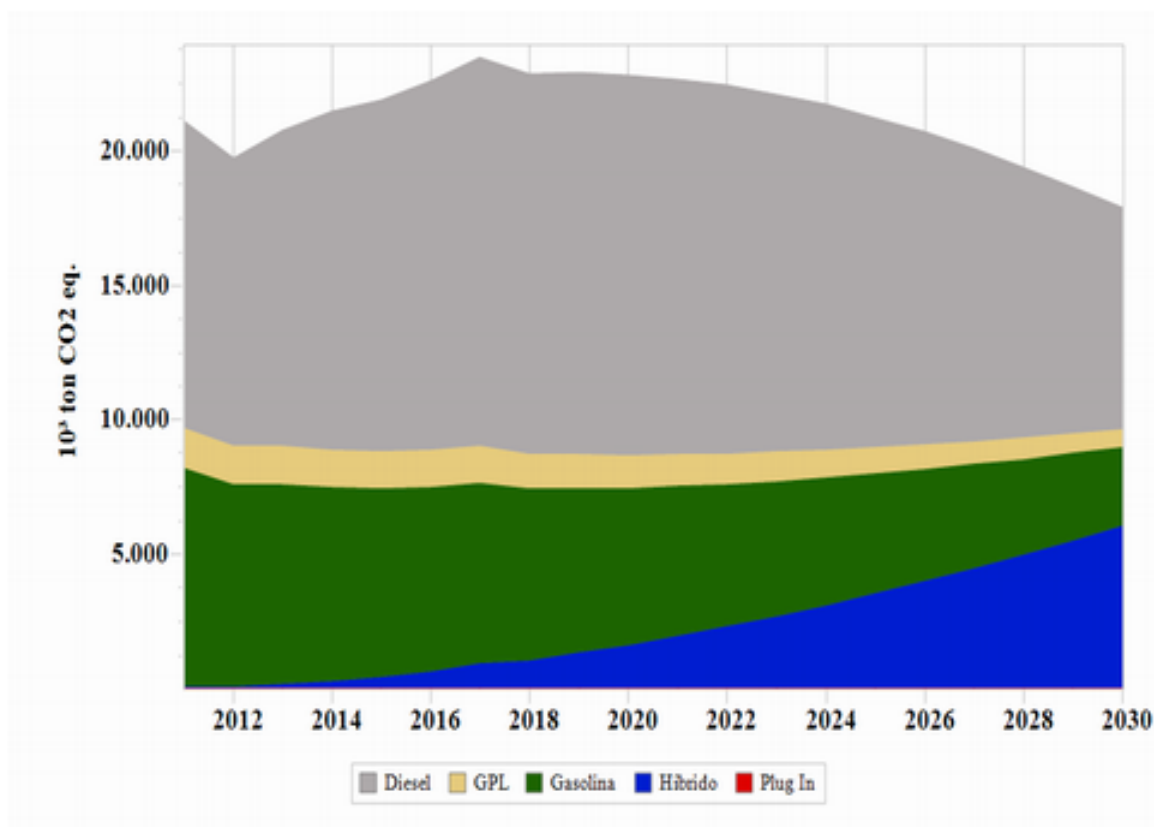


Figura 5.10: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 100% até 2030.

5.2 Análise Comparativa entre os Cenários Propostos

5.2.1 Consumo Energético Total

O consumo de energia total para os diferentes cenários é apresentado de forma comparativa, e pode ser observado na Figura 5.11. Os valores que compõem a Figura 5.11, são apresentados na Tabela 5.1, em uma escala de cinco em cinco anos, onde é possível visualizar a evolução por cenário.

Tabela 5.1: Projeção do consumo de energia da frota total (10^3 Gigajoule).

| | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cenário Base | 275.198,9 | 298.393,2 | 349.569,9 | 387.976,4 | 422.095,6 |
| Cenário 10% | 275.198,9 | 297.427,6 | 345.594,4 | 379.366,3 | 407.348,4 |
| Cenário 30% | 275.198,9 | 295.390,4 | 337.174,2 | 361.111,7 | 376.069,8 |
| Cenário 60% | 275.198,9 | 292.334,6 | 324.544,0 | 333.729,7 | 329.151,9 |
| Cenário 100% | 275.198,9 | 288.260,2 | 307.703,8 | 297.220,4 | 266.594,7 |

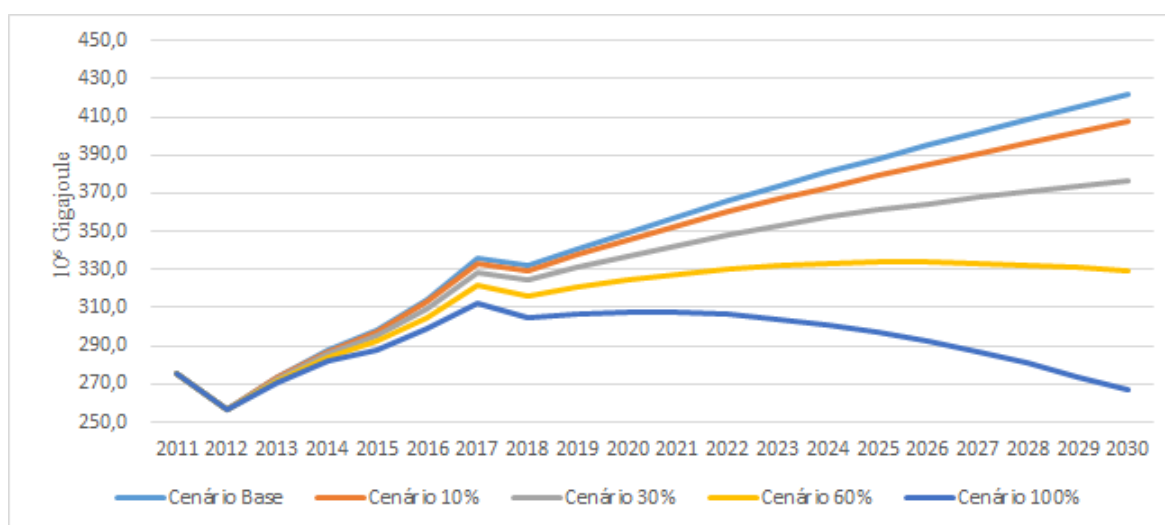


Figura 5.11: Comparativo do consumo de energia entre os cenários propostos.

Em relação ao consumo energético, verifica-se um comportamento similar para os Cenários base, 10% e 30%, enquanto que para os restantes o comportamento é diferente. Os primeiros têm uma tendência crescente de consumo de energia total, enquanto os últimos 2 (60% e 100%) prevêm um decréscimo do consumo de energia. Esse comportamento acontece devido à maior eficiência energética desses veículos, pois em uma análise hipotética, para um trajeto fictício de 50km percorrido por um veículo ligeiro de passageiros, com um consumo médio de 9,4l/100km de gasolina, para percorrer esse trajeto o consumo será de 4,7 litros de combustível. Convertendo para a mesma unidade de energia (Joule) onde 1 litro de gasolina equivale a $32,04 \times 10^3$ J de conteúdo energético [40], a energia consumida será de $150,6 \times 10^3$ J. Analogamente ao exemplo anterior o mesmo trajeto sendo realizado por um veículo elétrico, que tem um consumo energético de 19,88 kWh/100km,

quando convertido para unidade de energia, terá um consumo de $35,6 \times 10^3$ J. Esta comparação pode ser aplicada para ambas as categorias aplicadas a este estudo, uma vez que a eficiência energética é observada nos dois grupos, tanto dos veículos ligeiros de passageiros quanto nos ligeiros comerciais.

O incremento de veículos EHP, reflete-se numa redução da dependência energética nacional. Segundo o PNEC 2030, Portugal pretende diminuir a dependência energética para 65%. Como visto no capítulo 2, este valor era de 79,4% em 2011 e 79,7% em 2017. A Figura 5.11 mostra que para a cada 10% de incremento de veículos EHP na frota, em 2030 haverá uma redução de 3,84% no consumo de energia total. A Tabela 5.2 apresenta a redução no consumo de energia total percentual, em relação a cada cenário em um intervalo de 5 em 5 anos, em comparação ao ano base.

