



# ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação



## **Impacto Económico, Energético E Ambiental Da Produção Renovável Na Ilha Terceira**

**PATRÍCIA DA SILVA MARQUES**  
(Licenciada em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para Obtenção de Grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientadores:

Professora Cristina Inês Camus  
Professor Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Professor Constantino Vital Sopa Soares  
Vogais:

Professora Cristina Inês Camus  
Professor Victor Manuel Fernandes Mendes

**Dezembro de 2014**



Dissertação realizada sob orientação de:

**Professora Cristina Inês Camus**

Professora adjunta da Área Departamental  
de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação

**Professor Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio**

Equiparado a Assistente 2.º Triénio da Área Departamental  
de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação



# Resumo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos económicos, energéticos e ambientais de um aumento da penetração de energias renováveis e veículos elétricos num sistema isolado, nomeadamente na ilha Terceira, Açores.

Dado as ilhas serem bastante dependentes da importação de combustíveis fósseis, tanto para a produção de energia como para o setor dos transportes, pretende-se avaliar como será possível reduzir essa dependência e determinar a consequente redução de emissões de gases poluentes.

Foram analisados alguns cenários, com e sem penetração de veículos elétricos (VE) e um cenário, muito irrealista mas bastante útil para avaliar os impactos, com 100 % da frota de veículos elétricos.

Com a introdução de novas fontes de energia renováveis e o reforço da energia eólica já existente é possível baixar a produção de energia térmica, de 85 % para 24 % em 2030, reduzindo emissões de gases poluentes e importações de fuel óleo em 63 %.

Com a penetração de 2000 e 4300 de VEs, para 2020 e 2030 respetivamente, é possível uma redução na importação de combustíveis fósseis, sendo essa redução de 0,2 % para 2020 e de 1 % para 2030. Conclui-se também que quantos mais VEs forem introduzidos maior será a redução de importações de combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** Energias renováveis, veículos elétricos, ilha Terceira, diagramas de carga, emissões locais, emissões globais, preço de energia, preço dos combustíveis



# Abstract

The present study aims to assess the economic, energy and environmental impacts of increased penetration of renewable energy and electric vehicles in an isolated system, in particular on Terceira Island, Azores.

Islands are heavily dependent on imported fossil fuels, both for energy production and for the transportation sector. This dissertation intends to evaluate how it will be possible to reduce this dependency and to determine the consequent reduction of greenhouse gas emissions.

Several scenarios were analyzed, no penetration of electric vehicles, with penetration different of electric vehicles and finally a very unrealistic but useful scenario to assess the impacts, a 100 % of the electric vehicle fleet.

With the introduction of new sources of renewable energy and the strengthening of existing wind energy is already possible to lower the production of thermal energy from 85 % to 24 % in 2030, reducing greenhouse gas emissions and imports of fuel oil by 63 %.

With a penetration of 2000 and 4300 EVs, in 2020 and 2030 respectively, it's possible a reduction in the import of fossil fuels, and this reduction of 0,2 % for 2020 and 1 % for 2030. It also follows that the more EVs are introduced greater the reduction of imported fossil fuels.

**Keywords:** Renewable energy, electric vehicles, Terceira, load profile, local emissions, global emissions, energy price, fuel prices



# Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora, Doutora Cristina Inês Camus, e ao meu orientador, Engenheiro Eduardo Eusébio, pela sugestão de tema, pela motivação, disponibilidade, orientação e contributos prestados ao longo da execução desta dissertação.

Estou também muito agradecida ao Engenheiro Alexandre Pereira da EDA (Eletricidade dos Açores) pelo fornecimento dos dados necessários para a execução desta dissertação e pela sua disponibilidade para esclarecimento de dúvidas.

Aos meus pais que sou muito grata, Leonel Marques e Isabel Marques, pelo exemplo que sempre foram e pela educação que me proporcionaram.

Também agradeço ao meu irmão, Tiago Marques, pela sua disponibilidade sempre que tenho dúvidas.

Agradeço muito ao meu namorado, António Pêgas, pelo apoio que sempre me deu e continua a dar, pela paciência que teve comigo mesmo nas alturas mais complicadas.

Por último mas não menos importante agradeço a minha grande amiga e colega, Énia Silva, por estar comigo durante toda a licenciatura e mestrado, inclusive durante a elaboração desta dissertação onde podemos trocar ideias e ajudarmo-nos mutuamente e agradeço também à minha colega Isabel Páscoa que também esteve presente durante a elaboração desta dissertação.



# Índice

<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>xix</b>
<b>Lista de acrónimos</b> .....	<b>xxi</b>
<b>Unidades de medida</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>Lista de Símbolos</b> .....	<b>xxv</b>
<b>Capítulo 1: Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Contexto .....	3
1.2. Motivação.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.4. Estrutura do documento .....	4
1.5. Notação.....	4
<b>Capítulo 2: Revisão da Literatura</b> .....	<b>7</b>
2.1. Sistemas isolados.....	9
2.1.1. Ilhas Canárias (Espanha).....	9
2.1.2. Ilha Ærø (Dinamarca).....	10
2.1.3. Ilhas Gregas.....	10
2.1.4. Ilhas de Cabo Verde .....	11
2.1.5. Ilha do Corvo (Açores).....	11
2.1.6. Penetração de veículos elétricos .....	12
2.2. Veículos elétricos .....	13
2.2.1. Do início da mobilidade elétrica até à atualidade.....	13
2.2.2. Tipos de veículos elétricos .....	18
2.2.2.1. Veículos elétricos a baterias (VEBs).....	18
2.2.2.2. Veículos elétrico híbridos (VEHs) .....	19
2.2.2.2.1. Veículos elétricos híbridos Plug-in (VEHPs).....	20
2.2.2.3. Veículos elétricos a células de combustível (VECCs).....	21
2.3. Penetração dos veículos elétricos .....	22
2.3.1. No mundo .....	22
2.3.2. Em Portugal .....	23

<b>Capítulo 3: Caracterização do Setor Energético .....</b>	<b>25</b>
3.1. Setor dos combustíveis fósseis .....	27
3.1.1. Preço dos combustíveis .....	28
3.1.2. Preço das emissões de CO <sub>2</sub> .....	30
3.2. Sector Elétrico .....	30
3.2.1. Caracterização do sistema electroprodutor da ilha Terceira.....	30
3.1.1.1. Energia Térmica.....	32
3.1.1.2. Energia Hídrica .....	34
3.1.1.3. Energia Eólica .....	36
3.2.2. Consumo de Energia Elétrica.....	37
3.2.3. Diagramas característicos.....	37
3.2.3.1. Primavera .....	38
3.2.3.2. Verão.....	39
3.2.3.3. Outono.....	40
3.2.3.4. Inverno .....	41
3.2.4. Emissões do sistema electroprodutor .....	42
3.2.5. Plano de investimentos previsto .....	42
3.2.6. Preço da eletricidade .....	43
3.3. Setor Automóvel .....	43
3.3.1. Em Portugal Continental .....	43
3.3.1.1. Na ilha Terceira.....	45
3.4.1. Energia consumida pelo parque automóvel.....	45
3.4.2. Emissões do parque automóvel .....	46
<b>Capítulo 4: Metodologia .....</b>	<b>47</b>
4.1. Recursos endógenos da Terceira .....	49
4.1.1. Energia hídrica .....	49
4.1.2. Energia Solar .....	49
4.1.3. Energia Geotérmica.....	51
4.1.4. Energia Eólica .....	52
4.1.5. Energia da Biomassa .....	53
4.2. Evolução da população residente .....	55
4.2.1. Em Portugal Continental .....	55
4.2.2. Na Ilha Terceira.....	55
4.3. Evolução dos Preços.....	57
4.3.1. Eletricidade.....	57

4.3.2.	Combustíveis fósseis .....	58
4.4.3.	Emissões de CO <sub>2</sub> .....	60
4.5.	Sector automóvel.....	60
4.5.3.	Evolução do parque automóvel .....	60
4.5.4.	Veículos elétricos .....	72
4.5.4.1.	Perfil de carregamento .....	72
4.5.4.2.	Energia média consumida .....	75
4.5.5.	Veículos de combustão interna.....	78
4.5.5.1.	Consumo e emissões médias .....	78
4.5.6.	Energia consumida e emissões evitadas .....	80
4.6.	Sector elétrico.....	82
4.6.3.	Evolução do consumo de energia elétrica .....	82
4.6.4.	Fatores característicos das centrais.....	86
4.6.4.1.	Fatores de carga .....	86
4.6.4.2.	Rendimento da central térmica.....	88
4.6.4.3.	Perfil de produção de Energia Eólica.....	89
4.6.4.4.	Perfil de produção de Energia Solar fotovoltaica.....	90
4.6.5.	Cálculo da energia primária .....	93
4.7.	Custos.....	93
4.7.3.	Custo unitário da central térmica.....	93
4.7.3.1.	Custo nivelado da central térmica do Belo Jardim em 2013 .....	94
4.7.4.	Custos nivelados de centrais renováveis .....	95
4.7.4.1.	Custos de investimento .....	96
4.7.4.2.	Custos de operação e manutenção.....	97
4.7.4.3.	Modelo simplificado do Custo Nivelado para as energias renováveis.....	97
4.7.4.4.	Custo nivelado de centrais renováveis .....	97
<b>Capítulo 5: Casos de Estudo.....</b>		<b>103</b>
5.1.	Casos em estudo .....	105
5.1.1.	Cenário sem penetração de VE para 2013, 2020 e 2030 .....	107
5.1.2.	Cenário com penetração de VE (referência) para 2020 e 2030.....	113
5.1.3.	Cenário com 100 % de VE para 2020 e 2030 .....	118
<b>Capítulo 6: Conclusões .....</b>		<b>125</b>
6.1.	Conclusões .....	127
6.2.	Desenvolvimentos futuros.....	128

<b>Bibliografia .....</b>	<b>131</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>137</b>
<b>Apêndice 1: Custos nivelados de centrais renováveis.....</b>	<b>139</b>
<b>Apêndice 2: Veículos .....</b>	<b>143</b>
2.1. Penetração de veículos .....	143
2.2. Percentagem de veículos .....	144
2.3. Função de Gompertz para a penetração de veículos .....	145
2.4. Cenários do parque automóvel.....	147
<b>Apêndice 3: diagramas de carregamentos de VE.....</b>	<b>149</b>
3.1. Carregamento não controlado .....	149
3.2. Carregamento no vazio.....	149
3.3. Carregamento controlado .....	150
3.4. Carregamento controlado com 100% de VE.....	151
<b>Apêndice 4: Casos de estudo.....</b>	<b>153</b>
4.1. Caso 1.....	153
4.1.1. Setor elétrico .....	153
4.1.2. Setor automóvel .....	155
4.2. Caso 2.....	155
4.2.1. Setor elétrico .....	155
4.2.2. Setor automóvel .....	157
4.3. Caso 3.....	158
4.3.1. Setor elétrico .....	158
4.3.2. Setor automóvel .....	160
4.4. Caso 4.....	160
4.4.1. Setor elétrico .....	160
4.4.2. Setor automóvel .....	162
4.5. Caso 5.....	163
4.5.1. Setor elétrico .....	163
4.5.2. Setor automóvel .....	165
4.6. Caso 6.....	165
4.6.1. Setor elétrico .....	165
4.6.2. Setor automóvel .....	167
4.7. Caso 7.....	168
4.7.1. Setor elétrico .....	168
4.7.2. Setor automóvel .....	170

4.8.	Caso 8.....	170
4.8.1.	Setor elétrico .....	170
4.8.2.	Setor automóvel .....	172
4.9.	Caso 9.....	173
4.9.1.	Setor elétrico .....	173
4.9.2.	Setor automóvel .....	175
4.10.	Caso 10.....	175
4.10.1.	Setor elétrico .....	175
4.10.2.	Setor automóvel .....	177
4.11.	Caso 11.....	178
4.11.1.	Setor elétrico .....	178
4.11.2.	Setor automóvel .....	180
4.12.	Caso 12.....	180
4.12.1.	Setor elétrico .....	180
4.12.2.	Setor automóvel .....	182
4.13.	Caso 13.....	183
4.13.1.	Setor elétrico .....	183
4.13.2.	Setor automóvel .....	185
4.14.	Caso 14.....	185
4.14.1.	Setor elétrico .....	185
4.14.2.	Setor automóvel .....	187
4.15.	Caso 15.....	188
4.15.1.	Setor elétrico .....	188
4.15.2.	Setor automóvel .....	190
4.16.	Caso 16.....	190
4.16.1.	Setor elétrico .....	190
4.16.2.	Setor automóvel .....	192
4.17.	Caso 17.....	193
4.17.1.	Setor elétrico .....	193
4.17.2.	Setor automóvel .....	195
4.18.	Caso 18.....	195
4.18.1.	Setor elétrico .....	195
4.18.2.	Setor automóvel .....	197
4.19.	Caso 19.....	198
4.19.1.	Setor elétrico .....	198
4.19.2.	Setor automóvel .....	200

4.20. Resumo dos casos de estudo .....	201
<b>Apêndice 5:</b> “Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal for Electricity Generation and Transports” .....	213

# Índice de Figuras

Figura 2.1 – Plano original do motor elétrico de Michael Faraday .....	14
Figura 2.2 – Bateria de Volta .....	14
Figura 2.3 – Locomotiva elétrica de Robert Davidson .....	14
Figura 2.4 – Baker Runabout em 1893 .....	15
Figura 2.5 – Carro elétrico com o record de velocidade em 1899 .....	15
Figura 2.6 - O Lohner Porsche, o primeiro veículo elétrico híbrido concebido e dirigido pelo Dr. Ferdinand Porsche .....	16
Figura 2.7 – Replica feita pela Porsche do primeiro veículo elétrico híbrido .....	16
Figura 2.8 – Tesla ROADSTER 2.5 .....	16
Figura 2.9 – Toyota Prius .....	17
Figura 2.10 – Chevrolet Volt .....	17
Figura 2.11 – Honda FCX Clarity .....	17
Figura 2.12 - Diferentes graus de eletrificação de veículos rodoviários, baseado em .....	18
Figura 2.13 – Esquema do veículo elétrico a bateria .....	19
Figura 2.14 - Esquema do veículo elétrico híbrido série .....	19
Figura 2.15 - Esquema do veículo elétrico híbrido paralelo .....	20
Figura 2.16 - Configuração base do FCX Clarity .....	21
Figura 2.17 – Investimento por região .....	22
Figura 2.18 – VE previsto para 2020, em milhões de veículos .....	22
Figura 3.1 – Evolução das importações de combustíveis fósseis por tipo .....	27
Figura 3.2 – Distribuição do consumo dos derivados de petróleo em 2012 .....	27
Figura 3.3 – Distribuição dos combustíveis fósseis por tipo e atividade económica em 2012 ...	28
Figura 3.4 – Distribuição dos combustíveis fósseis por atividade económica em 2012 .....	28
Figura 3.5 – Preços dos combustíveis nos Açores por tipo .....	30
Figura 3.6 – Preço das emissões de CO <sub>2</sub> .....	30
Figura 3.7 – Evolução da produção de energia elétrica consoante o tipo .....	31
Figura 3.8 – Produção de energia elétrica em 2013 .....	32
Figura 3.9 - Emissões específicas da central do Belo Jardim de 2005 a 2010 .....	32
Figura 3.10 – Evolução da capacidade de produção da Central do Belo Jardim .....	33
Figura 3.11 – Central Termoelétrica do Belo Jardim .....	34
Figura 3.12 – Parque eólico da Serra do Cume .....	36
Figura 3.13 – Evolução do consumo de energia elétrica .....	37
Figura 3.14 – Diagrama de carga típico de um dia de semana da Primavera .....	38
Figura 3.15 – Diagrama de carga típico de um sábado da Primavera .....	38

Figura 3.16 – Diagrama de carga típico de um Domingo da Primavera .....	38
Figura 3.17 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Verão .....	39
Figura 3.18 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Verão.....	39
Figura 3.19 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Verão.....	39
Figura 3.20 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Outono.....	40
Figura 3.21 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Outono.....	40
Figura 3.22 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Outono .....	40
Figura 3.23 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Inverno .....	41
Figura 3.24 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Inverno .....	41
Figura 3.25 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Inverno.....	41
Figura 3.26 – Preço da eletricidade em Portugal.....	43
Figura 3.27 – Parque automóvel de veículos ligeiros em Portugal .....	44
Figura 3.28 – Vendas de veículos ligeiros em Portugal por tipo.....	44
Figura 3.29 - Vendas de veículos ligeiros em Portugal por tipo em 2013 .....	45
Figura 3.30 – Parque automóvel de veículos ligeiros da Ilha Terceira .....	45
Figura 4.1 – Estações meteorológicas na ilha terceira .....	49
Figura 4.2 – Radiação solar global horizontal mensal (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	50
Figura 4.3 – Índice de claridade mensal.....	50
Figura 4.4 – Perfis típicos médios diários (Maio 2006-2007).....	50
Figura 4.5 – Mapa vulcânico da ilha Terceira.....	52
Figura 4.6 – Mapeamento do potencial de biomassa para a produção de energia (Terceira) .....	53
Figura 4.7 – Número de habitantes e habitantes estimados para Portugal Continental .....	55
Figura 4.8 – Número de habitantes residentes na R.A. dos Açores e na ilha Terceira.....	56
Figura 4.9 – Número de habitantes e habitantes estimados para a ilha Terceira.....	57
Figura 4.10 – Tendência do preço da eletricidade.....	57
Figura 4.11 – Evolução do preço da eletricidade .....	58
Figura 4.12 – Preço médio para o petróleo .....	58
Figura 4.13 – Tendências das diferenças entre o preço do petróleo e dos seus derivados .....	59
Figura 4.14 – Evolução dos preços dos derivados do petróleo .....	59
Figura 4.15 – Evolução do Preço das emissões de CO <sub>2</sub> .....	60
Figura 4.16 - Evolução da densidade de veículos em Portugal Continental e na ilha Terceira... 61	
Figura 4.17 – Evolução da densidade de veículos em Portugal Continental e com translação da densidade de veículos da ilha Terceira.....	61
Figura 4.18 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental.....	63
Figura 4.19 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário otimista para a ilha Terceira .....	63