Tabela 5.2: Relação de cada cenário com o consumo energético total em termos percentuais.

| | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cenário Base | 0,06% | 0,06% | 0,07% | 0,08% | 0,09% |
| Cenário 10% | 0,06% | 0,15% | 0,43% | 0,85% | 1,42% |
| Cenário 30% | 0,06% | 0,34% | 1,16% | 2,45% | 4,19% |
| Cenário 60% | 0,06% | 0,62% | 2,27% | 4,85% | 8,34% |
| Cenário 100% | 0,06% | 0,99% | 3,74% | 8,06% | 13,88% |

O maior fator de dependência do país ocorre em relação aos combustíveis fósseis, uma vez que em Portugal não há produção dessas fontes de energia e cerca de 49% do consumo de energia total do país em 2017 foi a partir do petróleo, como apresentado na Figura 5.12. O uso de renováveis não elétricos (biomassa, geotérmica entre outras) ainda é abaixo de 10%.

Essa análise também já foi observada em outros estudos, como em [22] e [23] em que mostram que o incremento de veículos elétricos, tanto na frota Chinesa quanto na brasileira, respectivamente, trazem reduções no consumo de energia primária dos países, como apontado no Capítulo 2.

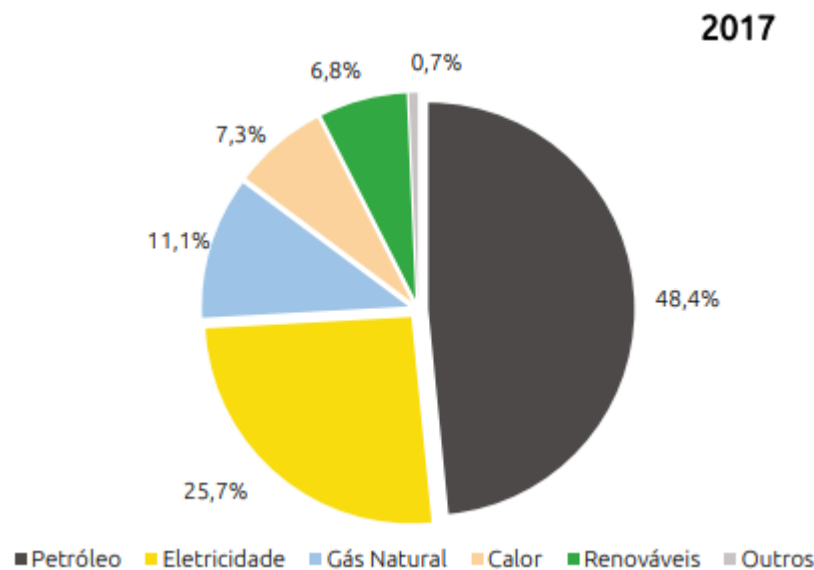


Figura 5.12: Consumo total de energia final em 2017 [1].

5.2.2 Análise do Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia referenciado no ponto anterior, refere-se ao consumo de energia associado aos combustíveis fósseis e elétrica, entretanto é necessária a análise do consumo de energia elétrica em especial, pois este impactará no sistema elétrico português, uma vez que a fonte energética dos veículos a CI passará a ser elétrica em sua grande maioria. A Figura 5.13 apresenta a comparação no consumo de energia elétrica entre os cenários propostos.

O incremento dos veículos EHP torna o consumo de energia mais eficiente, entretanto, agrega à rede uma carga maior na procura de energia elétrica nacional, uma vez que estes veículos serão recarregados a partir a rede.

A produção energética de Portugal apresentada na Figura 5.14 obtida a partir de dados da Redes Energéticas Nacionais (REN) [41], mostra que a produção de energia elétrica portuguesa vem aumentando assim como o consumo. Não obstante, o diferencial entre produção e consumo vem sendo suprido principalmente por energias renováveis, já que o balanço da produção de eletricidade apresentado no Capítulo 2, indica que no ano de 2019, 56,10 % da energia gerada foi proveniente de fontes renováveis. A meta estipulada

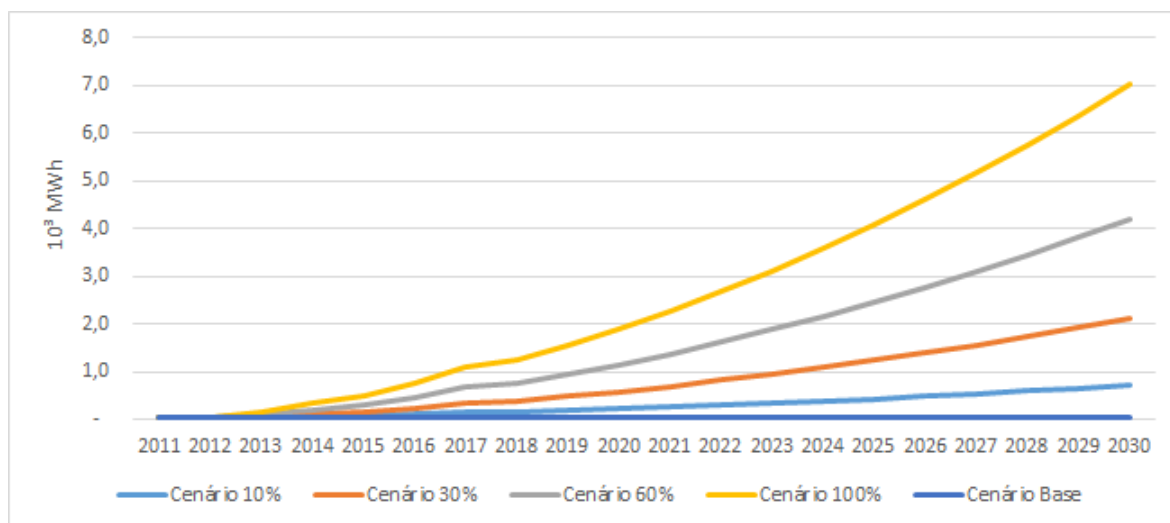


Figura 5.13: Comparativo do consumo de energia elétrica entre os cenários propostos.

pelo PNEC é que até 2030, a produção de eletricidade por fontes renováveis deva atingir um valor de 80% [3].

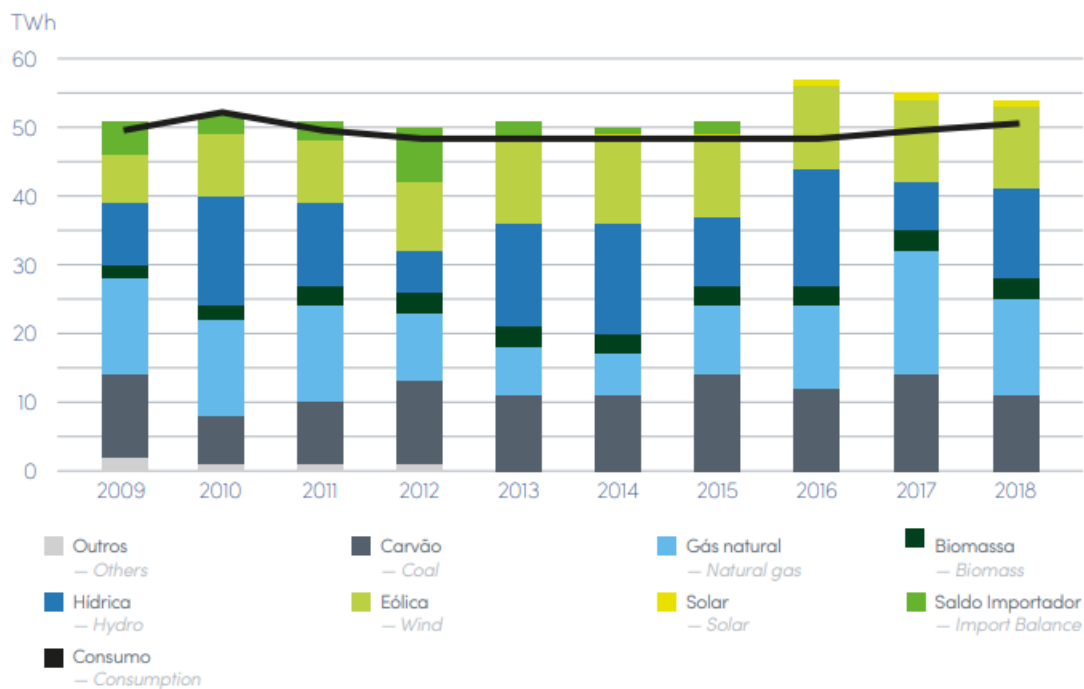


Figura 5.14: Produção elétrica em Portugal Continental [41].

No ano de 2018, o consumo de energia elétrica no país atingiu 50,9 TWh. Em 2011,

ano base especificado, o valor correspondente ao consumo foi de 50,5 TWh. Mesmo apresentando alguma constância, houve aumento no consumo nos últimos 3 anos, e o incremento de veículos EHP deverá elevar o nível da procura de eletricidade no país. Entretanto a troca da fonte de energia utilizada nos veículos torna-se interessante, uma vez que esta se refletirá na menor dependência energética nacional, ao reduzir o consumo de combustíveis fósseis. De acordo com dados fornecidos pelo relatório Energia em Números [1], a produção elétrica portuguesa é cada vez mais proveniente de fontes renováveis, pois além dos reflexos ambientais positivos, este tipo de produção reflete-se em menores preços praticados no mercado de energia, como apresentado no Capítulo 2, a partir de dados do relatório.

A cada incremento de 10% de veículos EHP em detrimento dos de CI, vai refletir-se no consumo de energia elétrica do ano de 2030 em 699 MWh. Sendo assim, em relação ao consumo apresentado no ano base (2011), em termos percentuais, haverá um aumento de 1,38% na procura de energia elétrica anual. A Tabela 5.3 apresenta o aumento do consumo de energia elétrica percentual, de cada cenário para um intervalo de 5 em 5 anos, em comparação ao consumo total do ano base, que foi de 50,5 TWh.

Tabela 5.3: Relação de cada cenário com o consumo total de energia elétrica em termos percentuais.

| | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cenário Base | 0,06% | 0,06% | 0,07% | 0,08% | 0,09% |
| Cenário 10% | 0,06% | 0,15% | 0,43% | 0,85% | 1,42% |
| Cenário 30% | 0,06% | 0,34% | 1,16% | 2,45% | 4,19% |
| Cenário 60% | 0,06% | 0,62% | 2,27% | 4,85% | 8,34% |
| Cenário 100% | 0,06% | 0,99% | 3,74% | 8,06% | 13,88% |

5.2.3 Análise das Reduções de GEE

Em 2015, o Acordo de Paris (AP) determinou uma série de objetivos em um horizonte de longo prazo, para que haja a contenção da elevação das temperaturas globais, onde o valor máximo determinado é de 2°C acima dos níveis pré-industriais, tendo a comunidade internacional fixado metas de modo que esse valor não seja superior a 1,5°C [3].

De acordo com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC) para 2050, ao qual se baseia o PNEC, os maiores esforços referentes à neutralidade carbónica para 2050, acontecerão na próxima década, ou seja, de 2021 a 2030 serão implementadas as maiores metas que devem refletir numa redução dos GEE [3]. Estão previstas alterações efetivas no setor de transportes, principalmente no sentido da descarbonização do setor, com os combustíveis fósseis tradicionais a serem progressivamente substituídos principalmente por eletricidade, além de outras fontes de energia.

A Figura 5.15, apresenta as curvas referentes a cada cenário em relação às emissões de GEE de forma comparativa, onde se pode observar que quanto maior o incremento de veículos elétricos, menores são os níveis de gases emitidos para a atmosfera. Os valores referentes à composição do gráfico apresentam-se na Tabela 5.4, em uma escala de intervalo de 5 anos.

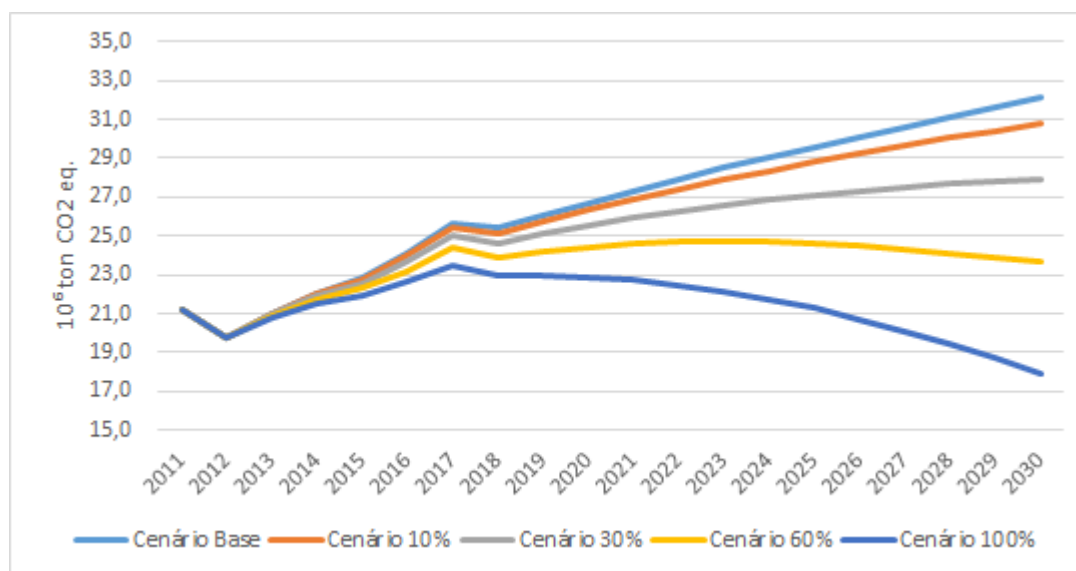


Figura 5.15: Comparativo das emissões de GEE entre os cenários propostos.

Numa análise detalhada, pode afirmar-se que em termos de emissões, a cada 10% do incremento de veículos EHP na frota, em detrimento dos veículos a CI, tem-se uma redução de 4,46%, ao comparar os níveis atingidos no ano de 2030 em relação aos valores referentes ao cenário base. Como visto no Capítulo 2, o setor de transportes tem uma meta de redução de 40% nas emissões, face a 2005.

Tabela 5.4: Comparativo das emissões de GEE entre os cenários propostos ($10^6\text{tonCO}_2\text{eq}$).

| | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cenário Base | 21.174,0 | 22.857,5 | 26.687,8 | 29.580,2 | 32.166,9 |
| Cenário 10% | 21.174,0 | 22.769,1 | 26.324,2 | 28.791,1 | 30.812,5 |
| Cenário 30% | 21.174,0 | 22.582,7 | 25.554,9 | 27.120,0 | 27.943,0 |
| Cenário 60% | 21.174,0 | 22.303,3 | 24.400,9 | 24.613,2 | 23.638,7 |
| Cenário 100% | 21.174,0 | 21.930,7 | 22.862,3 | 21.270,9 | 17.899,7 |

A Tabela 5.5, apresenta os níveis percentuais na redução das emissões dos GEE em relação ao cenário base. É possível identificar que em relação ao cenário base, os níveis de emissões gerados pelos veículos ligeiros (passageiros e comerciais) EHP no ano de 2030, rondam cerca de 45% de redução nas emissões, em comparação do cenário 100% face ao cenário base.

Tabela 5.5: Redução percentual das emissões em comparação ao Cenário Base

| | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cenário Base | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Cenário 10% | 0% | -0,39% | -1,36% | -2,67% | -4,21% |
| Cenário 30% | 0% | -1,20% | -4,25% | -8,32% | -13,13% |
| Cenário 60% | 0% | -2,42% | -8,57% | -16,79% | -26,51% |
| Cenário 100% | 0% | -4,05% | -14,33% | -28,09% | -44,35% |

Outros estudos relacionam a descarbonização da frota de veículos para que sejam alcançadas as metas estipuladas pela comunidade internacional.

Em Inglaterra, o estudo de [42], determina que a implementação de veículos elétricos é a melhor opção para a descarbonização e redução das emissões de GEE, entretanto os reflexos terão maiores impactos a partir de 2030, quando os veículos a CI mais antigos e menos eficientes tiverem idade avançada e sejam substituídos pelos veículos elétricos.

Nos Estados Unidos, [43] mostrou estudos referentes a diferentes décadas, porém para a mesma década aqui em análise, as redução das emissões americanas foram de 14% no valor esperado das emissões de 2020 a 2030.