Figura 4.20 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário pessimista para a ilha Terceira .....	64
Figura 4.21 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário de referência para a ilha Terceira .....	65
Figura 4.22 – Penetração de veículos a gasóleo.....	66
Figura 4.23 – Penetração de veículos a gasolina.....	66
Figura 4.24 – Percentagem de veículos a gasóleo.....	67
Figura 4.25 – Percentagem de veículos a gasolina.....	67
Figura 4.26 – Percentagem dos veículos por tipo de combustível .....	68
Figura 4.27 – Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasóleo.....	69
Figura 4.28 – Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasolina.....	69
Figura 4.29 – Percentagem dos veículos por tipo de combustível até 2030.....	70
Figura 4.30 – Cenário otimista, referência e pessimista de penetração de veículos elétricos .....	71
Figura 4.31 – Número de veículos elétricos para os cenários otimista, referência e pessimista para a ilha Terceira.....	71
Figura 4.32 – Cenário referência para a frota de veículos ligeiros da ilha Terceira.....	72
Figura 4.33 – Parque de automóveis ligeiros do cenário referência para ilha Terceira .....	72
Figura 4.34 – Carregamento não controlado, com $\mu = 20h$ e $\sigma = 1,8$ .....	73
Figura 4.35 – Carregamento no vazio, com $\mu = 3h$ e $\sigma = 1,9$ .....	74
Figura 4.36 – Diagrama de carregamento para o cenário de referência com carregamento em vazio para 2030 .....	78
Figura 4.37 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita em Portugal Continental [62] .....	83
Figura 4.38 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário otimista .....	83
Figura 4.39 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário pessimista .....	84
Figura 4.40 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de referência .....	85
Figura 4.41 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade na ilha Terceira .....	85
Figura 4.42 – Software PVGIS .....	87
Figura 4.43 – Diagrama de carga médio de Energia Eólica em 2012 para Portugal.....	89
Figura 4.44 – Perfil de produção de Energia Eólica para a ilha Terceira, com $\mu = 12h$ e $\sigma = 2$ .....	90
Figura 4.45 – Radiação e temperatura média para a ilha Terceira .....	91
Figura 4.46 – Demonstração da forma de calcular os custos nivelados.....	96
Figura 4.47 – Custo Nivelado para a Eólica em terra entre 2010 e 2050.....	99

Figura 4.48 – Custo Nivelado para diferentes tecnologias em 2010.....	99
Figura 4.49 – Custo Nivelado para diferentes tecnologias com diferentes taxas de atualização para 2010.....	100
Figura 4.50 - Taxa de rendibilidade de Obrigações do Tesouro a taxa fixa - 10 anos (média mensal).....	100
Figura 4.51 - Custos nivelados para diferentes tecnologias entre 2010 e 2050 .....	101
Figura 5.1 – Diagrama de carga característico da Primavera 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	107
Figura 5.2 – Diagrama de carga característico do Inverno 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	108
Figura 5.3 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	108
Figura 5.4 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	109
Figura 5.5 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	109
Figura 5.6 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	110
Figura 5.7 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	114
Figura 5.8 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	114
Figura 5.9 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	115
Figura 5.10 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	115

Figura 5.11 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	119
Figura 5.12 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	119
Figura 5.13 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	120
Figura 5.14 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo).....	120



# Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Produção de energia Eólica nas Canarias (MWh).....	9
Tabela 2.2 – Centrais de aquecimento urbano em Ærø.....	10
Tabela 3.1 – Preço dos combustíveis no continente e Açores.....	29
Tabela 3.2 – Centrais de Produção de Energia Elétrica no ano 2012.....	31
Tabela 3.3 – Dias Típicos 2013.....	37
Tabela 3.4 – Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> por ilha em 2013.....	42
Tabela 3.5 – Energia e emissões de CO <sub>2</sub> produzidas pela central do Belo Jardim em 2013.....	42
Tabela 3.6 – Ações para a produção de energia.....	42
Tabela 3.7 – PCI por tipo de combustível.....	46
Tabela 3.8 – Energia consumida pelo parque automóvel da ilha Terceira em 2012.....	46
Tabela 3.9 – Emissões de CO <sub>2</sub> por tipo de combustível.....	46
Tabela 3.10 - Emissões de CO <sub>2</sub> por tipo de combustível do parque automóvel da ilha Terceira em 2012.....	46
Tabela 4.1 – Estimativa de produção de resíduos de exploração e de 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> transformação.....	54
Tabela 4.2 – Quantidade de litros disponíveis por dia e por espécie animal, para as ilhas de São Miguel e Terceira.....	54
Tabela 4.3 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos de Portugal Continental.....	63
Tabela 4.4 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário otimista para a ilha Terceira.....	64
Tabela 4.5 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário pessimista para a ilha Terceira.....	64
Tabela 4.6 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário de referência para a ilha Terceira.....	65
Tabela 4.7 – Parâmetros da função Gompertz para a percentagem de veículos a gasóleo.....	69
Tabela 4.8 – Parâmetros da função Gompertz para a percentagem de veículos a gasolina.....	69
Tabela 4.9 – Características dos veículos mais vendidos nos 2 primeiros meses de 2014.....	75
Tabela 4.10 – Consumo dos veículos elétricos por cada 100km.....	76
Tabela 4.11 – Consumo médio e emissões de CO <sub>2</sub> por categoria de veículo.....	79
Tabela 4.12 – Percentagem de veículos vendidos por segmento e combustível em 2009.....	79
Tabela 4.13 – Média do consumo médio e emissões de CO <sub>2</sub> para veículos ligeiros.....	80
Tabela 4.14 – Número de veículos ligeiros para a ilha Terceira no cenário de referência em 2030.....	80
Tabela 4.15 – PCI por tipo de combustível.....	81

Tabela 4.16 – Energia consumida pelo parque automóvel de veículos ligeiros da ilha Terceira no cenário de referência em 2030 (GWh) .....	81
Tabela 4.17 – Emissões locais de CO <sub>2</sub> geradas pelo parque automóvel de veículos ligeiros da ilha Terceira no cenário de referência em 2030 (Ton CO <sub>2</sub> ) .....	82
Tabela 4.18 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita em Portugal Continental .....	83
Tabela 4.19 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de otimista .....	84
Tabela 4.20 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de pessimista .....	84
Tabela 4.21 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de referência.....	85
Tabela 4.22 – Energia produzida e irradiação para São Miguel.....	87
Tabela 4.23 – Parâmetros do Painel Solar.....	91
Tabela 4.24 – Parâmetros da central térmica do Belo Jardim .....	94
Tabela 4.25 – Resumo dos dados das diferentes tecnologias .....	98
Tabela 4.26 – Dados para o cálculo do custo nivelado para a eólica em terra para o ano 2010 .	98
Tabela 4.27 – Resumo dos cálculos efetuados para a obtenção do custo nivelado de um parque eólico .....	99
Tabela 5.1 – Resumo dos casos de estudo .....	105
Tabela 5.2 – Resumo dos casos de estudo 1, 2 e 12.....	111
Tabela 5.3 – Resumo dos casos de estudo 5 e 14.....	116
Tabela 5.4 – Resumo dos casos de estudo 7 e 15.....	121

# Lista de acrónimos

<b>Abreviatura</b>	<b>Definição</b>
<b>ACAP</b>	Associação Automóvel de Portugal
<b>CAEN</b>	Companhia Açoriana de Energias Renováveis
<b>CHCD</b>	Centrais Hídricas da Cidade
<b>CHNA</b>	Centrais Hídricas Nasce D'Água
<b>CHSJ</b>	Centrais Hídricas São João
<b>CTBJ</b>	Central Termoelétrica do Belo Jardim
<b>EDA</b>	Eletricidade dos Açores
<b>ERSE</b>	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>IRC</b>	Imposto Sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas
<b>ISV</b>	Imposto sobre Veículos
<b>IUC</b>	Imposto Único de Circulação
<b>PCI</b>	Poder calorífico inferior
<b>PESC</b>	Parques Eólicos da Serra do Cume
<b>PESCN</b>	Parques Eólicos da Serra do Cume Norte
<b>PVGIS</b>	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>VE</b>	Veículo elétrico
<b>VEB</b>	Veículo elétrico a bateria
<b>VECC</b>	Veículo elétrico a célula de combustível
<b>VEH</b>	Veículo elétrico híbrido
<b>VEHP</b>	Veículos elétricos híbridos Plug-in



# Unidades de medida

<b>Símbolo</b>	<b>Nome</b>	<b>Grandeza</b>
<b><math>m^2</math></b>	Metro quadrado	Área
<b>C</b>	Coulomb	Carga elétrica
<b>km</b>	Quilometro	Comprimento
<b>A</b>	Ampére	Corrente
<b>MJ</b>	Megajoule	Energia
<b>kWh</b>	Quilowatt-hora	Energia
<b>MWh</b>	Mega Watt-hora	Energia
<b>GWh</b>	Giga Watt-hora	Energia
<b>J</b>	Joule	Energia
<b>g</b>	Gramma	Massa
<b>kg</b>	Quilograma	Massa
<b>ton</b>	Tonelada	Massa
<b>kW</b>	Quilowatt	Potência
<b>MW</b>	Megawatt	Potência
<b>W</b>	Watt	Potência
<b>°C</b>	Graus Celsius	Temperatura
<b>K</b>	Kelvins	Temperatura
<b>h</b>	Hora	Tempo
<b>V</b>	Volt	Tensão
<b>€</b>	Euro	Unidade monetária
<b>l</b>	Litro	Volume



# Lista de Símbolos

Símbolo	Unidade	Definição
$t$		Ano
$q$	C	Carga do eletrão
$R^2$		Coefficiente de determinação
$e_{comb}$	kg CO <sub>2</sub> /kg	Coefficiente de emissão de CO <sub>2</sub> do combustível
$K$	J/K	Constante de Boltzmann
$E_{Prim}$	kWh	Consumo da energia primária diária
$C_t$	GWh	Consumo de eletricidade para o ano $t$
$C_{PCt}$	kWh	Consumo de eletricidade per capita para o ano $t$
$C_{VE}$	kWh/100km	Consumo do veículo elétrico
$C_{VEj}$	kWh/100km	Consumo do veículo elétrico $j$
$C_{a_z}$	l	Consumo médio anual para o tipo de combustível $z$
$\bar{C}_{VE}$	kWh/100km	Consumo médio de um veículo elétrico
$\bar{C}_z$	l/100lm	Consumo médio para o tipo de combustível $z$
$\bar{C}_z$	l/100km	Consumo médio para o tipo de combustível $z$
$C_{z_s}$	l/100km	Consumo para o tipo de combustível $z$ do segmento $s$
$I_{cc}^r$	A	Corrente de curto-circuito de referência
$I_{cc}$	A	Corrente de curto-circuito
$I_0^r$	A	Corrente inversa de saturação de referência
$I_0$	A	Corrente inversa de saturação
$I_{max}^r$	A	Corrente máxima de referência
$I_{max}$	A	Corrente máxima
$I_a$	€	Custo anual do investimento
$F$	€/kg	Custo do combustível
$CN$	€/MWh	Custo nivelado
$C_{comb}$	€/MWh <sub>e</sub>	Custo variável da central relativo ao combustível
$C_{CO_2}$	€/MWh <sub>e</sub>	Custo variável da central relativo às emissões de CO <sub>2</sub>
$C_{CT}$	€/MWh <sub>e</sub>	Custo variável da central térmica (combustível + emissões)
$O\&M$	€	Custos de operação e manutenção anuais:
$VD_t$		Densidade de veículos para o ano $t$
$\overline{VD}$		Densidade média de veículos
$dom$	€/kWh	Despesas de operação e manutenção.

$\mu$		Desvio padrão.
$D_{med}$	km	Distância média diariamente percorrida
$D$	km	Distância média percorrida por dia
$N(x \mu, \sigma)$		Distribuição normal
$ER_{ti}$	kWh	É a energia fornecida na hora t pela fonte renovável i.
$\eta_j$		É o rendimento da central j
$ee_p$	kg CO <sub>2</sub> /MWh <sub>e</sub>	Emissão específica de CO <sub>2</sub> da central
$E_{a_z}$	g CO <sub>2</sub>	Emissões médias anuais para o tipo de combustível z
$\bar{E}_z$	g/km	Emissões médias para o tipo de combustível z
$\bar{E}_z$	g/km	Emissões médias para o tipo de combustível z
$E_{z_s}$	g/km	Emissões para o tipo de combustível z do segmento s
$E_a$	MWh	Energia anualmente produzida
$E_{entrada}$	MWh	Energia de entrada
$E_{saida}$	MWh	Energia de saída
$E_e$	MWh <sub>e</sub>	Energia elétrica produzida
$E_{tj}$	kWh	Energia fornecida na hora t pela fonte não renovável j
$E_{med}$	kWh	Energia média diária necessária para o carregamento de um veículo elétrico
$E_{med_t}$	kWh	Energia média diária total necessária para o carregamento de um veículo elétrico
$E_{med_{ti}}$	kWh	Energia média diária total necessária para o carregamento de um veículo elétrico na hora i
$E_t$	MWh <sub>t</sub>	Energia térmica consumida
$k_a$		Fator de anuidade que traduz a soma da série que define a atualização
$f_{c\_CVE}$		Fator de carga da central de valorização energética.
$f_{c\_Hidrica}$		Fator de carga das centrais hídricas da ilha Terceira em 2013.
$f_{c\_Solar PV}$		Fator de carga de um painel fotovoltaico de 1kW.
$f_{c\_Eólica}$		Fator de carga dos parques eólicos da ilha Terceira em 2013.
$f_c$		Fator de carga
$m$		Fator de idealidade do díodo
$m'$		Fator de idealidade equivalente
$I_t$	€	Investimento total
$G^r$	W/m <sup>2</sup>	Irradiação de referência

$G$	W/m <sup>2</sup>	Irradiação
$m_c$	ton	Massa do combustível consumido
$\sigma$		Média da curva normal
$\%H$		Média da percentagem de número de habitantes da ilha Terceira em relação à Região Autónoma dos Açores
$j$		Modelo do veículo elétrico
$n$		Número de anos considerados.
$N_s$		Número de células em serie
$N_d$		Número de dias num ano.
$H_{Tt}$		Número de habitantes da ilha Terceira para o ano t
$H_{At}$		Número de habitantes da Região Autónoma dos Açores para o ano t
$H_{xt}$		Número de habitantes para o local x para o ano t, com x igual a ilha Terceira ou
$H_{xt}$		Número de habitantes para o local x para o ano t, com x igual a ilha Terceira ou Portugal Continental.
$h_a$	h	Número de horas no ano
$m$		Número de modelos de veículos elétricos
$S$		Número de segmentos existentes
$N_{V_z}$		Número de veículos com combustível do tipo z
$N_{VE_j}$		Número de veículos elétricos j vendidos
$N_{ct}$		Número de veículos ligeiros de passageiros para o ano t
$\bar{f}$		Número de veículos ligeiros de passageiros por 1000 habitantes com valores reais médio
$f_t$		Número de veículos ligeiros por 1000 habitantes com valores reais para o ano t
$N_{VE_t}$		Numero total de veículos
$b$		Parâmetro de escala
$\%C_i$		Percentagem da energia diária de carregamentos da frota de veículos elétricos na hora i.
$\%V_{acum_t}$		Percentagem de vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t
$\%V_{z_s}$		Percentagem de vendas do tipo de combustível z do segmento s
$p_l$		Perdas nas linhas.
$Perf_{bat}$		Performance da bateria

$PCI$	MWh/kg	Poder calorífico inferior
$PCI$	MWh/ton	Poder calorífico inferior do fuelóleo
$PCI_z$		Poder calorífico inferior para o tipo de combustível z.
$a$		Ponto de inflexão da curva no eixo do tempo
$S$		Ponto de saturação
$P_p$	W	Potência do painel fotovoltaico
$P_{inj}$	MW	Potencia injetada na rede
$P_i$	MW	Potencia instalada
$P_{inst}$	MW	Potência instalada de energia eólica.
$P_{max}$	W	Potencia máxima.
$P_{Eólica_i}$	MW	Potência produzida de energia eólica na hora i
$V_T^r$	V	Potencial térmico nas condições de referência
$V_T$	V	Potencial térmico
$P_{CO_2}$	€/kg CO <sub>2</sub>	Preço de CO <sub>2</sub>
$E_d$	kWh	Produção de eletricidade diária média do sistema dado
$E_m$	kWh	Produção de eletricidade mensal média do sistema dado
$\eta$		Rendimento da central
$\eta$		Rendimento da conversão de energia térmica em energia elétrica
$H_d$	kWh/m <sup>2</sup>	Soma média diária de irradiação mundial por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado
$H_m$	kWh/m <sub>2</sub>	Soma média mensal de irradiação mundial por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado
$i$		Taxa de atualização
$\theta_a$	°C	Temperatura ambiente
$\theta_c$	°C	Temperatura da célula
$T$	K	Temperatura da célula
$T^r$	K	Temperatura de referência
$\theta^r$	°C	Temperatura de referência em
$NOCT$	°C	Temperatura nominal de funcionamento da célula
$n$	anos	Tempo de vida útil da central.
$V_{ca}^r$	V	Tensão de circuito aberto de referência
$V_{max}^r$	V	Tensão máxima de referência
$V_{max}$	V	Tensão máxima
$z$		Tipo de combustível.
$s$		Tipo de segmento

$c$	Translação na curva no eixo do y
$V_{acum\_totais_t}$	Vendas acumuladas de veículos ligeiros de todos os tipos de combustíveis no ano t
$V_{acum_t}$	Vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t
$V_{acum_{t-1}}$	Vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t-1
$V_t$	Vendas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t



# Capítulo 1

---

## Introdução

*No presente capítulo introduz-se o tema da dissertação, bem como os objetivos, a estrutura do documento e a sua notação.*



## **1.1.Contexto**

A energia é um recurso essencial à vida, ao bem-estar dos cidadãos e ao desenvolvimento socioeconómico, isto é, sem energia não há vida e tão pouco pode haver qualidade de vida: conforto, bem-estar, bens e serviços. Mas, para além de um recurso indispensável ao desenvolvimento socioeconómico, a energia é também um forte fator de pressão ambiental [1].