No Brasil, a análise realizada em [23] realizou estudo semelhante onde a cada incremento de 10% de veículos elétricos na frota de automóveis resultam numa redução de 10,2% nas emissões de GEE.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Resumo

As análises envolvendo o consumo energético e emissões de GEE são de suma importância para as questões envolvendo sustentabilidade global. Desta forma, a comunidade internacional vem discutindo objetivos e metas para que os setores procurem desenvolvimento tecnológico com maior eficiência e eficácia energética e cause os menores impactos ambientais, principalmente no clima terrestre. Os dados obtidos em 2005 alarmaram as nações para a necessidade de regulamentação no consumo de energia, que se reflete nas emissões de GEE.

O desenvolvimento deste trabalho indica que a modernização dos meios de transportes de uso pessoal, refletem em índices positivos em relação à redução da dependência energética nacional, além de corroborar a contribuição para o controle das emissões provenientes desses veículos de CI que compreendem a grande maioria da frota de transportes do país.

O setor de transportes Português é o responsável pela maior dependência energética do país, uma vez que os combustíveis fósseis são os produtos energéticos de maior procura internacional de Portugal, pois o país não é produtor de petróleo seus derivados. Ao utilizar os combustíveis fósseis como principal fonte de energia, o setor de transportes é também o segundo setor responsável pelas emissões de GEE. Justifica-se assim que sejam

feitos estudos envolvendo o setor, de forma a caracterizar novas alternativas em relação ao consumo de energia e as suas consequências nas emissões de GEE permitindo ainda reduzir a dependência energética de setor.

A metodologia de base utilizada deste trabalho é a modelação *bottom-up*, porém a determinação da frota também agregou o modelo *top-down* pelo fato de correlacionar o PIB *per capita* ao histórico da frota do país, onde foram encontrados valores fortes de correlação (0,97, na relação PIB *per capita* relativamente aos veículos ligeiros de passageiros e 0,92 para PIB *per capita* relativamente aos veículos ligeiros comerciais). Verificou-se, ainda, uma qualidade de ajuste dos modelos aos dados apresentados satisfatória, tal como foi possível observar através dos valores obtidos para o coeficiente de determinação para as duas situações em estudo.

A modelagem para a determinação da composição anual da frota considera duas variáveis: a primeira são os veículos novos adquiridos no ano, ou seja, são adicionados ao total da frota as vendas de veículos novos (0 km) ocorridas e a segunda variável diz respeito aos veículos considerados sucata, que são determinados a partir da curva de sucateamento, onde são estipulados quantos veículos saem de circulação no ano. Além disso, em referência à quilometragem média percorrida, pondera-se a redução na utilização do veículo durante o ciclo de vida, atribuindo assim confiabilidade ao modelo determinado.

A possibilidade de comparação do incremento de veículos elétricos se deu a partir dos cenários propostos, construídos a partir do cenário base, que permitem visualizar a que níveis o consumo e as emissões chegariam caso se mantivesse o cenário de menor penetração registrado. Os outros cenários permitem visualizar quais os benefícios na procura energética e nas emissões resultantes do incremento dos veículos EHP no setor de transportes Português, desde uma penetração de 10% nos índices de vendas até à totalidade das vendas no mercado ser composta exclusivamente por veículos elétricos. Outro ponto importante na análise dos cenários, permite entender que os níveis de penetração de novas tecnologias criam reduções lineares no consumo de energia total e nas emissões de GEE.

Em relação ao consumo de energia total, o incremento de veículos EHP diminui a

procura energética, mesmo com a conservação da frota, ou seja, para o mesmo ano com cenários diferentes, observa-se uma redução no consumo de energia total. Isto deve-se ao fato de que os veículos EHP contribuem para uma maior eficiência energética no setor de transportes, em específico nos veículos ligeiros de passageiros e comerciais, objeto deste estudo, colaborando para uma menor dependência energética nacional.

Seguindo o comportamento do consumo energético, em relação às emissões, os veículos EHP, são uma das principais alternativas para o transporte limpo, com reduzidos impactos no meio-ambiente, representando, ainda que a longo prazo, índices de emissões.

No que concerne ao consumo energético, o incremento de veículos EHP provocará a troca da fonte energética utilizada nos veículos. Desta forma, a penetração de veículos EHP no sistema elétrico português, refletirá um incremento na procura por energia elétrica do país, sobre-recarregando a rede elétrica pública. Entretanto, a produção de energia elétrica tem metas para geração limpa, proveniente de fontes de energia renovável, pelo que é expeável que a compensação da elevação da procura seja suprida prioritariamente por energia limpa.

6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

As principais limitações do presente estudo estão relacionadas com a ausência de dados referentes à circulação anual média dos veículos em análise no primeiro ano de uso (quando adquirido 0 km), sendo esta uma das principais limitações do presente estudo. O Relatório Nacional de Inventário Português Sobre Gases de Estufa, 1990 – 2012 [33], referencia a curva de degradação da utilização a partir da equação proposta. Entretanto, não são detalhadas as variáveis componentes da equação.

Para futuros trabalhos sugere-se a aplicação desta metodologia para a frota de veículos pesados, atendendo a que a partir desta década essa categoria de veículos começa a criar históricos de participação no mercado de EHP, por conta das novas tecnologias que vêm sendo desenvolvidas.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria, a determinação das condições em que as

recargas dos veículos elétricos podem alterar a qualidade do sistema elétrico português e quais impactos podem acarretar em termos de sobrecargas na rede elétrica pública.

Em relação ao lixo que possivelmente será gerado por esses novos veículos, como o descarte de baterias, seria interessante outros estudos com capacidade para propor as ações efetivas à reciclagem e outras ações de mitigação dos impactos ambientais.

Por fim, como última sugestão, pode aplicar-se esta análise em cenários onde há apenas incremento de veículos puramente elétricos, porque as metas da UE são para descarbonização total até o ano de 2050.

Referências

- [1] Observatório da Energia, *Energia em Números*. Agência para a Energia, Edição: 2019, [Acesso em: dez. 2019], ISBN: 978-972-8646-76-9. URL: <https://www.observatoriodaenergia.pt/>.
- [2] M. Guerra, R. Ribeiro e S. Rodrigues, “Relatório do Estado do Ambiente”, *Lisboa: APA*, Edição: 2019.
- [3] DGEG, “Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030”, Edição. 2019, [Acesso em: dez. 2019]. URL: <https://apambiente.pt/>.
- [4] C. Novais, “Mobilidade elétrica: desafios e oportunidades”, 2016.
- [5] R. Baran e L. Legey, *Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil*, Banco Nacional do Desenvolvimento, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, 2011.
- [6] Y. Vasconcelos, *Mais Energia*, 261^a ed. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2017.
- [7] WEB, *A história da Mobilidade Elétrica*, [Acesso em: nov. 2019], WEG. URL: <https://museuweg.net>.
- [8] UE, *A história da União Europeia - 1992*, [Acesso em: nov. 2019], União Europeia. URL: <https://europa.eu/>.
- [9] J. Balsa, “Avaliação do impacto da introdução de veículos elétricos na procura de combustíveis em Portugal”, tese de mestrado, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2013.

- [10] G. Oréface, “Como Funcionam os Carros Híbridos?”, *Revista Auto Esporte*, 2019, [Acesso em: jan. 2020]. URL: <https://revistaautoesporte.globo.com/>.
- [11] “Décima terceira alteração ao Código da Estrada, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de maio, e primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de fevereiro”, n.º n.º 169/2013, p. 51, set. de 2013.
- [12] ACAP, *Estatísticas do Sector Automóvel*, AUTO INFORMA – Comercialização de Estudos e Prestação de Serviços no Sector Automóvel, Edição 2011.
- [13] IEA, “Global EV Outlook 2018: Scaling-up the transition to electric mobility”, IEA Publications, Edição: 2019.
- [14] ACEA, *Interactive map: Correlation between uptake of electric cars and GDP in the EU*, [Acesso em: nov. 2019], European Automobile Manufacturers’ Association. URL: <https://www.acea.be/>.
- [15] APREN, *Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental*, [Acesso em: dez. 2019]. URL: <https://www.apren.pt/>.
- [16] Nações Unidas, *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*, [Acesso em: dez. 2019]. URL: <https://www.ipcc.ch/>.
- [17] Planeta Azul, *Portal do Ambiente e Sustentabilidade*, [Acesso em:dez. 2019]. URL: <http://www.planetazul.pt/>.
- [18] APA, *Agência Portuguesa do Ambiente*, Acesso em: dez. 2019, Governo Português. URL: <http://apambiente.pt/>.
- [19] L. de Mattos, “A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro”, tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2001.
- [20] R. Garaffa, *Construção de Cenários de Baixo Carbono Aplicáveis aos Setores-Chave do Brasil*. 2015.