No que diz respeito à produção de energia, a maioria das ilhas dependem de importação de petróleo e dos seus derivados, caros e ambientalmente problemáticos. Na maioria dos casos é quase impossível ligar as ilhas às redes de energia da Europa continental, o que dificulta a implementação das soluções para reduzir os custos ambientais, e ao mesmo tempo aumentar a segurança do abastecimento de energia elétrica ao nível necessário para manter a qualidade de vida e a competitividade das economias insulares. Devido aos altos custos de energia, as ilhas estão a provar ser excelentes ambientes de testes para a introdução de novas tecnologias, e algumas ilhas estão a tentar tornar-se as chamadas ilhas renováveis para satisfazer a procura de energia integral ou maioritariamente a partir de fontes renováveis e endógenas, aumentando a segurança de abastecimento e oportunidades de emprego, sem necessariamente aumentar os custos. Ilhas que têm fontes de energias renováveis, como hidrelétrica e geotérmica podem facilmente integrá-las no sistema de energia [2]. No entanto a energia fornecida por fontes renováveis, como o vento e o sol, são intermitentes e não são facilmente previsíveis. Essas oscilações no fornecimento de energia podem produzir diferenças no equilíbrio necessário entre geração e procura. Como consequência, variações importantes nos níveis de frequência e tensão, que podem afetar a estabilidade do sistema de energia elétrica. Estes problemas são graves em pequenas redes isoladas, e portanto, é necessário um controle contínuo sobre a potência instantânea fornecida por fontes de energia renováveis [3].

No contexto da dimensão das ilhas dos Açores, e pelo facto de o transporte particular não ter, a esta escala, constrangimentos, quer de tempos de deslocação, quer de dificuldades de estacionamento nas cidades (na maioria, de pequena dimensão), o incentivo ao uso do transporte público é muito reduzido. Assim tem que considerar a eletrificação da frota particular, mais do que intensas medidas de promoção do transporte coletivo [4].

## **1.2.Motivação**

“Tal como aconteceu com a idade da pedra - que não acabou por falta de pedra - também a idade do petróleo não irá terminar por falta de petróleo - mas sim pela aposta na eficiência energética e na sua substituição por fontes renováveis” [1]. Com a crescente preocupação ambiental torna-se imprescindível a aposta em energias renováveis, como meio de reduzir a dependência de importações fósseis e emissões de gases poluentes. Uma ilha torna-se o sítio

ideal para analisar os impactos energéticos, económicos e ambientais de uma maior penetração de energias renováveis. A ilha Terceira é ótima para esse fim pois tem potencial geotérmico e um grande potencial eólico.

### **1.3. Objetivos**

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos económicos, energéticos e ambientais de um aumento da penetração de energias renováveis e veículos elétricos num sistema isolado, nomeadamente na ilha Terceira, Açores.

Dado as ilhas serem bastante dependentes da importação de combustíveis fósseis, tanto para a produção de energia como para o setor dos transportes, pretende-se avaliar como será possível reduzir essa dependência e determinar a consequente redução de emissões de gases poluentes.

O Trabalho incluirá uma análise custo/benefício das soluções apresentadas.

### **1.4. Estrutura do documento**

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O capítulo 1 centra-se na introdução onde se aborda o contexto, a motivação, os objetivos do trabalho e se define a notação utilizada ao longo do documento.

No capítulo 2 é elaborada a revisão da literatura sobre alguns estudos efetuados para outras ilhas e também é efetuada a revisão da literatura relativa aos veículos elétricos e a sua importância em sistemas isolados.

No capítulo 3 é caracterizado o setor dos combustíveis, elétrico e automóvel já existente na ilha Terceira.

No capítulo 4 é exposta a metodologia utilizada para caracterizar e realizar as projeções dos preços tanto dos combustíveis como da eletricidade, do sector elétrico e dos transportes.

E como vão ser quantificados os impactos energéticos, económicos e ambientais da penetração de veículos elétricos e novas energias renováveis na Ilha Terceira.

No capítulo 5 são indicados os casos de estudo escolhidos e é efetuada uma análise de resultados.

No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, bem como sugestões de desenvolvimento de trabalhos futuros.

### **1.5. Notação**

As figuras, tabelas e equações são introduzidas com referência ao capítulo em que são apresentadas e são numeradas sequencialmente no respetivo capítulo. A numeração é reiniciada em cada capítulo.

As referências bibliográficas são numeradas de forma sequencial. A identificação de equações é apresentada entre parênteses curvos ( ), e a identificação de referências bibliográficas são apresentadas entre parênteses retos [ ]. A bibliografia é elaborada segundo a norma IEEE 2006.

Expressões em língua estrangeira são apresentadas em itálico. O conjunto de simbologia utilizada no decorrer do texto segue o apresentado previamente na lista de acrónimos e símbolos.

Esta dissertação está redigida de acordo com o acordo ortográfico de 1990 em vigor desde 2009.



# Capítulo 2

---

## Revisão da Literatura

*Neste capítulo é efetuada a revisão da literatura sobre estudos efetuados para sistemas isolados, ilhas e os veículos elétricos também são objeto de estudo.*



## 2.1. Sistemas isolados

A energia elétrica gerada a partir de fontes de energia renováveis intermitentes, como aerogeradores ou painéis solares, geralmente não seguem o padrão de carga de um sistema de energia isolado. Dependendo da qualidade do controlo dos equipamentos instalados, há limites para a sua penetração momentânea. Para os aerogeradores instalados em ilhas nos anos noventa, a penetração momentânea de energias intermitentes não deve ultrapassar o limite de 50 %. Permitindo uma taxa de penetração anual de 10-20 % no caso de existir uma boa média de vento. Cruzando o limite de 50 % o sistema de energia poderia desligar-se, o que é inadmissível. Tal como no sistema de alimentação, há necessidade de equilibrar a saída e a carga em cada intervalo de tempo e não há maneira de tratar o excesso de produção. Uma maneira é ter uma carga extra que será ligada quando necessário, como bombas, carga adiável, ou algum tipo de armazenamento de energia, e uma outra maneira é não produzir em primeiro lugar [2].

### 2.1.1. Ilhas Canárias (Espanha)

As preocupações políticas e ambientais resultam numa estratégia energética especial nas Canárias, o que mostra a importância de melhorar os recursos energéticos endógenas, as energias renováveis, com o objetivo de fornecimento de energia com uma oferta estável, baixo custo e compatibilidade ambiental.

Nas Canárias, a energia eólica tem sido bem desenvolvida com aumento anual (Tabela 2.1). Nos últimos anos, a energia solar tem sido reforçada, as quantidades de painéis solares térmicos e sistemas fotovoltaicos expandidos. Estudos anteriores indicam que um sistema isolado de armazenamento de energia é importante para a utilização de um grande potencial energia eólica das ilhas [5].

Tabela 2.1 – Produção de energia Eólica nas Canarias (MWh) [5]

Ano	Lanzarote	Fuerteventura	Gran Canaria	Tenerife	La Palma	La Gomera	El Hierro	Total
1990	-	-	216,0	102,0	-	-	-	318,0
1991	-	-	1.396,3	1.766,7	-	-	-	3.163,0
1992	4.204,3	970,4	4.607,7	3.193,1	-	-	-	12.975,4
1993	11.710,2	2.763,3	8.546,5	2.857,5	-	-	312,8	26.190,4
1994	18.094,2	21.831,2	13.582,4	5.241,8	2.743,6	-	836,3	62.329,4
1995	16.882,5	24.292,3	12.757,9	5.920,9	2.509,7	-	643,5	63.006,8
1996	18.755,6	26.257,5	15.367,7	6.292,9	2.512,6	370,6	963,5	70.520,3
1997	12.758,4	21.362,6	28.311,7	10.504,2	2.010,6	728,8	761,2	76.437,4

1998	17.443,3	25.195,2	39.792,7	23.217,2	8.209,2	600,8	921,4	115.379,9
1999	17.933,9	28.037,9	110.133,7	56.691,2	9.357,6	314,4	965,1	223.433,8
2000	16.107,8	25.722,9	128.588,3	62.463,7	8.336,4	796,8	991,5	243.007,4

### 2.1.2. Ilha Ærø (Dinamarca)

A energia solar é usada para o aquecimento urbano, sendo a principal fonte de energia na ilha Ærø. Atualmente a quantidade de painéis solares térmicos instalados é de 3.7 m<sup>2</sup> por habitante (total de 26.800 m<sup>2</sup>), apresentando a penetração de energia renovável mais desenvolvida para uma determinada área. Há três centrais de aquecimento urbano situado na ilha Ærø (Tabela 2.2).

Em 2001 contabilizou-se 20.5 GWh representando 57 % do consumo total de eletricidade em Ærø e foi apoiado por 7.2 MW de energia eólica. Ærø tomou a decisão de trabalhar continuamente para cobrir o consumo de energia das ilhas com 80-100 % de energia renovável no período de 10 anos 1998-2008. A ilha Ærø foi a vencedora “A cidade solar Dinamarquesa 2000” em 2000 [5] [6].

Tabela 2.2 – Centrais de aquecimento urbano em Ærø [5]

Nome do Distrito	Área de painéis solares térmicos (m <sup>2</sup> )	Número de casas aquecidas
Marstal town	18.300	1.375
Ærøskøbing	4.900 (mais uma caldeira de aglomerados de madeira de 1 MW e uma caldeira de palha de 3.2 MW)	580
Rise	3.600 (com uma caldeira de aglomerados de madeira de 800 kW)	115

### 2.1.3. Ilhas Gregas

Vários tipos de energia renovável são utilizados nas Ilhas Gregas. Até 2005 foram instalados 50 parques eólicos com uma potência de 120 MW no total, e 300 kWp de energia fotovoltaica a terminar a instalação. Além disso, uma pequena unidade hidrelétrica (300 kW) e uma unidade de queima de biogás (166 kW) estão situadas na ilha de Creta.

Na ilha de Icária, um sistema de energia híbrida inclui uma unidade hidrelétrica típica ligada com duas centrais de bombeamento e armazenamento de 3,8 MW, juntamente com um parque eólico de 2,4 MW. Em 2003, o sistema elétrico produziu 23 GWh de energia em que 6,23 GWh (27,1 %) foi energia eólica, 7,96 GWh (34,6 %) e 8,80 GWh (38,3 %) foram fornecidos por combustíveis fósseis e hidrelétricas prospectivamente [5].

#### 2.1.4. Ilhas de Cabo Verde

Uma importante fonte de energia para Cabo Verde é a biomassa, particularmente nas áreas rurais. Biomassa representa 37,4 % do consumo total de energia e é geralmente usado para cozinhar. Três parques eólicos com uma capacidade total de 2,4 MW foram instalados nos principais sistemas de energia de Cabo Verde, em 1994. A energia eólica representa a maior contribuição dentro das energias renováveis para a geração de eletricidade nas ilhas de Cabo Verde. Isto é devido às boas condições de vento nas ilhas onde os ventos alísios prevalecem (ventos de direção norte-leste) e se caracterizam por serem constantes e com velocidade média-alta (em algumas áreas, a média velocidades é 12 m/s). Na verdade, os parques eólicos nas ilhas de Cabo Verde são aqueles com maior produtividade do mundo, com fatores de carga superior a 40 %.

A potência eólica instalada em Cabo Verde representou 3 % da energia elétrica total instalada no arquipélago em 2002. Os níveis de penetração foram alcançados sem qualquer controle dedicado do parque eólico, com exceção para os controladores padrão das turbinas eólica presentes em cada turbina. Ajustes do controle do parque eólico foram feitos manualmente pelos operadores da central a *diesel*.

Muitas pesquisas mostraram o potencial da aplicação de energias renováveis em ilhas e áreas remotas, onde é analisada a viabilidade técnica e econômica para essas instalações. Em geral, avanços significativos foram feitos em tecnologias de energia renovável, e alguns estão disponíveis comercialmente. No entanto, nem todos os sistemas de energia renovável são maduros e a custo competitivos [5].

#### 2.1.5. Ilha do Corvo (Açores)

A ilha do Corvo é uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores e, juntamente com São Miguel e Flores formam o Grupo Ocidental. É a ilha mais pequena do arquipélago.

O fornecimento de energia elétrica para uma ilha pequena e isolada como o Corvo é muito limitado, enquanto que há uma grande preocupação com as questões ambientais relacionadas com a oferta de combustíveis fósseis, como a contaminação e poluição de águas e terras por produtos petrolíferos e resíduos através de vazamento durante o manuseio e armazenamento e transporte. A incidência de derrames de petróleo em pequena escala durante o carregamento que ocorre adjacente às instalações de armazenamento é muito comum no Corvo. O custo de combustível no Corvo é o mais alto de todo o arquipélago, quase 5 vezes mais do que a média nos Açores.

Na ilha do Corvo, a segurança do abastecimento é uma preocupação real e frequente, uma vez que devido às más condições atmosféricas, é comum ter escassez de petróleo na ilha. Para

reduzir a dependência do Corvo e provisão seguro, a implementação de um sistema de energia que combina RES e armazenamento é a melhor solução.

O recurso energético endógeno mais importante no Corvo é o vento, embora haja também algum potencial hídrico, sendo ambos escassos nos meses de verão. O Corvo é uma região tipicamente remota, sem quaisquer conexões de rede para o continente, ou condutas para combustíveis ou abastecimento de água. A água doce é abundante a partir da precipitação para além de meses de verão.

Corvo não tem ligação com o continente por isso precisa de armazenar a energia e outros itens essenciais. Já existem armazenamento para abastecimento de água (sistema de coleta da chuva) e combustíveis fósseis. A alternativa inovadora para armazenar o excesso de eletricidade é hidroelétrica reversível. O excesso de vento pode ser bombeada para o reservatório superior e, em seguida, a ausência de eletricidade pode ser produzida a partir de energia hidráulica.

O sistema de abastecimento de água é bem adequado para integração com o sistema de armazenamento de energia, como hidroelétrica reversível. Os mesmos reservatórios podem ser utilizados para ambas as finalidades, o que aumentaria significativamente a viabilidade de um tal sistema, assim como a penetração das energias.

Devido às características físicas e meteorológicas do Corvo há potencial para instalar o armazenamento de água bombeada para a produção de energia hidroelétrica mais tarde. O armazenamento de água é a solução com melhores perspectivas para este sistema de energia particular. A água armazenada no reservatório superior pode ser obtida a qualquer momento, tanto para utilização em turbinas, ou de abastecimento de água. A instalação de turbinas, tem uma eficiência de cerca de 70 %, pode utilizar a água do reservatório superior para a produção de eletricidade que vai ser fornecida à rede, e preencher o reservatório inferior.

Sem armazenamento a penetração de energia renovável, eólica, chega a 25 %, em cenários de vento-hídricas é possível fornecer 70 % de energia a partir de fontes renováveis, aumentando significativamente a segurança do abastecimento [7].

### **2.1.6. Penetração de veículos elétricos**

Sistemas isolados são frequentemente baseadas em combustíveis fósseis importados, e este é um problema em diferentes dimensões, incluindo, a ambiental, a econômica e a segurança do abastecimento, sendo esta última particularmente relevante para qualquer sistema isolado, como as ilhas. As energias renováveis são consideradas como uma solução para este problema, especialmente considerando a sua transformação em eletricidade, mas isso não inclui o impacto do setor de transportes, o que representa um componente significativo do consumo de combustíveis importados. As outras principais limitações associadas à eletricidade renovável consistem na necessidade de aumentar a capacidade de armazenamento que pode atenuar o

efeito de fontes de energia renováveis intermitência e disparidade entre a oferta e a procura. Em ambos os principais problemas associados à gestão de energia renovável, os Veículos Elétricos podem ser uma parte da solução, em que o uso do veículo na rede pode armazenar energia elétrica durante os períodos de baixa procura e usá-la para corresponder à procura no horário de ponta e/ ou para evitar o consumo de combustíveis fósseis.

Os veículos elétricos são capazes de fornecer um conjunto de serviços auxiliares interessantes para a rede, na medida em que pode contribuir para fornecer a capacidade de armazenamento necessária, que permitem a utilização de energias renováveis. Além disso, a perspectiva individual beneficia das possíveis receitas de prestação destes serviços e constitui uma motivação importante para os proprietários de VE. O consumo operacional poderia ser suficientemente coberto pelas receitas que estão associadas a fornecer energia armazenada em períodos fora do pico à rede em períodos de procura de potência de pico. Os resultados obtidos mostram que o VE, na prestação de ambos os serviços, pode apresentar custos totais mais baixos do que os que, no caso de um veículo com motor de combustão interna [8].

## **2.2. Veículos elétricos**

Os veículos elétricos estão a tornar-se cada vez mais importantes não apenas por reduzirem o ruído e a poluição, mas também por poderem ser usados para reduzir a dependência de transportes à base petróleo - desde que a energia seja gerada a partir de outras fontes para além do petróleo. Os veículos elétricos também podem ser utilizados para reduzir as emissões de carbono. Produção com emissões zero de dióxido de carbono exige que a energia produzida para os veículos elétricos seja de fontes não fósseis como as energias renováveis [9].

O pior cenário é que temos apenas 40 anos de fornecimento de petróleo à taxa de consumo atual. Na prática, é claro, que com o aumento da escassez irá resultar em grandes aumentos de preço e, eventualmente o uso de petróleo e outros combustíveis fósseis não será mais economicamente viável, portanto, o petróleo será conservado como o uso a diminuir [9].

### **2.2.1. Do início da mobilidade elétrica até à atualidade**

No século XIX, a descoberta do eletromagnetismo por Hans C. Ørsted em 1820, segundo o qual o campo elétrico e magnético estão intimamente relacionados, abriu o caminho ao desenvolvimento da propulsão elétrica [10].

Michael Faraday foi o primeiro a conceber um dispositivo que convertia energia elétrica em energia mecânica, o motor homopolar (1821) demonstrado na Figura 2.1 [10].

Quanto à tecnologia de armazenamento de eletricidade, esta teve os seus primórdios no séc. XVIII com o primeiro condensador (a garrafa de Leiden, 1745) e a pilha galvânica de Volta (1800) na Figura 2.2 [10].

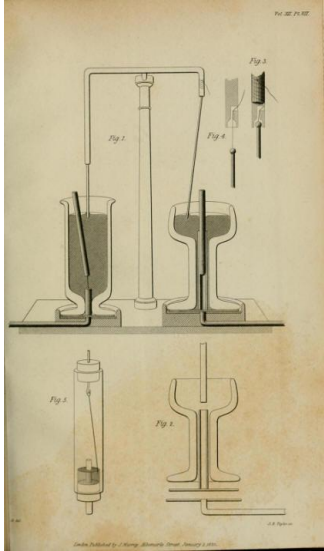


Figura 2.1 – Plano original do motor elétrico de Michael Faraday [11]



Figura 2.2 – Bateria de Volta [10]

Os primeiros modelos automovidos a eletricidade foram criados por Ányos Jedlik (1828), Thomas Davenport (1834) e Sibradus Strating e Cristopher Becker (1835), mas o primeiro veículo digno desse nome parece ter sido a locomotiva elétrica desenvolvida em 1837 pelo escocês Robert Davidson. Em 1842 este apresentou um protótipo de tamanho real, a Galvani representada na Figura 2.3, que chegou a andar 2 km na linha de Edimburgo-Glasgow a uma velocidade superior a 6 km/h. Sendo alimentada a baterias não renováveis de zinco-ácido e pesava 5 toneladas [10].



Figura 2.3 – Locomotiva elétrica de Robert Davidson [10]

O primeiro comboio eléctrico foi experimentalmente instalado em St. Petersburg na Rússia em 1880. Depois vieram outros comboios e o eléctrico de rua em 1885 na Grã-Bretanha, o Blackpool Tramway [9].

Somente a invenção das baterias recarregáveis (de chumbo-ácido) por Gaston Planté em 1859 e o seu posterior aperfeiçoamento por Camille Alphonse Faure em 1881 é que possibilitaram a proliferação de veículos eléctricos autónomos [10].

Em 1893 um veículo eléctrico, um Baker Runabout, feito nos EUA e importado para a Alemanha pelo fundador das Baterias Varta, é ilustrada Figura 2.4. A Figura 2.5 mostra o primeiro carro a ultrapassar a velocidade "mile a minute" (60 mph; 97 km/h), quando o piloto belga Camille Jenatzy, que conduzia o veículo eléctrico conhecido como "La Jamais Contente"<sup>1</sup>, estabeleceu um novo recorde de velocidade de 106 km/h (65,9 mph) tornando este o primeiro carro a ultrapassar os 100 km/h [9].



Figura 2.4 – Baker Runabout em 1893 [9]

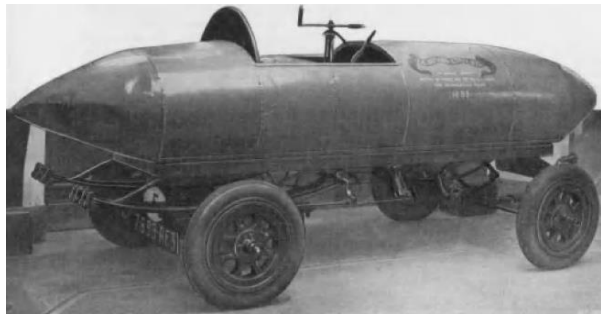


Figura 2.5 – Carro eléctrico com o record de velocidade em 1899 [9]

Por volta de 1920 centenas de milhares de veículos eléctricos foram produzidos para serem usados como carros, vans, táxis, veículos de entrega e autocarros. No entanto, apesar da promessa destes veículos eléctricos iniciais, uma vez que o petróleo era barato e amplamente disponível e o arranque automático para motores de combustão interna tinha chegado (inventado em 1911), o motor de combustão interna provou ser uma opção mais atraente para alimentar veículos. Ironicamente, o principal mercado para as baterias recarregáveis tem sido desde daí o arranque dos motores de combustão interna [9].

Logo no início do desenvolvimento dos veículos eléctricos, o conceito de veículo híbrido foi introduzido, onde um motor de combustão interna aciona um gerador que é usado em conjunto com um ou mais motores eléctricos. Em 1900, Ferdinand Porsche desenvolveu um veículo híbrido, apresentado na Figura 2.6. Este veículo pode ser movido a eletricidade a partir da

---

<sup>1</sup> "Sempre se esforçando" seria uma melhor tradução deste nome, em vez do literal "nunca feliz".

bateria ou a partir do motor de Daimler de 2,5 cv [9]. A Porsche em 2007 fez uma réplica funcional deste veículo revolucionário como mostra a Figura 2.7 [10].



Figura 2.6 - O Lohner Porshe, o primeiro veículo elétrico híbrido concebido e dirigido pelo Dr. Ferdinand Porsche [9]



Figura 2.7 – Replica feita pela Porsche do primeiro veículo elétrico híbrido [10]

Ao longo do século XX foram constantemente desenvolvidos comboios elétricos, tanto usando sistemas o DC e AC. Comboios elétricos são a opção preferida das companhias ferroviárias porque exigem menos manutenção, tanto da locomotiva como dos carris. [9]

Com fontes abundantes de petróleo barato e veículos com motores de combustão interna produzidos em massa a utilização de carros elétricos tornou-se economicamente menos viável e em geral caiu em desuso. Os Veículos elétricos rodoviários nunca alcançaram o sucesso dos comboios elétricos, que podem levar energia a partir de calhas ou linhas aéreas para a alimentação não dependendo de baterias [9].

Talvez a maior mudança em veículos elétricos nos últimos anos tenha sido o desenvolvimento da bateria de lítio, que tem uma energia específica razoável e um tempo de carga mais razoável do que as baterias anteriores. Isto levou a uma série de veículos comerciais tal como o carro desportivo Tesla ilustrada na Figura 2.8. Mais recentemente fabricantes como Nissan, Mitsubishi e Renault estão a produzir em quantidade veículos elétricos comerciais, como o Nissan Leaf, o Mitsubishi MiEV entre outro [9].



Figura 2.8 – Tesla ROADSTER 2.5 [12]

Também tem existido um reaparecimento em veículos híbridos começando com aqueles que não podem ser recarregadas a partir da rede, como o Toyota Prius ilustrados na Figura 2.9. Híbridos não recarregáveis, enquanto eficiente, ainda dependem totalmente do petróleo. Como resultado, eles não podem usar eletricidade da rede, a qual pode ser gerada a partir de uma grande variedade de fontes. Recentemente General Motors lançou o Volt, um híbrido recarregável, ilustrada na Figura 2.10. Isso pode completar muitas viagens utilizando energia elétrica, contando com o motor de combustão interna como um extensor de autonomia para viagens mais longas [9].



Figura 2.9 – Toyota Prius [13]



Figura 2.10 – Chevrolet Volt [14]

Veículos movidos a células de combustível foram acreditados para mostrar a promessa considerável e muito trabalho foi realizado no desenvolvimento do protótipo de veículos movidos a célula de combustível. As células de combustível normalmente são de hidrogênio, o que necessita de ser armazenado no veículo. Veículos movidos a células de combustível têm uma vantagem sobre as baterias, podem ter mais autonomia. Recentemente Honda lançou o FCX Clarity, que funciona à base de hidrogênio e é ilustrado na Figura 2.11. Este é atualmente alugados a clientes nos EUA e ainda não está disponível para venda [9].



Figura 2.11 – Honda FCX Clarity [15]

## 2.2.2. Tipos de veículos elétricos

Consoante o sistema de propulsão existente nos veículos, eles podem ser classificados como se vê na Figura 2.12. E Dependendo do grau de eletrificação dos veículos elétricos existem três grupos de tecnologias a considerar: híbridos, a baterias e a células de combustível [16].

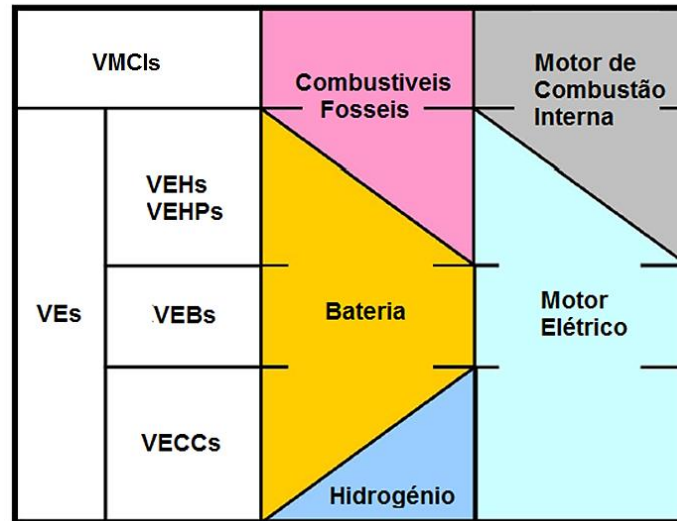


Figura 2.12 - Diferentes graus de eletrificação de veículos rodoviários, baseado em [16]

### 2.2.2.1. Veículos elétricos a baterias (VEBs)

O conceito de veículo elétrico a bateria é bastante simples e é mostrada na Figura 2.13. O veículo é constituído por uma bateria elétrica para o armazenamento de energia, um motor elétrico e um controlador. A bateria é carregada normalmente da rede elétrica através de uma tomada ou de um ponto de abastecimento. O controlador irá controlar a energia fornecida ao motor, e portanto, a velocidade do veículo, tanto para a frente como para trás. Isto é conhecido como um ‘controlador de dois quadrantes’. É desejável a utilização de travagem regenerativa<sup>2</sup>, tanto para recuperar energia como uma forma vantajosa de travagem por atrito. Quando o controlador também permite travagem regenerativa para frente e para trás é conhecido como um ‘controlador de quatro quadrantes’ [9].

<sup>2</sup> A travagem regenerativa é um mecanismo que transforma a energia cinética, obtida através do movimento do motor durante o período da travagem ou desaceleração, em energia elétrica.

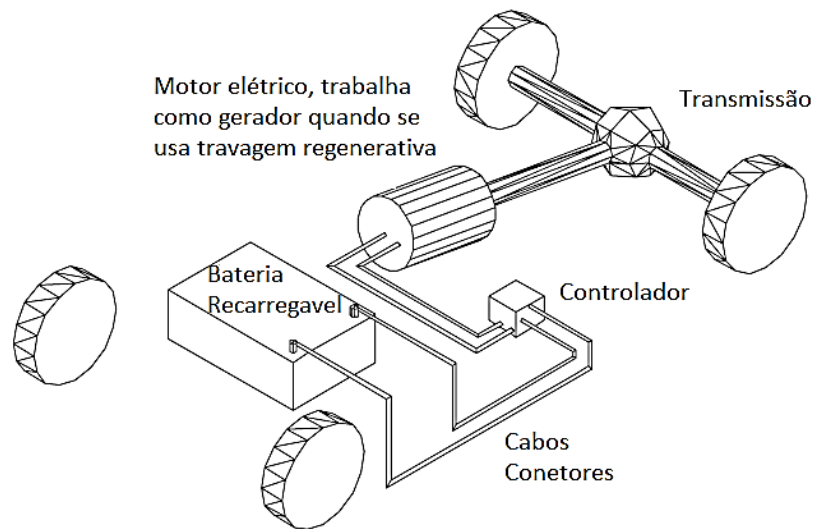


Figura 2.13 – Esquema do veículo elétrico a bateria [9]

A eficiência global de um VE moderno pode ser de até 90%, por causa da alta eficiência da nova tecnologia [17].

Há uma grande variedade de VEs que estão disponíveis atualmente no mercado [9].

#### 2.2.2.2. Veículos elétrico híbridos (VEHs)

Um veículo híbrido tem duas ou mais fontes de energia. Os tipos mais comuns de veículos híbridos combinam um motor de combustão interna com uma bateria e um motor elétrico e um gerador.

Há dois tipos de configuração básica para veículos elétricos híbridos: os híbridos em série e os híbridos em paralelo que estão ilustrados nas Figura 2.14 e Figura 2.15.

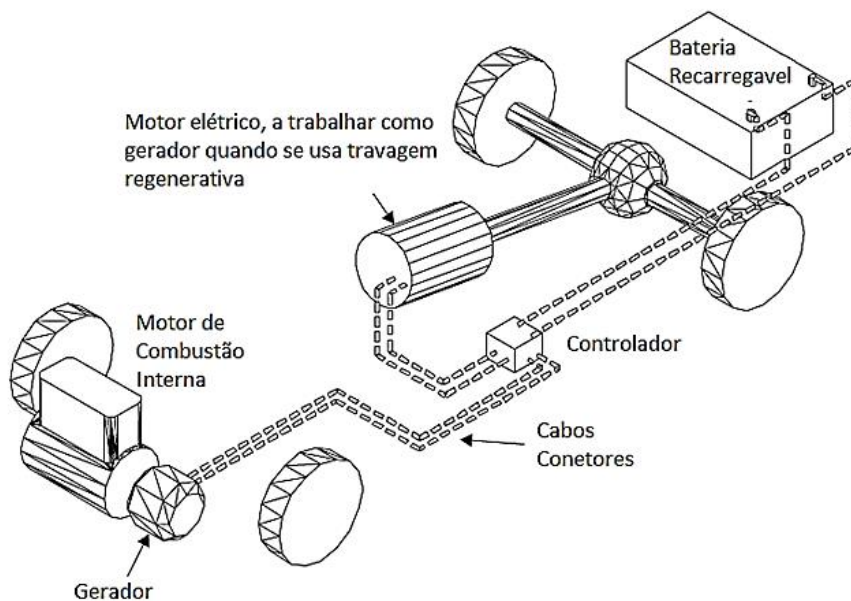


Figura 2.14 - Esquema do veículo elétrico híbrido série [9]

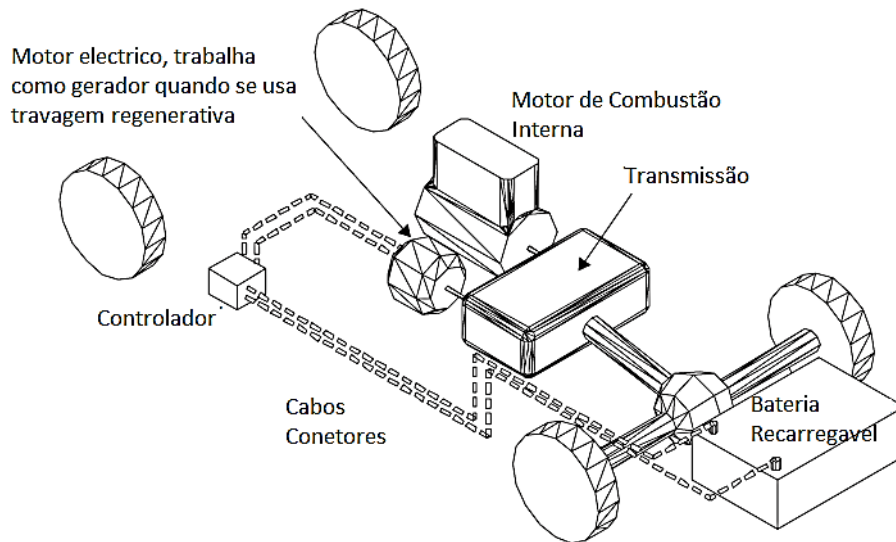


Figura 2.15 - Esquema do veículo elétrico híbrido paralelo [9]

Na configuração de VEH série, mostrado na Figura 2.14, são combinadas em série duas fontes de energia diferentes. É importante notar que o motor elétrico é o único a oferecer tração, o que é mais adequado para a condução na cidade. O motor de combustão interna trabalha nos seus pontos de operação ótimos como um gerador a bordo, mantendo a carga da bateria, através do cumprimento dos requisitos do estado de carga da bateria. A eficiência global de um VEH série é geralmente em torno de 24 %, por causa da baixa eficiência do motor de combustão interna e outras restrições técnicas, tais como a capacidade da bateria e transmissão [17].

Na configuração de VEH em paralelo, como fica claro a partir da Figura 2.15, o veículo tem duas fontes de tração, do motor elétrico e do de combustão interna. Este tipo de configuração oferece a liberdade de escolher uma combinação de fontes de tração. Além disso, uma configuração de VEH paralelo requer uma capacidade de bateria relativamente mais pequena do que VEH em série, o que resulta num veículo mais leve. Portanto, conseguem-se gamas de eficiência superiores, entre 40 e 50 %. A estrutura dos VEHs série são mais adequados para a condução urbana, por outro lado, VEHs paralelos são mais adequados para a condução de estrada [17].

#### 2.2.2.2.1. Veículos elétricos híbridos Plug-in (VEHPs)

Um Veículo elétrico híbrido plug-in (VEHP) é um VEH cuja bateria utilizada para alimentar o motor elétrico pode ser recarregada diretamente da rede elétrica. Possui as mesmas características dos VEH convencionais, podendo ter as confirmações tanto de VEH serie como paralelo. No VEH tradicional a bateria é carregada pelo motor de combustão interna ou em alguns casos pela energia da travagem regenerativa. A possibilidade de alimentação alternativa

diretamente da rede elétrica faz com que o modelo *plug-in* possa operar com uma quantidade de muito mais reduzida de combustíveis fósseis.

### 2.2.2.3. Veículos elétricos a células de combustível (VECCs)

O conceito básico dos veículos elétricos que utilizam células de combustível<sup>3</sup> é o mesmo que os VEs a baterias, mas com uma célula de combustível ou bateria de metal-ar substituindo a bateria elétrica recarregável.

Um grande problema das células de combustível é que, geralmente, elas exigem combustível de hidrogénio. Este pode ser armazenado em placa, embora isso não seja fácil. Uma alternativa é fazer o hidrogénio a partir de um combustível, tal como o metanol. Este é o método utilizado no Nekar 5, um carro da Mercedes-benz, que tem um reformador de metanol<sup>4</sup> a bordo. O carro pode ser simplesmente abastecido com metanol, da mesma forma que um veículo normal é cheio com gasolina.

Outro veículo de célula de combustível é o Honda FCX Clarity, que foi mostrado na Figura 2.11. A configuração base do FCX clareza é mostrada na Figura 2.16. À medida que o veículo usa a bateria de iões de lítio trabalha em conjunto com a célula de combustível de hidrogénio [9].

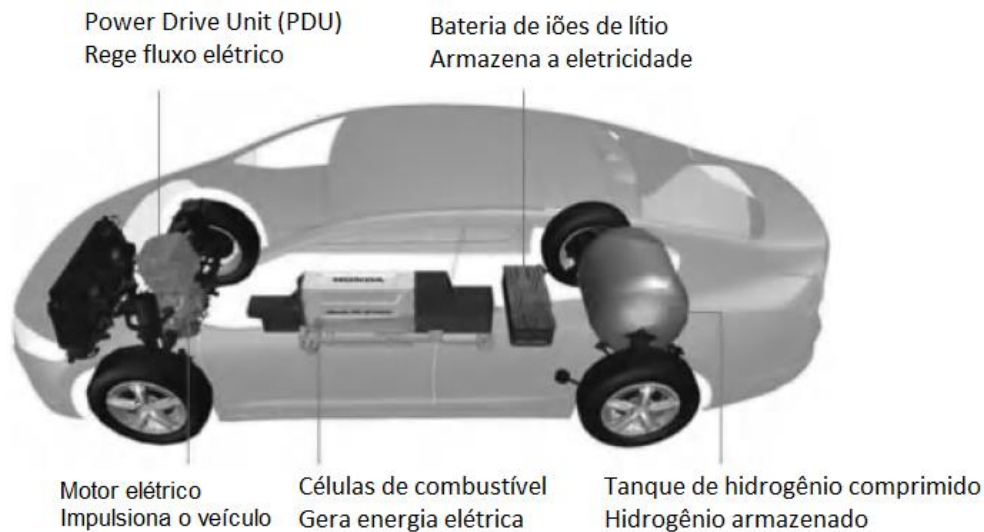


Figura 2.16 - Configuração base do FCX Clarity [9]

<sup>3</sup> Célula de Combustível é um dispositivo eletroquímico, que converte energia química em energia elétrica.