- [21] N. Zhou, D. Fridley, N. Khanna, J. Ke, M. McNeil e M. Levine, “China’s energy and emissions outlook to 2050: Perspectives from bottom-up energy end-use model”, *Energy Policy*, vol. 53, pp. 51–62, 2013.
- [22] T. Peng, X. Ou, Z. Yuan, X. Yan e X. Zhang, “Development and application of China provincial road transport energy demand and GHG emissions analysis model”, *Applied Energy*, vol. 222, pp. 313–328, 2018.
- [23] M. Dias, J. Haddad, L. Nogueira, E. Bortoni, R. da Cruz, R. Yamachita e J. Gonçalves, “The impact on electricity demand and emissions due to the introduction of electric cars in the São Paulo Power System”, *Energy Policy*, vol. 65, pp. 298–304, 2014.
- [24] M. Muratori, M. Moran, E. Serra e G. Rizzoni, “Highly-resolved modeling of personal transportation energy consumption in the United States”, *Energy*, vol. 58, pp. 168–177, 2013.
- [25] SEI, *Long-range Energy Alternatives Planning System: Introduction*, [Acesso em: out. 2019, Stockholm Environment Institut. URL: <https://www.energycommunity.org/>].
- [26] P. Milone, “Crescimento e desenvolvimento econômico: teorias e evidências empíricas”, *Manual de economia. São Paulo: Saraiva*, 1998.
- [27] ACAP, *Estatísticas do Sector Automóvel*, AUTO INFORMA – Comercialização de Estudos e Prestação de Serviços no Sector Automóvel, Edição.2018.
- [28] PorData, *Estatísticas Certificadas Sobre Portugal*, Base de Dados Portugal Contemporâneo, [Acesso em: out. 2019]. URL: www.pordata.pt.
- [29] P. Morettin e W. Bussab, *Estatística Básica*, Saraiva, ed., 8º Edição, 2013.
- [30] INE, *Estatísticas dos Transportes e Comunicações: 2000 a 2019*. 2019, Instituto Nacional de Estatística, ISBN: 978-989-25-0507-7. DOI: 0377-2292.

- [31] República Portuguesa, *Instituto da Mobilidade e dos Transportes*, [Acesso em: nov. 2019], IMT. URL: <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Paginas/IMTHome.aspx>.
- [32] B. Gompertz, *On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on the new mode of determining the value of life contingencies*. 1824, vol. 1, pp. 513–585.
- [33] T. Pereira, t. Seabra, A. Pina, P. Canaveira, A. Amaro e L. Freitas, *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2012*, Agência Portuguesa do Ambiente, Edição 2014.
- [34] H.-C. Kim, “Shaping Sustainable Vehicle Fleet Conversion Policies Based on Life Cycle Optimization and Risk Analysis”, tese de doutoramento, University of Michigan Ann Arbor, MI, USA, 2003.
- [35] F. Moura e J. Viegas, “Car organ transplant—anticipating energy and environmental benefits of cleaner technologies”, *Proceedings of the ECEEE (European Council for an Energy Efficient Economy)*, pp. 1303–1312, 2009.
- [36] J. Houghton, L. Meira, B. Lim, K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. Griggs e B. Callander, “Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, Revised 1996 IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Emissions (chapter 1, volume 3): Geneva, Switzerland”, *World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1997.
- [37] S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara e K. Tanabe, *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Institute for Global Environmental Strategies Hayama, Japan, Edição 2006, vol. 5.
- [38] Governo de Portugal, *Portugal 2030*, [Acesso em: nov. 2019], República Portuguesa. URL: <https://www.portugal.gov.pt>.

- [39] Ministério, do Meio Ambiente, “Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários”, *Brasília:[sn]. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf*, [Acesso em: out. 2019], Edição 2014.
- [40] Empresa de Pesquisa Energética, “Balanço Energético Nacional”, *Rio de Janeiro*, Edição 2016.
- [41] REN, *Relatório de Dados Técnicos*, Redes Energéticas Nacionais, Edição. 2018.
- [42] G. Hill, O. Heidrich, F. Creutzig e P. Blythe, “The role of electric vehicles in near-term mitigation pathways and achieving the UK’s carbon budget”, *Applied Energy*, vol. 251, p. 113 111, 2019.
- [43] P. Bastani, J. Heywood e C. Hope, “The effect of uncertainty on US transport-related GHG emissions and fuel consumption out to 2050”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 46, n.º 3, pp. 517–548, 2012.

Anexo A

Tabela A.1: Projeção da frota mantendo-se os índices do cenário base (10^6 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diesel | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,3 | 4,6 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | 6,3 | 6,4 |
| Elétrico | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| GPL | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Gasolina | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 |
| Híbrido | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 5,8 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,7 |

Tabela A.2: Projeção das vendas mantendo-se os índices do cenário base (10^3 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diesel | 141,8 | 66,4 | 491,0 | 479,1 | 407,0 | 475,3 | 531,3 | 230,2 | 383,8 | 387,0 | 390,7 | 395,3 | 400,8 | 406,9 | 413,5 | 420,4 | 427,5 | 434,6 | 441,8 | 448,9 |
| Elétrico | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| GPL | 0,9 | 0,3 | 2,8 | 2,2 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 1,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Gasolina | 44,5 | 14,6 | 145,1 | 114,1 | 120,1 | 141,3 | 158,4 | 67,0 | 113,8 | 114,7 | 115,7 | 117,1 | 118,6 | 120,4 | 122,3 | 124,3 | 126,4 | 128,5 | 130,6 | 132,7 |
| Híbrido | 0,9 | 0,3 | 3,1 | 2,4 | 2,5 | 3,0 | 3,3 | 1,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 |
| Plug In | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Total | 188,4 | 81,6 | 642,8 | 598,5 | 532,7 | 623,1 | 697,0 | 300,3 | 502,8 | 507,0 | 511,7 | 517,8 | 524,9 | 532,8 | 541,4 | 550,4 | 559,7 | 569,1 | 578,4 | 587,8 |

Tabela A.3: Projeção da frota de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^6 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| Diesel | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 4,5 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | |
| Elétrico | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| GPL | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Gasolina | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 |
| Híbrido | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 5,8 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,7 | |

Tabela A.4: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 10% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^3 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 141,8 | 66,0 | 486,1 | 471,9 | 398,9 | 463,4 | 515,4 | 222,2 | 368,4 | 369,6 | 371,1 | 373,6 | 376,7 | 380,4 | 384,5 | 388,9 | 393,3 | 397,7 | 402,1 | 406,3 |
| Elétrico | 0,2 | 0,3 | 3,0 | 4,8 | 4,4 | 6,3 | 8,2 | 4,2 | 7,8 | 8,8 | 9,8 | 10,9 | 12,0 | 13,1 | 14,3 | 15,6 | 16,8 | 18,1 | 19,5 | 20,9 |
| GPL | 0,9 | 0,3 | 2,8 | 2,2 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 1,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| Gasolina | 44,5 | 14,5 | 143,7 | 112,4 | 117,8 | 137,8 | 153,8 | 64,7 | 109,3 | 109,6 | 110,1 | 110,8 | 111,7 | 112,7 | 113,9 | 115,2 | 116,5 | 117,8 | 119,1 | 120,4 |
| Híbrido | 0,9 | 0,5 | 6,9 | 6,9 | 8,8 | 12,2 | 15,8 | 7,6 | 14,3 | 15,9 | 17,6 | 19,3 | 21,2 | 23,0 | 25,0 | 27,1 | 29,2 | 31,3 | 33,6 | 35,8 |
| Plug In | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,4 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,1 |
| Total | 188,4 | 81,6 | 642,8 | 598,5 | 532,7 | 623,1 | 697,0 | 300,3 | 502,8 | 507,0 | 511,7 | 517,8 | 524,9 | 532,8 | 541,4 | 550,4 | 559,7 | 569,1 | 578,4 | 587,8 |

Tabela A.5: Projeção da frota de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^6 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Diesel | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 4,4 | 4,4 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,3 |
| Elétrico | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| GPL | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Gasolina | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 |
| Híbrido | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| Total | 5,8 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,7 |