<sup>4</sup> Um reformador de metanol é um dispositivo de tecnologia química, em que a partir da mistura de metanol e água em estado gasoso se obtém puro hidrogénio e dióxido de carbono.

## 2.3. Penetração dos veículos elétricos

### 2.3.1. No mundo

Os governos de muitos países apoiam a introdução de veículos elétricos com investimentos em pesquisa e implementação, esses programas de investimento dos governos e da indústria em tecnologia VE começaram predominantemente em 2008 e 2009. O montante global é de 21,6 mil milhões de euros, e é dividido quase de forma idêntica entre os EUA (8,6 mil milhões de euros) e da UE (8,5 mil milhões de euros) como mostrado na Figura 2.17, com a maior parte do financiamento já distribuídos. O Leste da Ásia é responsável por aproximadamente um quinto da quantia (4,6 mil milhões de euros ou 21 %) [18].

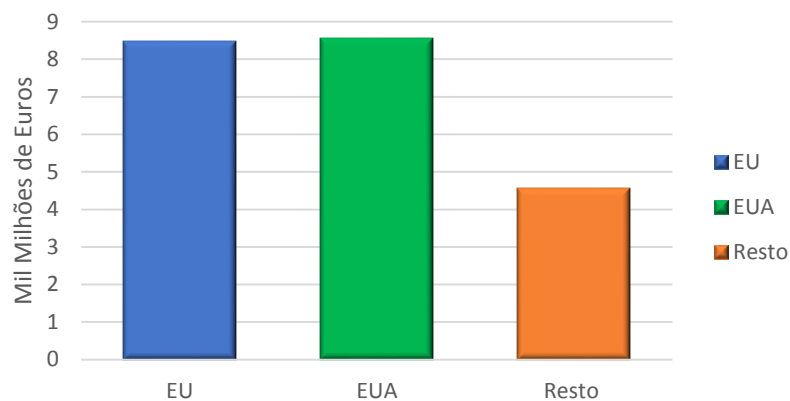


Figura 2.17 – Investimento por região [18]

Um grande número de governos anunciou o número de veículos elétricos que pretendem ter na estrada em 2020. O número total de VE anunciados soma 7,2 milhões de carros, como se pode ver Figura 2.18. A maioria destes carros (5,1 milhões, ou seja, 68 %) provavelmente será conduzido na União Europeia, enquanto que os EUA são responsáveis por quase um sétimo (1 milhão, ou seja, 13 %). Cerca de 1,4 milhões podem ser produzidos ou serão conduzidos no resto do mundo, especialmente no Japão e na Coreia do Sul [18].

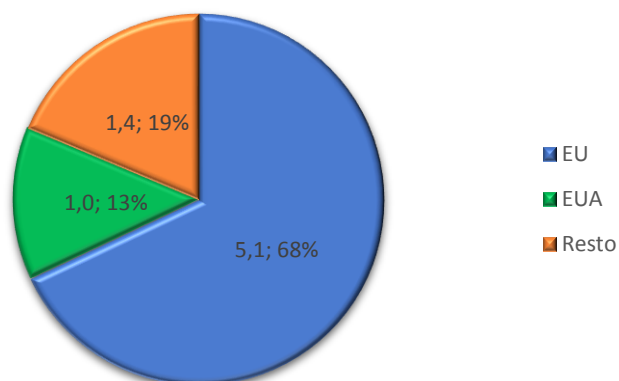


Figura 2.18 – VE previsto para 2020, em milhões de veículos [18]

### **2.3.2. Em Portugal**

No âmbito da política de Mobilidade Elétrica portuguesa, o Governo definiu incentivos à aquisição e utilização de veículos elétricos.

O primeiro incentivo foi que os particulares que adquirissem um dos primeiros cinco mil carros elétricos, a partir de 2010, teriam direito a um incentivo no valor de cinco mil euros, este incentivo, que vigorou até 31 de dezembro de 2011, era deduzido diretamente pelos comerciantes de veículos elétricos, sem necessidade de intervenção do comprador [19].

O Governo Português também definiu que a aquisição de VE tem alguns benefícios fiscais tais como: os veículos elétricos estão isentos do pagamento quer do ISV (Imposto sobre Veículos) quer do IUC (Imposto Único de Circulação). E na aquisição de veículos elétricos por empresas permitirá realizar deduções em sede de IRC [20].



# Capítulo 3

---

## Caracterização do Setor Energético

*Neste capítulo é apresentado uma descrição do setor dos combustíveis, nomeadamente os preços, do setor elétrico, em que é caracterizado o sistema elétrico atual na ilha Terceira, o aumento do consumo ao longo dos anos e os diagramas de carga e por fim o setor automóvel.*



### 3.1. Setor dos combustíveis fósseis

A evolução das importações de combustíveis fósseis, apresentada na Figura 3.1, mostrou uma tendência crescente até ao ano 2007, vindo a decrescer a partir daí.

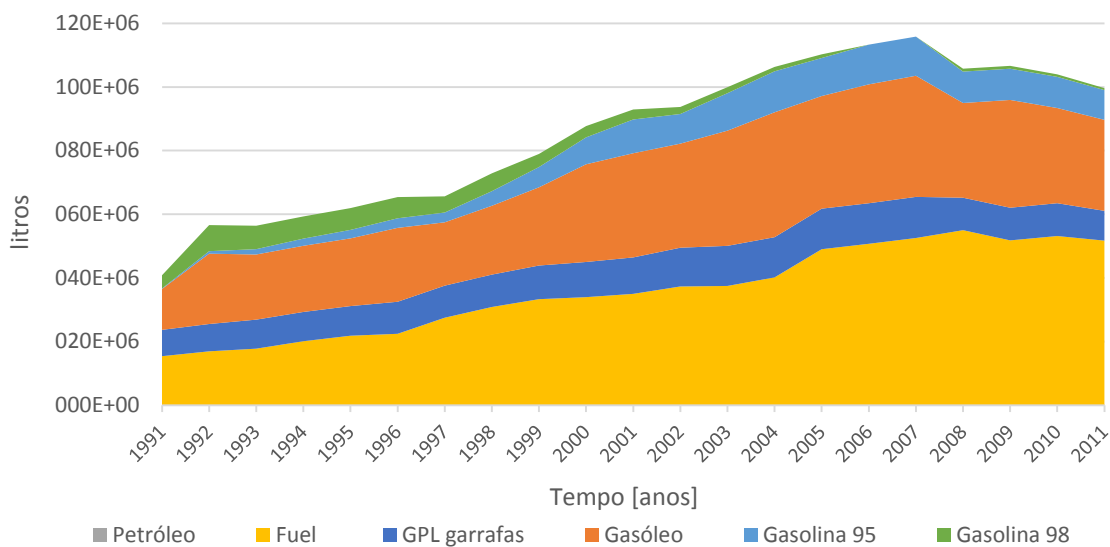


Figura 3.1 – Evolução das importações de combustíveis fósseis por tipo [21] [22]

Na ilha terceira, o consumo dos derivados de petróleo, em 2012, foi de mais de 80 mil toneladas distribuídos entre os produtos finais de acordo com a Figura 3.2. A principal fatia foi de Fuelóleo em que 88 % foi utilizado para a produção de energia elétrica o restante foi utilizado em outros setores como a indústria alimentar.

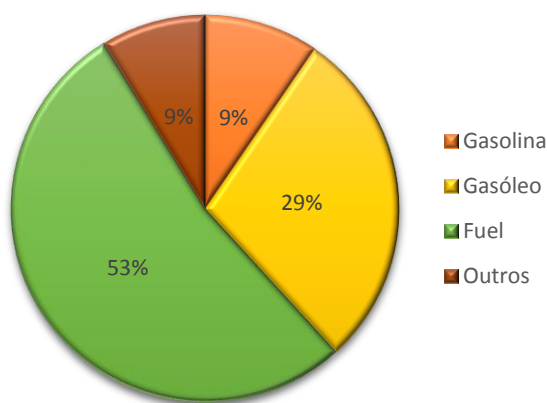


Figura 3.2 – Distribuição do consumo dos derivados de petróleo em 2012 [23]

Dos derivados de petróleo 38 % são gasóleo e gasolina com 29 % e 9 % respetivamente que são utilizados quase na íntegra no setor dos transportes como é mostrado na Figura 3.3.

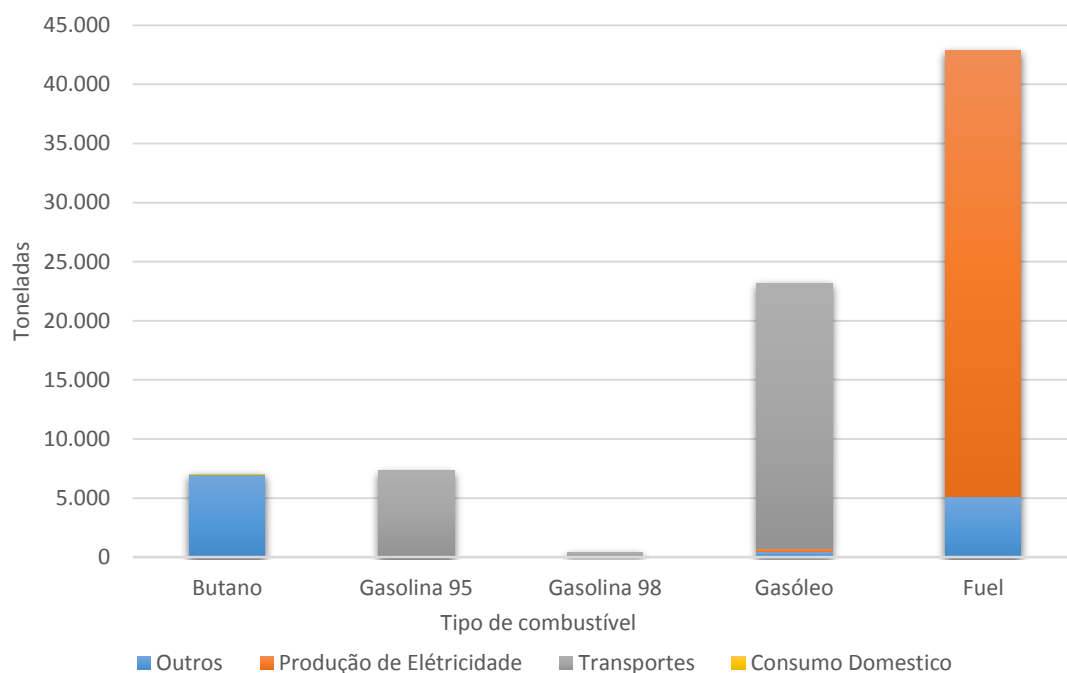


Figura 3.3 – Distribuição dos combustíveis fósseis por tipo e atividade económica em 2012 [23]

Na Figura 3.4 pode-se observar que quase metade dos combustíveis fósseis importados para a ilha terceira, no ano de 2012, foram utilizados para a produção de energia elétrica, e 37 % nos meios de transportes.

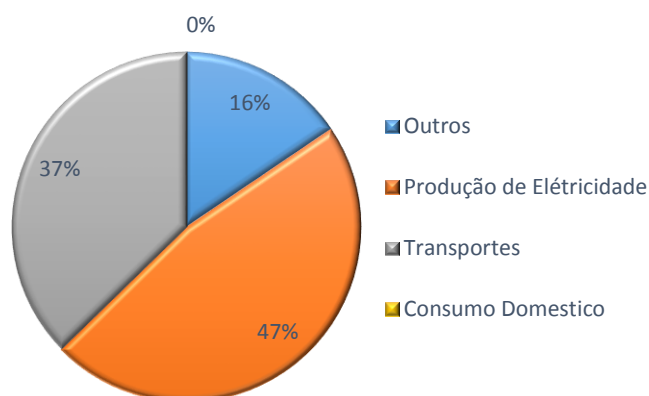


Figura 3.4 – Distribuição dos combustíveis fósseis por atividade económica em 2012 [23]

### 3.1.1. Preço dos combustíveis

O preço dos combustíveis na região autónoma dos Açores é delimitado pelo Governo dos Açores, o governo publicou que o preço máximo de venda ao público registado nos açores na venda dos combustíveis como a gasolina 95, gasolina 98 e gasóleo é de menos 10 % em relação ao preço de referência do continente bem como o do fuelóleo é de 18 % [24]. Como para consulta apenas existem dados de preços dos combustíveis para a região autónoma dos açores a

partir de 2007, foi criada uma estimativa dos preços entre 1991 e 2006 tendo em conta os preços de referência do continente e o preço máximo verificado na venda ao público dos combustíveis nos Açores, presente na Tabela 3.1 e ilustrados na Figura 3.5.

Tabela 3.1 – Preço dos combustíveis no continente e Açores [25] [24]

Ano	Continente				Açores			
	Gasolina 98 (€/L)	Gasolina 95 (€/L)	Gasóleo (€/L)	Fuelóleo (€/kg)	Gasolina 98 (€/L)	Gasolina 95 (€/L)	Gasóleo (€/L)	Fuelóleo (€/kg)
1991	-	0,690	0,500	0,140	-	0,621	0,450	0,115
1992	-	0,680	0,500	0,140	-	0,612	0,450	0,115
1993	0,760	0,700	0,510	0,140	0,684	0,630	0,459	0,115
1994	0,770	0,770	0,520	0,130	0,693	0,693	0,468	0,107
1995	0,780	0,770	0,520	0,130	0,702	0,693	0,468	0,107
1996	0,810	0,790	0,560	0,140	0,729	0,711	0,504	0,115
1997	0,840	0,810	0,570	0,160	0,756	0,729	0,513	0,131
1998	0,810	0,840	0,560	0,140	0,729	0,756	0,504	0,115
1999	0,800	0,840	0,560	0,170	0,720	0,756	0,504	0,139
2000	0,900	0,870	0,680	0,270	0,810	0,783	0,612	0,221
2001	0,950	0,910	0,680	0,260	0,855	0,819	0,612	0,213
2002	0,970	0,920	0,670	0,260	0,873	0,828	0,603	0,213
2003	1,020	0,970	0,710	0,290	0,918	0,873	0,639	0,238
2004	1,098	1,033	0,789	0,268	0,9882	0,9297	0,710	0,220
2005	1,219	1,149	0,939	0,352	1,0971	1,0341	0,845	0,289
2006	1,354	1,279	1,044	0,411	1,2186	1,1511	0,940	0,337
2007	1,409	1,322	1,081	0,435	1,260	1,220	0,875	0,385
2008	1,482	1,386	1,260	0,548	1,313	1,272	0,968	0,458
2009	1,316	1,235	1,003	0,446	1,157	1,097	0,913	0,365
2010	1,437	1,373	1,153	0,589	1,287	1,227	1,036	0,407
2011	1,614	1,546	1,372	0,747	1,453	1,393	1,231	0,572
2012	1,721	1,641	1,450	0,854	1,541	1,475	1,324	0,669
2013	1,660	1,579	1,388	0,802	1,510	1,440	1,280	0,600

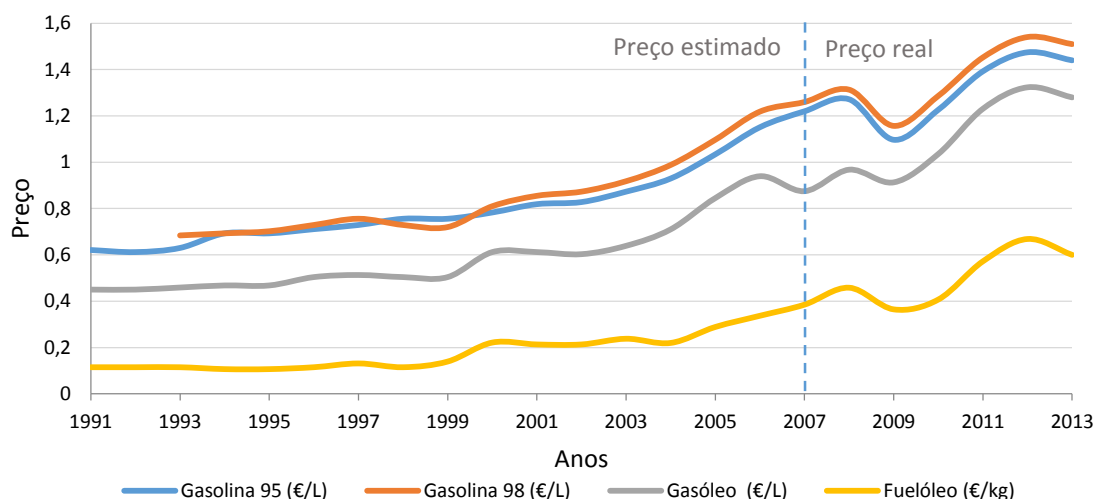


Figura 3.5 – Preços dos combustíveis nos Açores por tipo

### 3.1.2. Preço das emissões de CO<sub>2</sub>

Na Figura 2.1 e Figura 3.6 está representado o preço das emissões de CO<sub>2</sub> entre os anos de 2008 a 2013.