Tabela A.6: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 30% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^3 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 141,8 | 65,3 | 475,7 | 456,7 | 381,7 | 438,3 | 481,6 | 205,1 | 335,9 | 332,7 | 329,8 | 327,5 | 325,8 | 324,5 | 323,3 | 322,1 | 320,9 | 319,5 | 317,9 | 316,0 |
| Elétrico | 0,2 | 0,7 | 7,8 | 13,4 | 12,4 | 17,8 | 23,7 | 12,3 | 22,8 | 25,8 | 28,9 | 32,1 | 35,5 | 39,0 | 42,6 | 46,4 | 50,3 | 54,3 | 58,4 | 62,6 |
| GPL | 0,9 | 0,3 | 2,7 | 2,1 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 1,1 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Gasolina | 44,5 | 14,3 | 140,6 | 108,8 | 112,7 | 130,3 | 143,7 | 59,7 | 99,7 | 98,7 | 97,8 | 97,1 | 96,6 | 96,1 | 95,8 | 95,4 | 95,0 | 94,6 | 94,2 | 93,6 |
| Híbrido | 0,9 | 0,9 | 15,1 | 16,6 | 22,5 | 32,3 | 42,8 | 20,9 | 40,2 | 45,3 | 50,5 | 55,9 | 61,6 | 67,5 | 73,7 | 80,1 | 86,6 | 93,4 | 100,4 | 107,5 |
| Plug In | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,9 | 2,5 | 1,2 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,6 | 3,9 | 4,2 | 4,6 | 5,0 | 5,4 | 5,8 | 6,2 |
| Total | 188,4 | 81,6 | 642,8 | 598,5 | 532,7 | 623,1 | 697,0 | 300,3 | 502,8 | 507,0 | 511,7 | 517,8 | 524,9 | 532,8 | 541,4 | 550,4 | 559,7 | 569,1 | 578,4 | 587,8 |

Tabela A.7: Projeção da frota de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^6 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Diesel | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,0 | 4,3 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | |
| Elétrico | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | |
| GPL | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Gasolina | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| Híbrido | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,8 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Total | 5,8 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,5 | 8,7 | 8,7 |

Tabela A.8: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 60% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10^3 Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | | |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 141,8 | 64,3 | 460,1 | 433,9 | 355,8 | 400,5 | 431,0 | 179,5 | 287,2 | 277,4 | 267,8 | 258,5 | 249,5 | 240,5 | 231,4 | 222,0 | 212,3 | 202,2 | 191,6 | 180,6 | 180,6 | |
| Elétrico | 0,2 | 1,3 | 15,0 | 26,3 | 24,4 | 35,2 | 46,9 | 24,3 | 45,2 | 51,3 | 57,5 | 63,9 | 70,7 | 77,8 | 85,1 | 92,7 | 100,5 | 108,6 | 116,8 | 125,2 | 125,2 | |
| GPL | 0,9 | 0,3 | 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 1,0 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| Gasolina | 44,5 | 14,1 | 136,0 | 103,3 | 105,0 | 119,1 | 128,6 | 52,2 | 85,2 | 82,3 | 79,4 | 76,6 | 73,9 | 71,2 | 68,5 | 65,7 | 62,9 | 59,9 | 56,8 | 53,5 | 53,5 | 53,5 |
| Híbrido | 0,9 | 1,5 | 27,5 | 31,2 | 43,0 | 62,4 | 83,3 | 40,9 | 79,0 | 89,3 | 99,9 | 110,9 | 122,3 | 134,3 | 146,7 | 159,6 | 172,9 | 186,6 | 200,6 | 215,0 | 215,0 | 215,0 |
| Plug In | 0,1 | 0,1 | 1,6 | 1,8 | 2,5 | 3,6 | 4,8 | 2,4 | 4,6 | 5,1 | 5,8 | 6,4 | 7,1 | 7,7 | 8,5 | 9,2 | 10,0 | 10,8 | 11,6 | 12,4 | 12,4 | 12,4 |
| Total | 188,4 | 81,6 | 642,8 | 598,5 | 532,7 | 623,1 | 697,0 | 300,3 | 502,8 | 507,0 | 511,7 | 517,8 | 524,9 | 532,8 | 541,4 | 550,4 | 559,7 | 569,1 | 578,4 | 587,8 | 587,8 | 587,8 |

Tabela A.9: Projeção da frota de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10⁶ Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Diesel | 3,3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,5 | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 2,8 |
| Elétrico | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,7 |
| GPL | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Gasolina | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| Híbrido | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 3,0 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Total | 5,8 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,7 |

Tabela A.10: Projeção das vendas de automóveis com incremento de 100% de veículos elétricos, híbridos e *plug in* até 2030 (10³ Veículos).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 141,8 | 62,9 | 439,3 | 403,5 | 321,3 | 350,2 | 363,5 | 145,4 | 222,2 | 203,7 | 185,0 | 166,4 | 147,6 | 128,5 | 108,8 | 88,5 | 67,5 | 45,8 | 23,3 | - |
| Elétrico | 0,2 | 2,2 | 24,6 | 43,5 | 40,4 | 58,3 | 77,7 | 40,4 | 75,2 | 85,3 | 95,6 | 106,4 | 117,7 | 129,5 | 141,7 | 154,4 | 167,4 | 180,9 | 194,6 | 208,7 |
| GPL | 0,9 | 0,3 | 2,5 | 1,8 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 0,8 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | - |
| Gasolina | 44,5 | 13,8 | 129,9 | 96,1 | 94,8 | 104,1 | 108,4 | 42,3 | 65,9 | 60,4 | 54,8 | 49,3 | 43,7 | 38,0 | 32,2 | 26,2 | 20,0 | 13,5 | 6,9 | - |
| Híbrido | 0,9 | 2,4 | 44,0 | 50,7 | 70,3 | 102,6 | 137,4 | 67,5 | 130,8 | 148,0 | 165,7 | 184,1 | 203,2 | 223,2 | 244,0 | 265,6 | 287,8 | 310,7 | 334,3 | 358,4 |
| Plug In | 0,1 | 0,1 | 2,5 | 2,9 | 4,1 | 5,9 | 7,9 | 3,9 | 7,5 | 8,5 | 9,6 | 10,6 | 11,7 | 12,9 | 14,1 | 15,3 | 16,6 | 17,9 | 19,3 | 20,7 |
| Total | 188,4 | 81,6 | 642,8 | 598,5 | 532,7 | 623,1 | 697,0 | 300,3 | 502,8 | 507,0 | 511,7 | 517,8 | 524,9 | 532,8 | 541,4 | 550,4 | 559,7 | 569,1 | 578,4 | 587,8 |

Tabela A.11: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário Base até 2030 (10⁶ Gigajoule).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 155,7 | 146,2 | 163,1 | 179,4 | 191,4 | 207,7 | 227,3 | 228,1 | 237,8 | 247,1 | 255,9 | 264,1 | 271,8 | 279,0 | 285,8 | 292,3 | 298,5 | 304,5 | 310,3 | 316,0 |
| Elétrico | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| GPL | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Gasolina | 117,6 | 109,1 | 108,7 | 106,6 | 105,0 | 104,9 | 106,2 | 102,1 | 101,1 | 100,3 | 99,8 | 99,5 | 99,4 | 99,5 | 99,9 | 100,3 | 100,9 | 101,7 | 102,6 | 103,6 |
| Híbrido | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| Total | 275,2 | 257,1 | 273,7 | 287,9 | 298,4 | 314,7 | 335,6 | 332,2 | 341,0 | 349,6 | 357,8 | 365,8 | 373,5 | 380,8 | 388,0 | 395,0 | 401,8 | 408,6 | 415,4 | 422,1 |

Tabela A.12: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário Base até 2030 (10³ Ton CO₂ eq).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diesel | 11.454,6 | 10.755,2 | 11.998,2 | 13.199,6 | 14.085,2 | 15.284,1 | 16.727,0 | 16.782,7 | 17.501,3 | 18.184,2 | 18.826,9 | 19.431,5 | 19.999,4 | 20.528,6 | 21.031,6 | 21.508,4 | 21.964,3 | 22.404,3 | 22.835,1 | 23.253,5 |
| GPL | 1.519,7 | 1.414,3 | 1.439,2 | 1.435,1 | 1.439,1 | 1.466,4 | 1.513,3 | 1.472,1 | 1.479,0 | 1.488,0 | 1.498,7 | 1.511,5 | 1.525,7 | 1.540,9 | 1.557,7 | 1.575,6 | 1.594,4 | 1.614,2 | 1.635,1 | 1.656,6 |
| Gasolina | 8.149,6 | 7.565,8 | 7.538,1 | 7.389,5 | 7.280,1 | 7.274,6 | 7.358,9 | 7.076,1 | 7.006,2 | 6.953,5 | 6.916,3 | 6.897,0 | 6.892,3 | 6.899,8 | 6.921,6 | 6.954,4 | 6.997,5 | 7.050,1 | 7.112,4 | 7.180,9 |
| Híbrido | 50,1 | 46,8 | 49,7 | 51,2 | 53,0 | 55,8 | 59,5 | 58,9 | 60,4 | 62,0 | 63,5 | 65,1 | 66,5 | 68,0 | 69,4 | 70,7 | 72,1 | 73,4 | 74,7 | 75,9 |
| Plug In | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 21.174,0 | 19.782,2 | 21.025,2 | 22.075,3 | 22.857,5 | 24.080,9 | 25.658,6 | 25.389,8 | 26.046,9 | 26.687,8 | 27.305,5 | 27.905,1 | 28.483,9 | 29.037,3 | 29.580,2 | 30.109,1 | 30.628,3 | 31.141,9 | 31.657,2 | 32.166,9 |

Tabela A.13: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 10% até 2030 (10⁶ Gigajoule).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diesel | 155,7 | 146,1 | 162,7 | 178,6 | 190,2 | 205,7 | 224,4 | 224,7 | 233,6 | 241,9 | 249,6 | 256,7 | 263,2 | 269,1 | 274,6 | 279,6 | 284,2 | 288,6 | 292,8 | 296,7 |
| Elétrico | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| GPL | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Gasolina | 117,6 | 109,1 | 108,7 | 106,4 | 104,7 | 104,4 | 105,3 | 101,1 | 99,9 | 98,8 | 98,0 | 97,4 | 96,9 | 96,7 | 96,6 | 96,6 | 96,8 | 97,0 | 97,4 | 97,9 |
| Híbrido | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,9 | 3,4 | 3,9 | 4,4 | 5,0 | 5,6 | 6,2 | 6,8 | 7,5 | 8,3 | 9,0 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Total | 275,2 | 257,1 | 273,5 | 287,3 | 297,4 | 313,2 | 333,4 | 329,6 | 337,8 | 345,6 | 353,0 | 360,1 | 366,9 | 373,2 | 379,4 | 385,2 | 390,9 | 396,5 | 402,0 | 407,3 |

Tabela A.14: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 10% até 2030 (10³ Ton CO₂ eq).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diesel | 11.454,6 | 10.753,7 | 11.974,5 | 13.143,3 | 13.992,8 | 15.139,1 | 16.512,2 | 16.535,4 | 17.190,1 | 17.802,6 | 18.368,3 | 18.889,6 | 19.367,9 | 19.801,6 | 20.202,8 | 20.572,0 | 20.914,6 | 21.235,7 | 21.542,0 | 21.830,8 |
| GPL | 1.519,7 | 1.414,2 | 1.437,7 | 1.431,9 | 1.433,7 | 1.457,7 | 1.500,0 | 1.456,7 | 1.459,5 | 1.464,0 | 1.469,6 | 1.476,9 | 1.485,2 | 1.494,1 | 1.504,2 | 1.515,0 | 1.526,3 | 1.538,1 | 1.550,8 | 1.563,6 |
| Gasolina | 8.149,6 | 7.565,5 | 7.531,8 | 7.376,3 | 7.257,1 | 7.237,3 | 7.302,5 | 7.010,8 | 6.923,3 | 6.851,2 | 6.792,6 | 6.750,0 | 6.720,3 | 6.700,9 | 6.694,1 | 6.696,7 | 6.707,8 | 6.726,8 | 6.753,8 | 6.785,6 |
| Híbrido | 50,1 | 47,2 | 58,5 | 69,8 | 85,4 | 108,4 | 139,0 | 151,0 | 177,3 | 206,4 | 238,1 | 272,4 | 309,2 | 348,4 | 390,0 | 434,0 | 480,3 | 528,8 | 579,6 | 632,6 |
| Plug In | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 21.174,0 | 19.780,7 | 21.002,6 | 22.021,3 | 22.769,1 | 23.942,5 | 25.453,8 | 25.153,9 | 25.750,3 | 26.324,2 | 26.868,7 | 27.388,9 | 27.882,6 | 28.345,0 | 28.791,1 | 29.217,6 | 29.629,0 | 30.029,4 | 30.426,2 | 30.812,5 |

Tabela A.15: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 30% até 2030 (10⁶ Gigajoule).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Diesel | 155,7 | 146,1 | 162,1 | 177,0 | 187,5 | 201,6 | 218,2 | 217,6 | 224,7 | 230,9 | 236,4 | 241,1 | 245,0 | 248,2 | 250,7 | 252,6 | 254,0 | 254,9 | 255,5 | 255,7 |
| Elétrico | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,5 | 2,9 | 3,4 | 3,8 | 4,3 | 4,8 | 5,4 | 5,9 | 6,5 |
| GPL | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Gasolina | 117,6 | 109,1 | 108,5 | 106,0 | 104,0 | 103,2 | 103,6 | 99,1 | 97,3 | 95,6 | 94,1 | 92,8 | 91,6 | 90,4 | 89,5 | 88,5 | 87,7 | 86,9 | 86,2 | 85,5 |
| Híbrido | 0,7 | 0,7 | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,4 | 5,0 | 6,1 | 7,4 | 8,8 | 10,3 | 11,9 | 13,6 | 15,5 | 17,4 | 19,5 | 21,6 | 23,9 | 26,2 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| Total | 275,2 | 257,1 | 272,9 | 286,1 | 295,4 | 310,0 | 328,6 | 324,2 | 330,9 | 337,2 | 342,9 | 348,2 | 353,0 | 357,2 | 361,1 | 364,6 | 367,8 | 370,8 | 373,5 | 376,1 |

Tabela A.16: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 30% até 2030 (10³ Ton CO₂ eq).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Diesel | 11.454,6 | 10.750,5 | 11.924,4 | 13.024,9 | 13.797,7 | 14.832,7 | 16.057,9 | 16.011,8 | 16.531,3 | 16.994,2 | 17.396,6 | 17.741,1 | 18.029,4 | 18.260,1 | 18.445,7 | 18.586,6 | 18.688,7 | 18.757,4 | 18.799,5 | 18.813,1 |
| GPL | 1.519,7 | 1.414,1 | 1.434,5 | 1.425,2 | 1.422,0 | 1.438,6 | 1.471,3 | 1.423,4 | 1.417,3 | 1.411,7 | 1.406,5 | 1.401,9 | 1.397,4 | 1.392,7 | 1.388,2 | 1.383,4 | 1.378,4 | 1.373,2 | 1.367,8 | 1.361,9 |
| Gasolina | 8.149,6 | 7.564,9 | 7.518,3 | 7.347,5 | 7.207,3 | 7.156,4 | 7.180,3 | 6.869,3 | 6.743,7 | 6.629,2 | 6.524,1 | 6.431,1 | 6.347,0 | 6.269,5 | 6.200,7 | 6.137,5 | 6.079,3 | 6.025,4 | 5.976,0 | 5.928,0 |
| Híbrido | 50,1 | 48,2 | 77,7 | 110,4 | 155,8 | 222,6 | 311,6 | 350,8 | 430,9 | 519,7 | 616,9 | 722,2 | 835,5 | 956,6 | 1.085,5 | 1.221,9 | 1.365,7 | 1.516,8 | 1.675,0 | 1.839,9 |
| Plug In | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 21.174,0 | 19.777,7 | 20.954,9 | 21.908,0 | 22.582,7 | 23.650,4 | 25.021,0 | 24.655,2 | 25.123,1 | 25.554,9 | 25.944,1 | 26.296,3 | 26.609,4 | 26.878,9 | 27.120,0 | 27.329,5 | 27.512,2 | 27.672,7 | 27.818,3 | 27.943,0 |