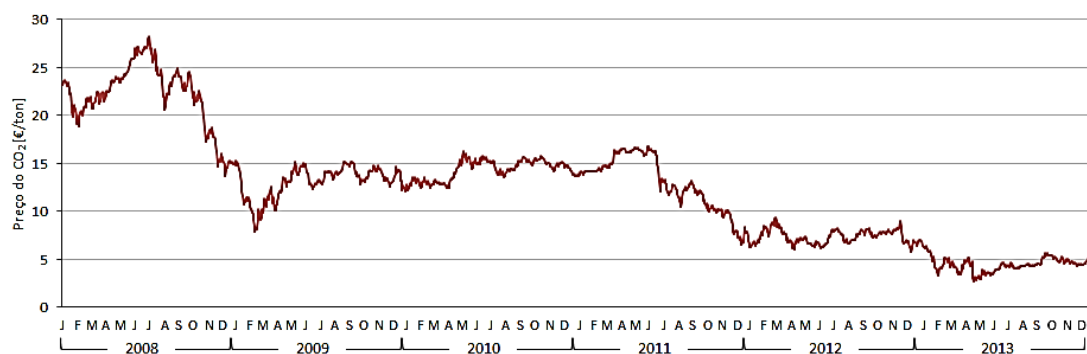


Figura 3.6 – Preço das emissões de CO<sub>2</sub> [26]

## 3.2. Sector Eléctrico

### 3.2.1. Caracterização do sistema electroprodutor da ilha Terceira

O sistema electroprodutor da ilha Terceira, assim como todas as restantes ilhas do arquipélago dos Açores, é um sistema isolado visto não haver interligações entre as ilhas nem com o continente. A única empresa que comercializa eletricidade na ilha terceira é a empresa Eletricidade dos Açores (EDA) tendo ela todo o monopólio de transporte, distribuição e comercialização de eletricidade. A EDA também é responsável por toda a produção exceto o novo parque eólico da serra do cume norte que é privado pertencente à Companhia Açoriana de

Energias Renováveis. Tendo como reguladora a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

O sistema electroprodutor da ilha Terceira é composto por cinco centrais de produção de energia elétrica. A Central Termoelétrica do Belo Jardim (CTBJ), pelos Parques Eólicos da Serra do Cume (PESC) e Serra do Cume Norte (PESCN) e pelas Centrais Hídricas da Cidade (CHCD), Nasce D'Água (CHNA) e São João (CHSJ). As respetivas características são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 3.2 – Centrais de Produção de Energia Elétrica no ano 2012 [27]

Sigla	Fonte Primária	Tensão de Geração (kV)	Unidades	Pot. Instalada (kW)
CTBJ	Térmica - fuelóleo	10	1	3 000
		6,6	3	9 116
		6	6	49 000
CHCD	Hídrica	0,4	1	264
CHNA	Hídrica	0,4	1	720
CHSJ	Hídrica	0,4	1	448
PESC	Eólica	0,4	10	9 000
PESCN		0,4	4	3 600
<b>Total</b>	-	-	23	75 148

Entre os anos de 1991 e 2010 existiu um grande aumento de produção de energia elétrica, que se pode observar na figura abaixo. Também se pode observar que em 2008 quando o parque eólico Serra do Cume começou a funcionar existiu um decréscimo de produção da central térmica graças ao aumento da energia proveniente desse mesmo parque.

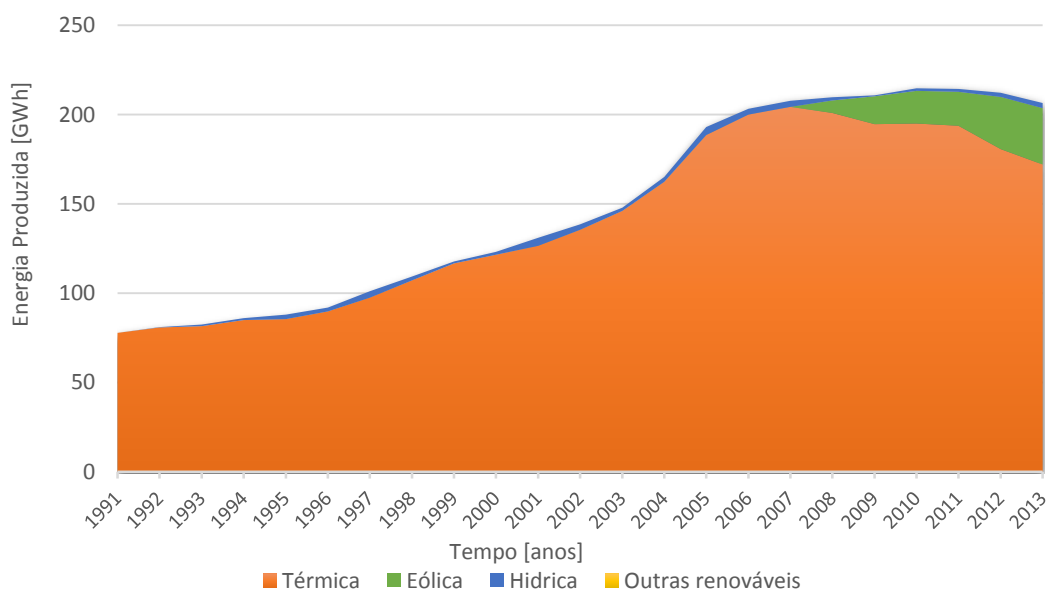


Figura 3.7 – Evolução da produção de energia elétrica consoante o tipo [21] [22]

Em 1991 toda a energia elétrica produzida na ilha Terceira era a partir de combustíveis fósseis. Em 2013 existiu uma produção de 17 % com origem em fontes renováveis, em que 15 % é energia eólica como se vê na Figura 3.8.

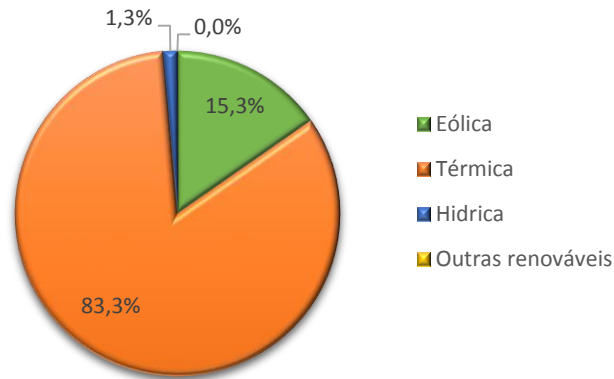


Figura 3.8 – Produção de energia elétrica em 2013

No setor elétrico da ilha Terceira a única central que produz emissões específicas de CO<sub>2</sub> é a central térmica do Belo jardim, podendo essas emissões ser observadas na Figura 3.9 para os anos entre 2005 e 2010.

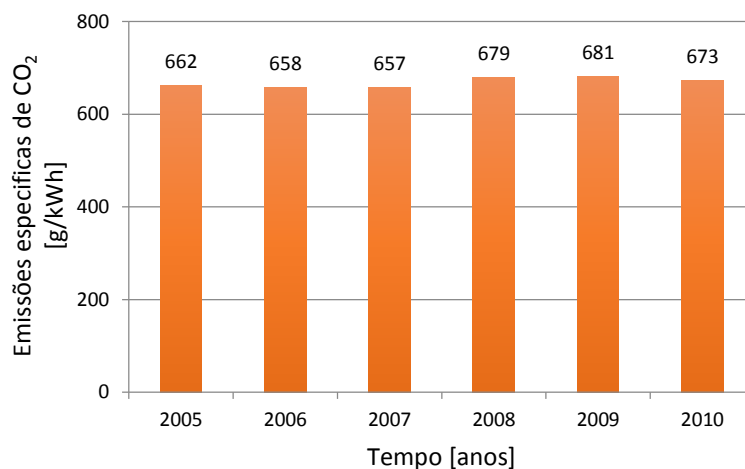


Figura 3.9 - Emissões específicas da central do Belo Jardim de 2005 a 2010 [28]

### 3.1.1.1. Energia Térmica

Uma central termoelétrica consiste numa instalação para a produção de energia elétrica mediante a transformação de combustíveis fósseis sólidos, líquidos ou gasosos (carvão, petróleo, gás natural, entre outros). Estes combustíveis, que são fonte de energia primária não renovável, são queimados e o calor libertado é transferido para água, aquecendo-a e transformando-a em

vapor. O vapor de água vai acionar as pás das turbinas dos geradores elétricos produzindo assim eletricidade [29].

Na ilha terceira existe apenas uma Central Termoelétrica a Central Termoelétrica do Belo Jardim localizada no lugar do Belo Jardim, situado na Canada dos Pastos, na freguesia de Santa Cruz – Conselho da Praia da Vitoria.

A Central Termoelétrica do Belo jardim existe desde 1982, representa atualmente o principal centro de produção de eletricidade da ilha terceira e desde então tem sofrido alterações no sentido de responder às necessidades de consumo da ilha. Embora existam na ilha outras formas de produção de energia, a CTBJ assume o papel mais importante no abastecimento de eletricidade à ilha, sendo esta que assegura os principais aumentos de consumo de eletricidade na ilha [30].

A Central tem atualmente uma potência termoelétrica de 158,8 MWt (Megawatts térmicos<sup>5</sup>) e é composta por dez grupos geradores independentes entre si;

- Grupo 1 e 2 de 8,13MWt de potência;
- Grupo 3 de 7,8 MWt de potência;
- Grupo 4 de 7,43 MWt de potência;
- Grupo 5, 6, 7 e 8 de 15,85 MWt de potência;
- Grupo 9 e 10 de 31,96 MWt de potência [30].

Na Figura 3.10 é ilustrado a evolução ao longo dos anos da potência instalada na central do Belo Jardim.

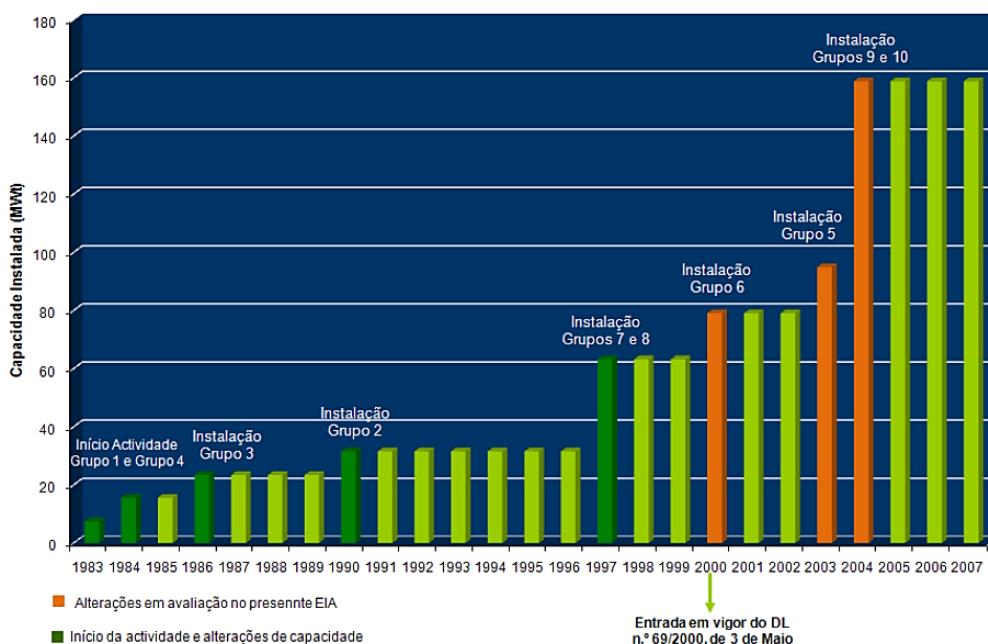


Figura 3.10 – Evolução da capacidade de produção da Central do Belo Jardim [30]

<sup>5</sup> Megawatt térmico (MWt) é uma unidade de potência térmica que corresponde ao trabalho que é realizado por unidade de tempo.



Figura 3.11 – Central Termoelétrica do Belo Jardim [30]

### 3.1.1.2. Energia Hídrica

Uma central hidroelétrica consiste numa instalação para a produção de energia elétrica mediante a transformação de energia hidráulica. As centrais hidroelétricas localizam-se normalmente nos leitos dos rios ou em zonas onde as águas desaguam.

Numa central hidroelétrica ocorrem varias transformações de energia. Quando as comportas de uma barragem abrem, a energia potência gravítica da água armazenada na albufeira é transformada em energia cinética, tal como acontece se houver um desnível no rio. Já na central, a energia cinética da água é transferida para as pás das turbinas dos geradores elétricos produzindo assim eletricidade [31].

A fase preparatória para a implementação de um sistema hídrico na ilha Terceira teve o seu início em Dezembro de 1951.

O sistema hídrico da ilha terceira é composto pelos seguintes órgãos que abastecem em cascata as centrais hidrelétricas: a câmara de junção é alimentada pela nascente do Cabrito, através de uma tubagem de aço com o diâmetro interior de 500 mm, a uma distância de 915 metros e pela Furna de Água em caleira que dista a mais ou menos 150 metros, o tanque da costaneira que tem a capacidade de 6000 m<sup>3</sup>, recebendo a água da Câmara de Junção através de uma conduta em alvenaria de 800 mm de diâmetro interior e a uma distância de 4500 metros. À saída deste tanque existe uma válvula de comando hidráulico que é comandada à distância [32].

### **Central Hídrica de Nasce d'Água**

A Central Hídrica de Nasce d'Água situa-se no lugar de Nasce d'Água, freguesia de Nossa Senhora da Conceição, concelho de Angra do Heroísmo.

É alimentada pelo tanque da Costaneira, através de uma conduta de aço com o comprimento de 830 metros, o diâmetro interior é de 600 mm e tem uma queda de 180 metros. Esta central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 850 kVA a 600 rpm, da marca ELIN [32].

### **Central Hídrica de São João de Deus**

A Central Hídrica de São João de Deus situa-se no lugar de São João de Deus, freguesia de Santa Luzia, concelho de Angra do Heroísmo.

Entre a Central Hídrica de Nasce d'Água e a Central Hídrica de São João de Deus, existe uma câmara de perda de carga com a capacidade de 77,5 m<sup>3</sup>, alimentada através de um túnel com comprimento de 620 metros, por uma conduta em betão armado com 1300 metros de comprimento e o diâmetro interior de 1 metro. Esta câmara alimenta a Central de São João de Deus através de uma tubagem de aço de diâmetro interior 700 mm, a uma distância de 1000 metros e com a queda de 125 metros. Esta central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 560 kVA a 500 rpm, da marca ELIN [32].

### **Central Hídrica da Cidade**

A Central Hídrica da Cidade situa-se em Angra do Heroísmo, freguesia da Sé, concelho de Angra do Heroísmo.

Entre a Central Hídrica de São João de Deus e a Central Hídrica da Cidade, existe uma câmara de carga com a capacidade de 77,5 m<sup>3</sup>, alimentada através de um túnel com 200 metros de comprimento. Esta câmara alimenta a Central Hídrica da Cidade, através de uma conduta de aço de diâmetro interior de 700 mm, a uma distância de 600 metros e com uma queda de 80 metros. Esta central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 330 kVA a 300 rpm, da marca ELIN [32].

As turbinas das três centrais são da marca B. MAYER do tipo Pelton e construídas no ano de 1954 [32].

### 3.1.1.3. Energia Eólica

A energia eólica, desde longa data, tem sido aproveitada através de moinhos de vento para moer cereais ou para bombear água. Atualmente, com o avanço da tecnologia, surgiram as turbinas eólicas que transformam a energia eólica em energia elétrica [33].

#### Parque Eólico da Serra do Cume

O parque eólico o Parque Eólico Serra do Cume situa-se na Serra do Cume, freguesia de Fonte do Bastardo, concelho de Praia da Vitória, ilha Terceira e foi inaugurado a 30 de Agosto de 2008 com 4,5 MW de potência instalada, graças a 5 aerogeradores de 900 kW de potência unitária, ENERCON E-44.

Em 2010 foi alvo de uma ampliação com a instalação de mais 5 aerogeradores, ENERCON E-44, tendo em consideração o grande potencial energético existente, aumentando a potência instalada para 9 MW. A produção do Parque Eólico ronda os 14 % da produção elétrica da ilha, equivalendo aproximadamente a energia elétrica para 3806 habitações. O parque está apto a trabalhar em regime abandonado e todo o seu funcionamento é monitorizado a partir da Central Térmica de Belo Jardim [34].



Figura 3.12 – Parque eólico da Serra do Cume [35]

#### Parque Eólico da Serra do Cume norte

O parque eólico o Parque Eólico Serra do Cume Norte situa-se no concelho da Praia da Vitória, ilha Terceira com ligação a rede em 2013 com 3,6 MW de potência instalada, graças a 4 aerogeradores de 900 kW de potência unitária, ENERCON E-44. Este parque eólico é privado pertencendo à Companhia Açoriana de Energias Renováveis (CAEN) [36].

### 3.2.2. Consumo de Energia Elétrica

Como se observa na Figura 3.13 o consumo de eletricidade na ilha Terceira teve uma tendência sempre crescente até ao ano 2010 onde atingiu o valor máximo de 197,71 GWh. Nestes últimos três anos observa-se uma queda nos consumos.

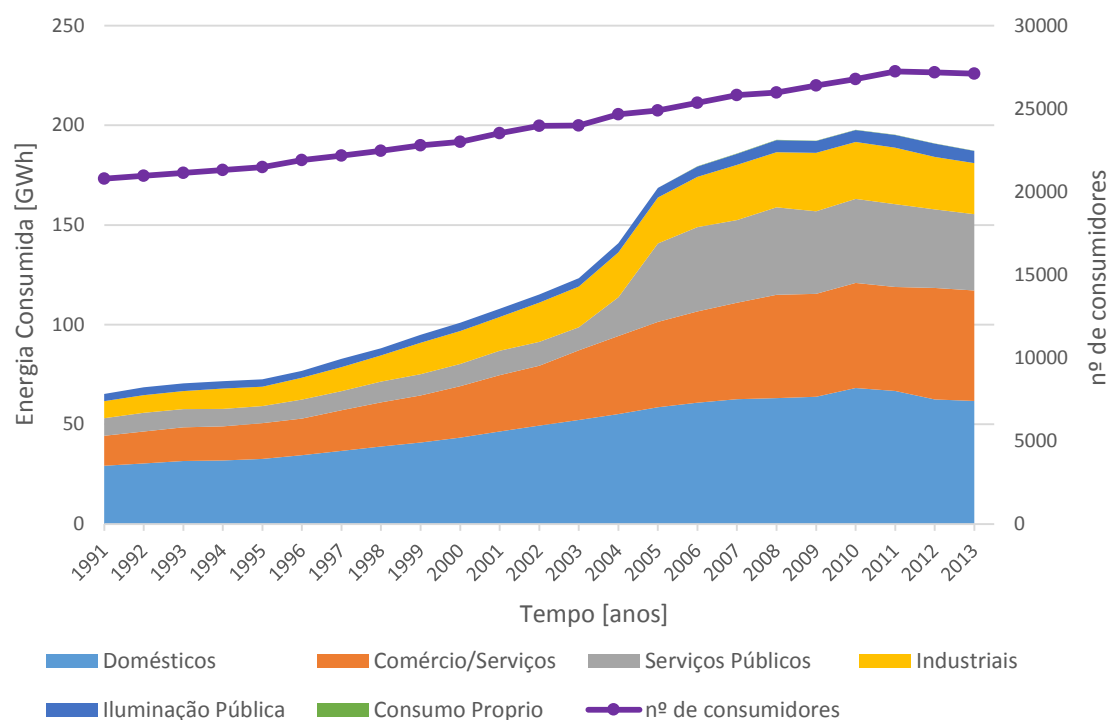


Figura 3.13 – Evolução do consumo de energia elétrica [21] [22]

### 3.2.3. Diagramas característicos

Os diagramas de carga presentes neste capítulo são a grande base para a elaboração deste trabalho. Na Tabela 3.3 são indicados os dias típicos dos diagramas de carga para cada estação do ano de 2013, estes dias e os respetivos diagramas foram fornecidos pela EDA (Eletricidade dos Açores).