Tabela A.17: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 60% até 2030 (10⁶ Gigajoule).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Diesel | 155,7 | 146,0 | 161,0 | 174,6 | 183,5 | 195,3 | 209,0 | 206,9 | 211,2 | 214,5 | 216,6 | 217,7 | 217,7 | 216,7 | 214,9 | 212,1 | 208,6 | 204,4 | 199,6 | 194,2 |
| Elétrico | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,4 | 2,1 | 2,4 | 2,9 | 3,6 | 4,3 | 5,0 | 5,8 | 6,7 | 7,6 | 8,6 | 9,6 | 10,7 | 11,8 | 13,0 |
| GPL | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Gasolina | 117,6 | 109,1 | 108,2 | 105,4 | 102,9 | 101,5 | 100,9 | 96,0 | 93,4 | 90,8 | 88,3 | 85,9 | 83,5 | 81,1 | 78,8 | 76,4 | 74,1 | 71,7 | 69,4 | 67,0 |
| Híbrido | 0,7 | 0,7 | 1,5 | 2,4 | 3,7 | 5,6 | 8,1 | 9,3 | 11,6 | 14,1 | 16,9 | 19,9 | 23,2 | 26,7 | 30,4 | 34,3 | 38,4 | 42,8 | 47,3 | 52,1 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,1 |
| Total | 275,2 | 257,0 | 272,1 | 284,2 | 292,3 | 305,2 | 321,5 | 316,0 | 320,6 | 324,5 | 327,7 | 330,3 | 332,1 | 333,2 | 333,7 | 333,2 | 332,2 | 330,9 | 329,2 | |

Tabela A.18: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 60% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diesel | 11.454,6 | 10.745,8 | 11.849,2 | 12.847,3 | 13.505,0 | 14.373,1 | 15.376,3 | 15.226,4 | 15.543,0 | 15.781,7 | 15.939,1 | 16.018,4 | 16.021,7 | 15.948,0 | 15.809,9 | 15.608,5 | 15.349,9 | 15.039,9 | 14.685,7 | 14.286,6 |
| GPL | 1.519,7 | 1.413,8 | 1.429,8 | 1.415,1 | 1.404,4 | 1.410,1 | 1.428,1 | 1.373,5 | 1.353,9 | 1.333,4 | 1.311,8 | 1.289,4 | 1.265,7 | 1.240,4 | 1.214,1 | 1.186,2 | 1.156,7 | 1.125,7 | 1.093,4 | 1.059,3 |
| Gasolina | 8.149,6 | 7.563,9 | 7.497,9 | 7.304,5 | 7.132,4 | 7.035,1 | 6.996,9 | 6.656,9 | 6.474,1 | 6.296,2 | 6.121,5 | 5.952,8 | 5.787,1 | 5.622,4 | 5.460,5 | 5.298,8 | 5.136,6 | 4.973,3 | 4.809,2 | 4.641,7 |
| Híbrido | 50,1 | 49,5 | 106,4 | 171,2 | 261,5 | 393,8 | 570,5 | 650,5 | 811,3 | 989,6 | 1.184,9 | 1.396,9 | 1.625,0 | 1.869,0 | 2.128,8 | 2.403,8 | 2.693,9 | 2.998,7 | 3.318,1 | 3.651,0 |
| Plug In | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 21.174,0 | 19.773,1 | 20.883,3 | 21.737,9 | 22.303,3 | 23.212,1 | 24.371,8 | 23.907,3 | 24.182,3 | 24.400,9 | 24.557,3 | 24.657,5 | 24.699,6 | 24.679,8 | 24.613,2 | 24.497,2 | 24.337,0 | 24.137,6 | 23.906,5 | 23.638,7 |

Tabela A.19: Projeção do consumo de energia dos veículos, por tipo de energia utilizada, no Cenário 100% até 2030 (10^6 Gigajoule).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diesel | 155,7 | 145,9 | 159,7 | 171,4 | 178,2 | 187,0 | 196,6 | 192,7 | 193,3 | 192,5 | 190,2 | 186,5 | 181,4 | 174,8 | 167,1 | 158,2 | 148,1 | 137,0 | 125,0 | 112,1 |
| Elétrico | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,0 | 1,6 | 2,4 | 3,4 | 3,9 | 4,8 | 5,9 | 7,1 | 8,3 | 9,7 | 11,1 | 12,6 | 14,3 | 16,0 | 17,8 | 19,7 | 21,7 |
| GPL | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| Gasolina | 117,6 | 109,1 | 107,8 | 104,5 | 101,5 | 99,2 | 97,4 | 91,9 | 88,2 | 84,4 | 80,6 | 76,7 | 72,7 | 68,7 | 64,5 | 60,3 | 56,0 | 51,5 | 46,9 | 42,2 |
| Híbrido | 0,7 | 0,7 | 2,1 | 3,6 | 5,7 | 8,9 | 13,1 | 15,0 | 18,8 | 23,0 | 27,7 | 32,8 | 38,2 | 44,0 | 50,2 | 56,8 | 63,7 | 71,0 | 78,6 | 86,5 |
| Plug In | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,6 |
| Total | 275,2 | 257,0 | 271,1 | 281,7 | 288,3 | 298,8 | 312,0 | 305,1 | 306,9 | 307,7 | 307,5 | 306,4 | 304,3 | 301,1 | 297,2 | 292,5 | 287,0 | 280,8 | 274,0 | 266,6 |

Tabela A.20: Emissões globais dos veículos por tipo de combustível no Cenário 100% até 2030 (10^3 Ton CO_2 eq).

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diesel | 11.454,6 | 10.739,4 | 11.749,0 | 12.610,4 | 13.114,8 | 13.760,3 | 14.467,6 | 14.179,2 | 14.225,4 | 14.165,0 | 13.995,8 | 13.721,5 | 13.344,7 | 12.865,1 | 12.295,5 | 11.637,6 | 10.898,0 | 10.083,3 | 9.200,7 | 8.251,3 |
| GPL | 1.519,7 | 1.413,5 | 1.423,4 | 1.401,5 | 1.380,9 | 1.372,1 | 1.370,6 | 1.306,9 | 1.269,3 | 1.229,0 | 1.185,5 | 1.139,4 | 1.090,2 | 1.037,5 | 981,9 | 923,1 | 861,0 | 795,7 | 727,5 | 655,9 |
| Gasolina | 8.149,6 | 7.562,6 | 7.470,8 | 7.247,1 | 7.032,7 | 6.873,4 | 6.752,3 | 6.373,8 | 6.114,8 | 5.852,1 | 5.584,6 | 5.315,0 | 5.040,7 | 4.759,5 | 4.473,6 | 4.180,5 | 3.879,6 | 3.570,5 | 3.253,6 | 2.926,7 |
| Híbrido | 50,1 | 51,4 | 144,7 | 252,2 | 402,3 | 622,1 | 915,7 | 1.050,1 | 1.318,5 | 1.616,2 | 1.942,4 | 2.296,4 | 2.677,7 | 3.085,5 | 3.519,8 | 3.979,7 | 4.464,9 | 4.974,6 | 5.508,9 | 6.065,8 |
| Plug In | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 21.174,0 | 19.766,9 | 20.787,8 | 21.511,2 | 21.930,7 | 22.627,8 | 23.506,2 | 22.910,0 | 22.927,9 | 22.862,3 | 22.708,2 | 22.472,3 | 22.153,2 | 21.747,6 | 21.270,9 | 20.720,9 | 20.103,5 | 19.424,2 | 18.690,7 | 17.899,7 |

Tabela A.21: Projeção da frota total de automóveis em Portugal Continental.

| Ramos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Veículos | 5.819,8 | 5.564,5 | 5.867,5 | 6.121,8 | 6.308,4 | 6.584,9 | 6.933,7 | 6.883,1 | 7.034,1 | 7.184,8 | 7.334,8 | 7.485,0 | 7.635,1 | 7.783,4 | 7.933,4 | 8.083,1 | 8.232,8 | 8.382,6 | 8.533,7 | 8.683,6 |
| Total | 5.819,8 | 5.564,5 | 5.867,5 | 6.121,8 | 6.308,4 | 6.584,9 | 6.933,7 | 6.883,1 | 7.034,1 | 7.184,8 | 7.334,8 | 7.485,0 | 7.635,1 | 7.783,4 | 7.933,4 | 8.083,1 | 8.232,8 | 8.382,6 | 8.533,7 | 8.683,6 |