Tabela 3.3 – Dias Típicos 2013

Estação	Mês	Quarta	Sábado	Domingo
Primavera	Maio	15	18	19
Verão	Agosto	21	17	18
Outono	Outubro	16	19	20
Inverno	Dezembro	18	21	22

3.2.3.1. Primavera

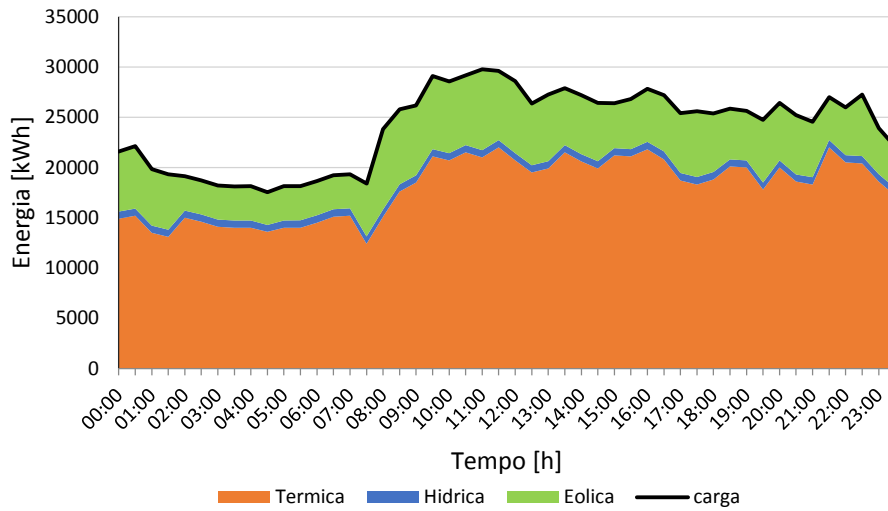


Figura 3.14 – Diagrama de carga típico de um dia de semana da Primavera

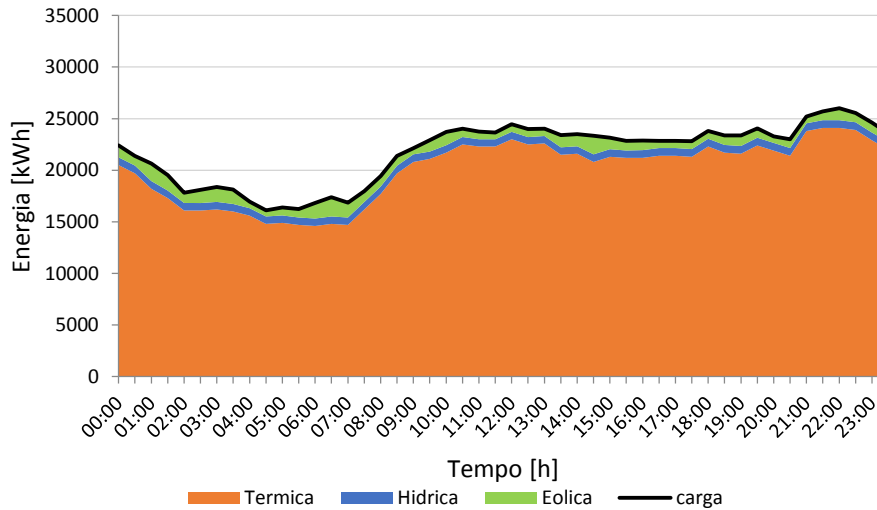


Figura 3.15 – Diagrama de carga típico de um sábado da Primavera

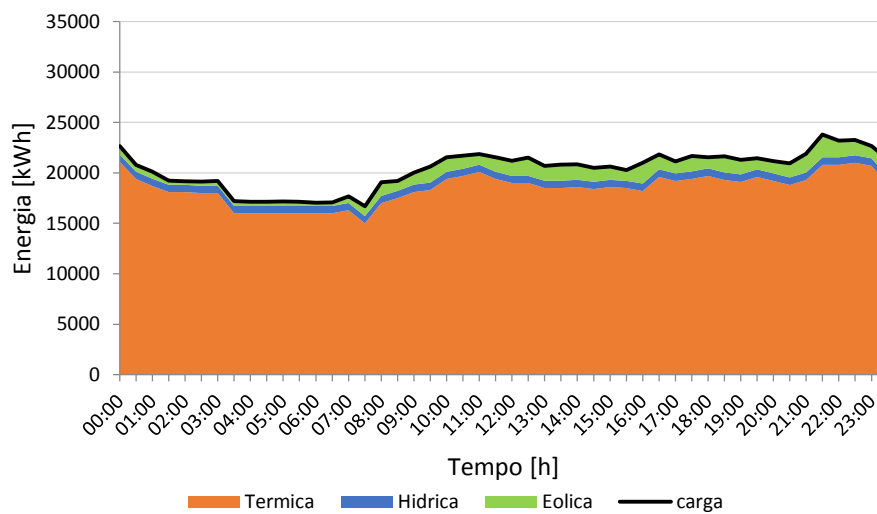


Figura 3.16 – Diagrama de carga típico de um Domingo da Primavera

3.2.3.2. Verão

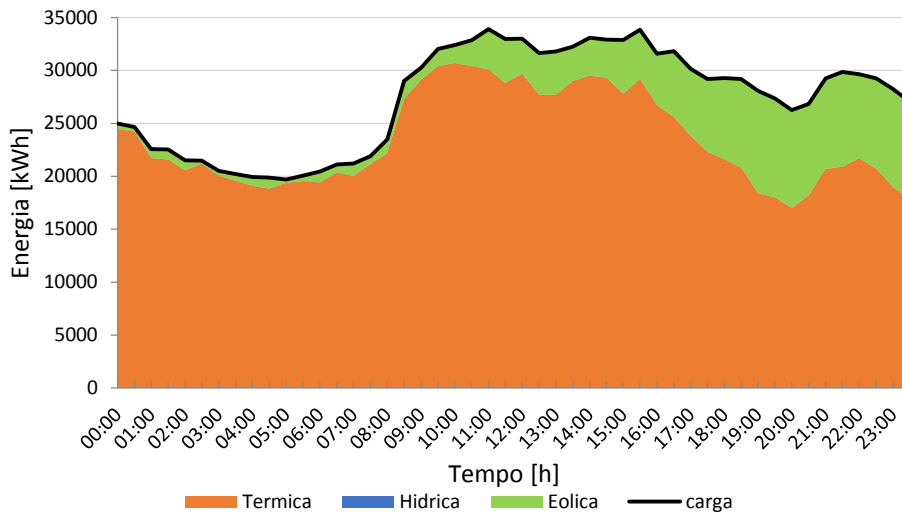


Figura 3.17 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Verão

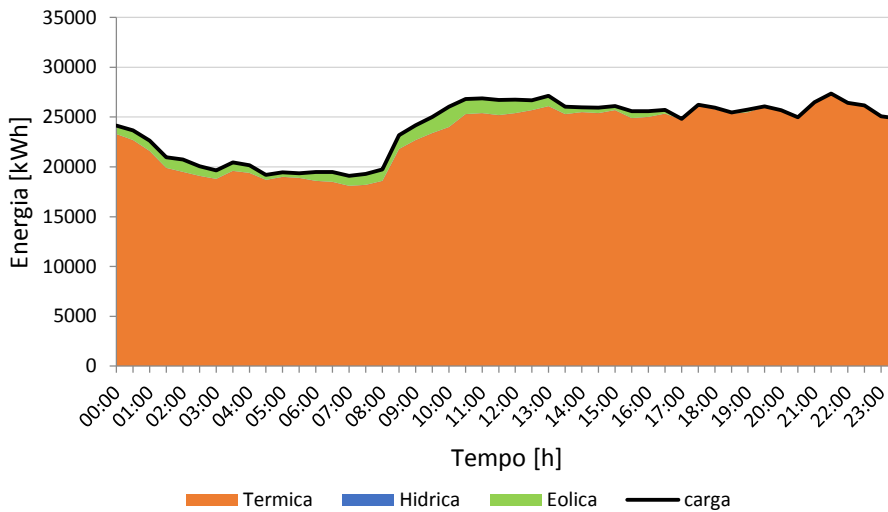


Figura 3.18 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Verão

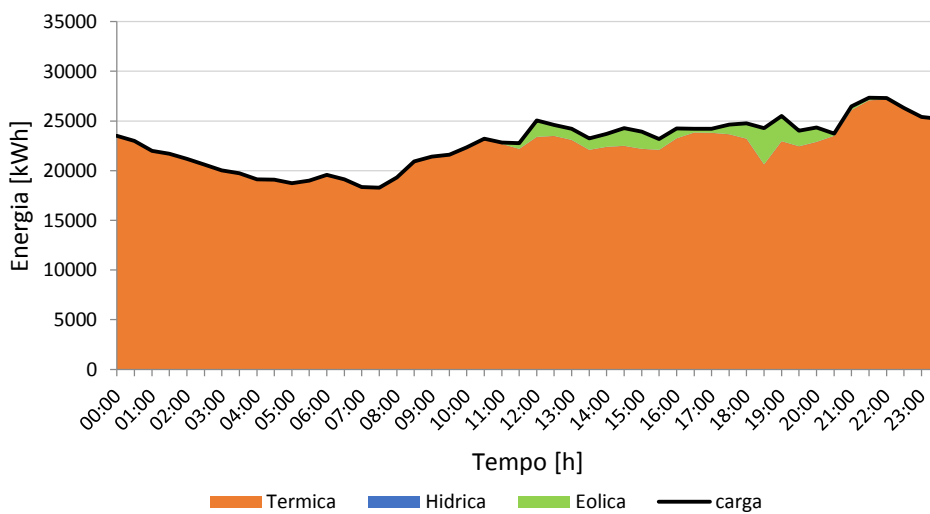


Figura 3.19 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Verão

3.2.3.3. Outono

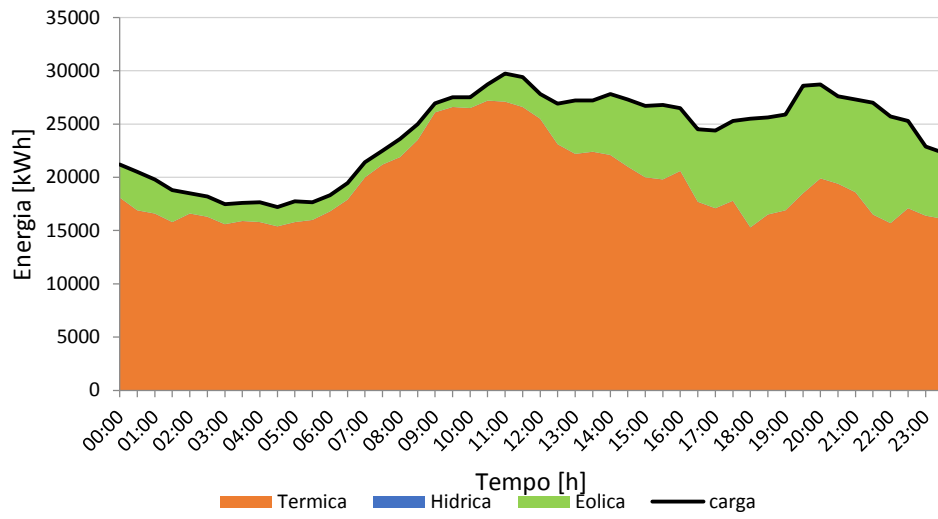


Figura 3.20 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Outono

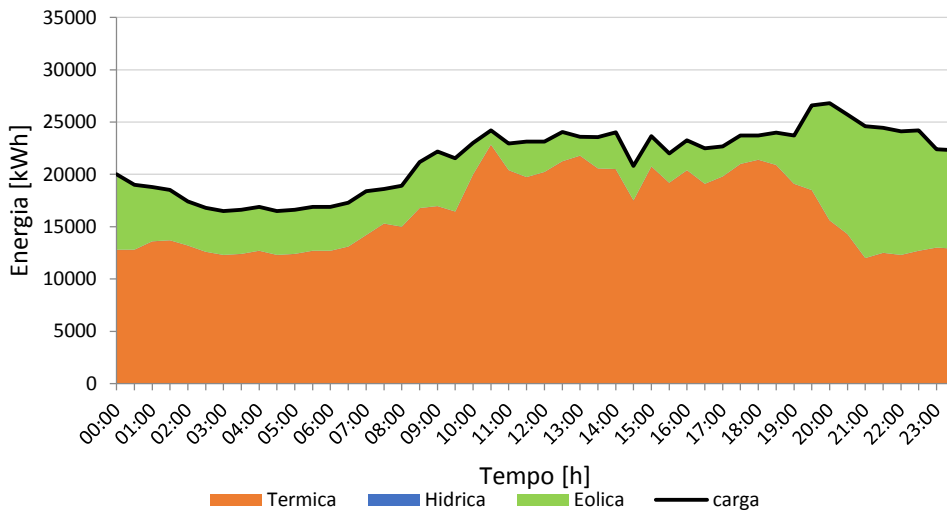


Figura 3.21 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Outono

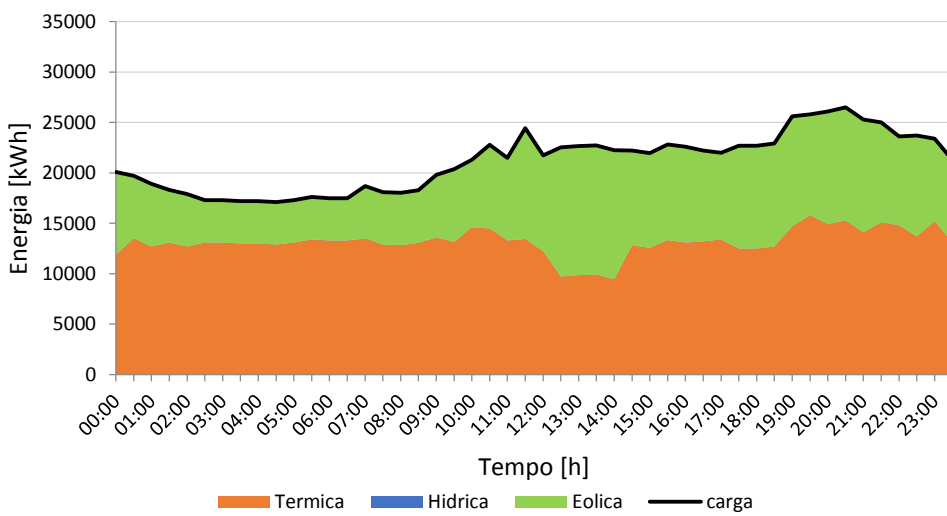


Figura 3.22 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Outono

3.2.3.4. Inverno

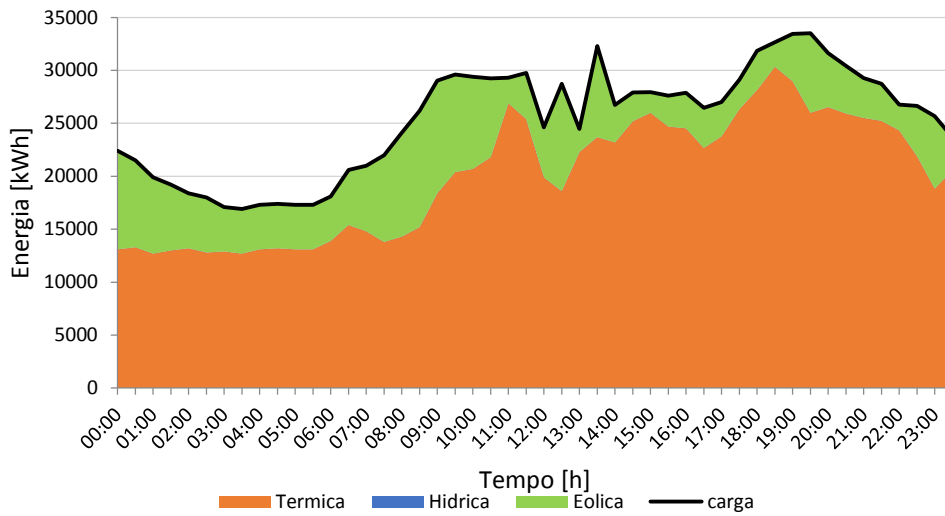


Figura 3.23 – Diagrama de carga típico de um dia de semana do Inverno

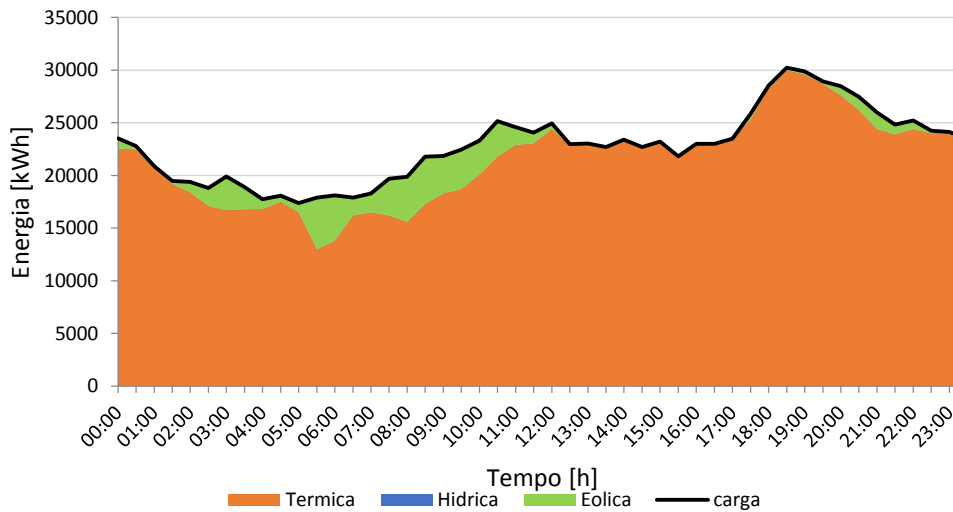


Figura 3.24 – Diagrama de carga típico de um Sábado do Inverno

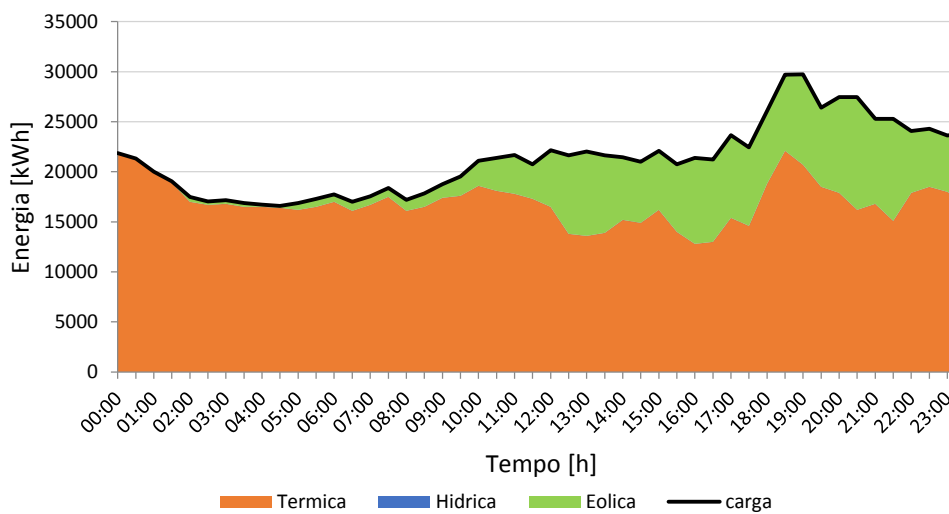


Figura 3.25 – Diagrama de carga típico de um Domingo do Inverno

### 3.2.4. Emissões do sistema electroprodutor

Para efetuar o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> do sistema electroprodutor da ilha Terceira tem de se ter em consideração as emissões da central térmica do belo jardim. Foram utilizadas as emissões da Tabela 3.4 para a ilha Terceira, visto que é a única central térmica existente na ilha.

Tabela 3.4 – Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> por ilha em 2013 [37]

Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> (g/kWh) por ilha, em 2013	Diesel	Geotérmico
Santa Maria	688,06	
São Miguel	674,06	199
Terceira	690,60	
Graciosa	693,82	
São Jorge	670,48	
Pico	689,45	
Faial	692,11	
Flores	705,24	
Corvo	770,90	
Emissões específicas RAA	684,02	199

Com essas emissões e sabendo a energia produzida a partir da central térmica, no ano de 2013, pode-se obter as emissões produzidas para nesse ano como é mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Energia e emissões de CO<sub>2</sub> produzidas pela central do Belo Jardim em 2013

Energia produzida (kWh)	Emissões específicas de CO <sub>2</sub> (g/kWh)	Emissões de CO <sub>2</sub> produzidas (ton)
172 014 557	690,6	118 793,3

### 3.2.5. Plano de investimentos previsto

O plano de investimentos previsto para a ilha Terceira está representado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Ações para a produção de energia [4]

Tipo de geração	Ações	Responsável pela implementação	Calendário de implementação	
			Ano de início	Ano de conclusão
Eólica	Ampliação do Parque Eólico da Serra do Cume – 4,5MW	EDA	2011	2012
Eólica	Novos parques eólicos – 2MW	Privado	2013	2014
Solar fotovoltaica	Instalação de 1MW no sector residencial	Particulares	2016	2020

<b>Geotérmica</b>	Nova central Terceira – 3MW	Geoterceira EDA	2014	2015
<b>Geotérmica</b>	Ampliação da central – 3MW	Geoterceira EDA	2017	2018
<b>Biomassa</b>	Central de co-geração – 2MW	Privado	2013	2014

### 3.2.6. Preço da eletricidade

Na Figura 3.26 está representado o preço da eletricidade em Portugal para utilizadores domésticos.

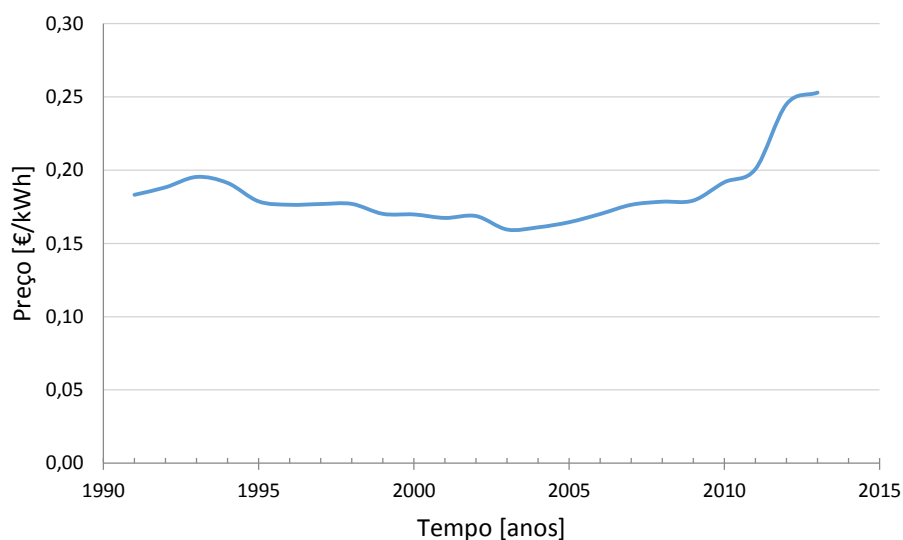


Figura 3.26 – Preço da eletricidade em Portugal [38]

## 3.3. Setor Automóvel

### 3.3.1. Em Portugal Continental

O parque automóvel de veículos ligeiros em Portugal Continental está representado na Figura 3.27.

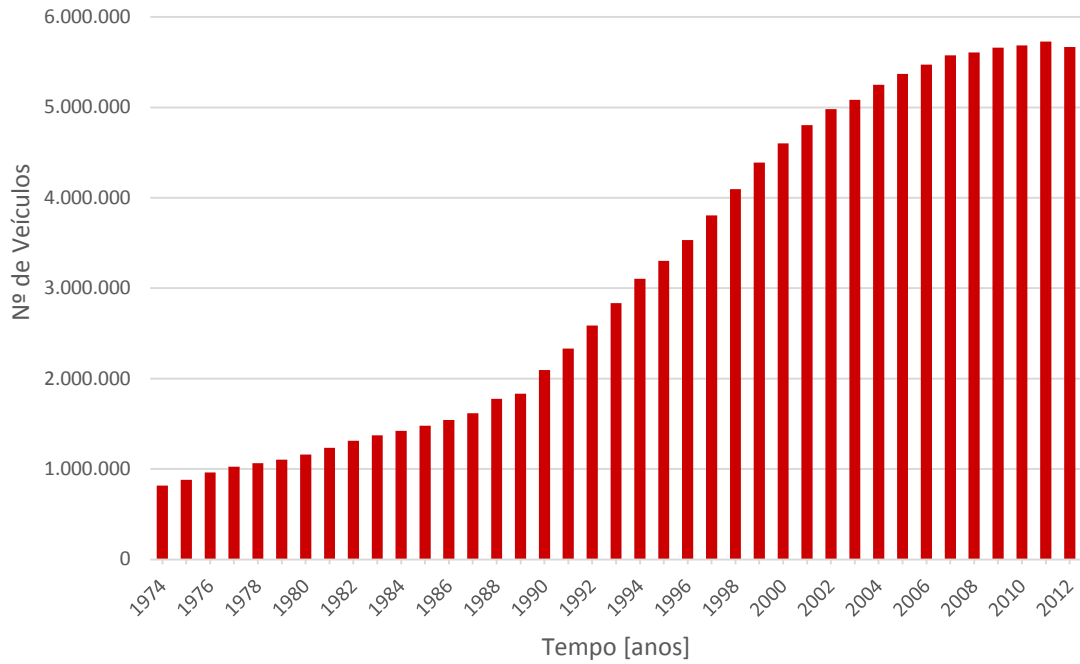


Figura 3.27 – Parque automóvel de veículos ligeiros em Portugal [39]

Para além do número de veículos ligeiros, a única informação disponibilizada pela ACAP é o número de veículos vendidos em cada ano e o seu tipo de combustível, Figura 3.28.

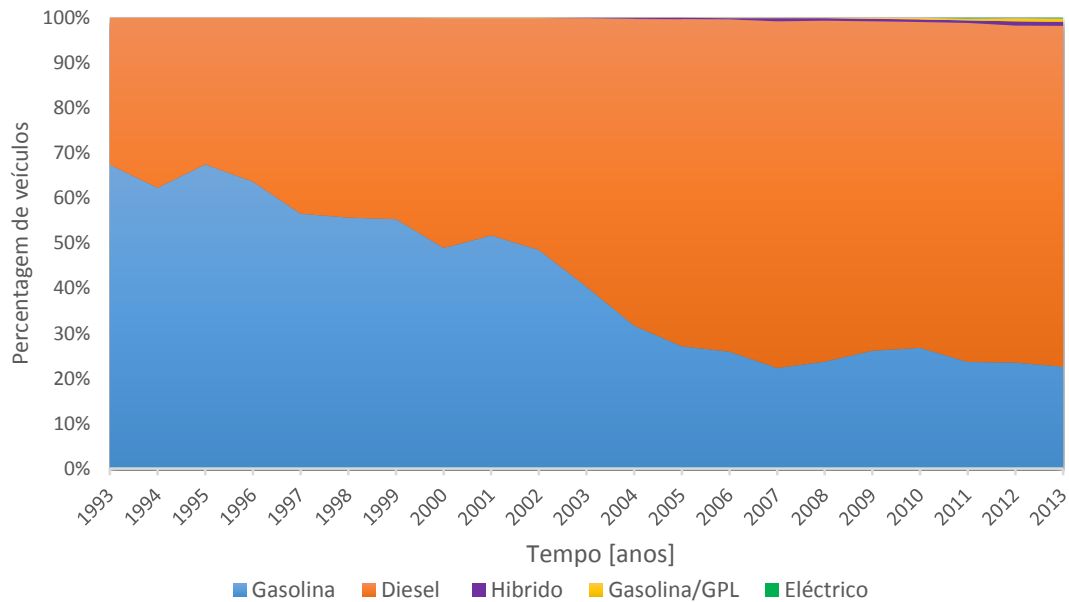


Figura 3.28 – Vendas de veículos ligeiros em Portugal por tipo [40]

Na Figura 3.29 observa-se com mais pormenor as vendas no ano de 2013.

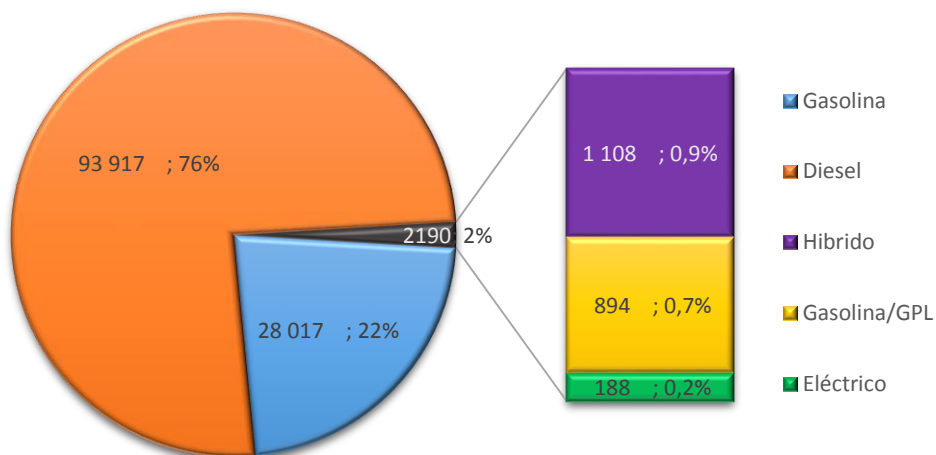


Figura 3.29 - Vendas de veículos ligeiros em Portugal por tipo em 2013 [40]

### 3.3.1.1. Na ilha Terceira

Na Figura 3.30 observa-se a evolução do parque automóvel de veículos ligeiros na ilha Terceira até ao ano de 2012, apresentando uma tendência crescente.

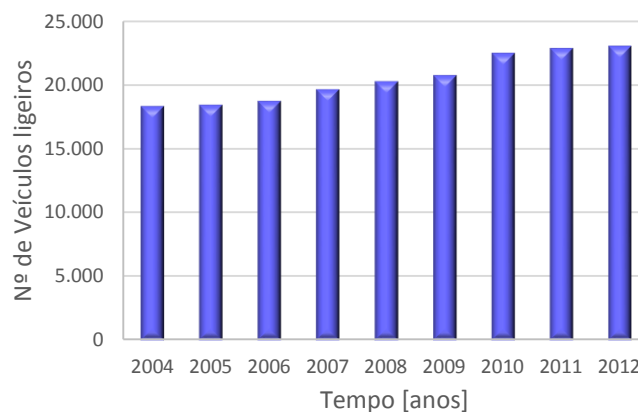


Figura 3.30 – Parque automóvel de veículos ligeiros da Ilha Terceira [41]

### 3.4.1. Energia consumida pelo parque automóvel

Para o cálculo da energia consumida no parque automóvel da ilha Terceira foram utilizados os dados da Figura 3.3, em que é mostrado o combustível utilizado no setor dos transportes 2012 e o seu tipo. São utilizados estes valores porque a única informação que é disponibilizada relativamente ao parque automóvel é o número de veículos que possui.

Sabendo então pela Tabela 3.7 o PCI (poder calorífico inferior) por tipo de combustível, pode-se calcular a energia total consumida no parque automóvel como é mostrado na Tabela 3.8.

Tabela 3.7 – PCI por tipo de combustível [42]

Combustível	PCI (MJ/kg)
Gasolina	44,5
Gasóleo	42,5

Tabela 3.8 – Energia consumida pelo parque automóvel da ilha Terceira em 2012

Combustível consumido (ton)	Energia (MJ)
Gasolina	7 726
Gasóleo	22 448
<b>Total</b>	<b>1 297 847</b>

### 3.4.2. Emissões do parque automóvel

Para efetuar o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> do parque automóvel da ilha Terceira foram utilizados os dados da Figura 3.3, em que é mostrado o combustível utilizado no setor dos transportes 2012 e o seu tipo. São utilizados estes valores porque a única informação que é disponibilizada relativamente ao parque automóvel é o número de veículos que possui.

Sabendo então pela Tabela 3.9 quantos quilogramas de CO<sub>2</sub> são emitidos em média pela queima de um quilograma de combustível, pode-se calcular as emissões totais do parque automóvel como é mostrado na Tabela 3.10.

Tabela 3.9 – Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível [43]

Combustível (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
Gasolina	1
Gasóleo	1

Tabela 3.10 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível do parque automóvel da ilha Terceira em 2012

Combustível consumido (ton)	CO <sub>2</sub> produzido (ton)
Gasolina	7 726
Gasóleo	22 448
<b>Total</b>	<b>94 793,6</b>

# Capítulo 4

---

## Metodologia

*Neste capítulo é apresentado a metodologia utilizada para a realização dos casos de estudo. Foi realizada a evolução dos preços de eletricidade e combustíveis, da frota de veículos ligeiros e do consumo de eletricidade. Bem com o cálculo dos fatores de carga e dos custos nivelados das centrais.*



## 4.1. Recursos endógenos da Terceira

### 4.1.1. Energia hídrica

Dadas as características dos recursos disponíveis, em termos de futuro não é previsível que venha a tornar-se significativo o contributo da energia hídrica para a produção de eletricidade na ilha Terceira [1].

### 4.1.2. Energia Solar

Os Açores são ricos em vários recursos renováveis como o vento, as ondas, e energia geotérmica para geração de eletricidade. No entanto, até agora a energia solar não tem sido uma prioridade no panorama das energias renováveis, provavelmente porque o clima dos Açores foi considerado muito nublado.

Foram criadas duas estações meteorológicas de medição, na ilha Terceira indicadas na Figura 4.1, para coletar dados sobre a radiação solar, tendo em mente as necessidades de dados para dimensionamento de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Foram equipadas para medir a radiação solar global horizontal, temperatura ambiente e humidade relativa do ar. Infelizmente, os recursos financeiros e humanos disponíveis não permitem sensores de radiação difusa.



Figura 4.1 – Estações meteorológicas na ilha terceira [44]

Na Figura 4.2 são mostrados os dados de radiação global horizontal mensais para quatro estações duas delas na Terceira e as outras duas no Faial.

É observado que sequências de dias de céu limpo, e até mesmo um dia de céu limpo, são situações raras. Pelo contrário, há muitas sequências de dias nublados. Este fato é especialmente visível quando o índice de claridade é analisado: a maioria dos valores diários permanecer em uma faixa estreita de 0,4 a 0,5, complementadas com valores mais baixos durante o inverno e valores mais elevados durante o verão (Figura 4.3).

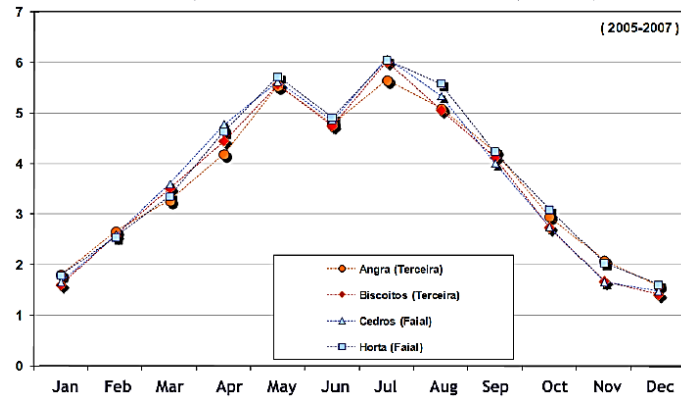


Figura 4.2 – Radiação solar global horizontal mensal ( $kWh/m^2$ )

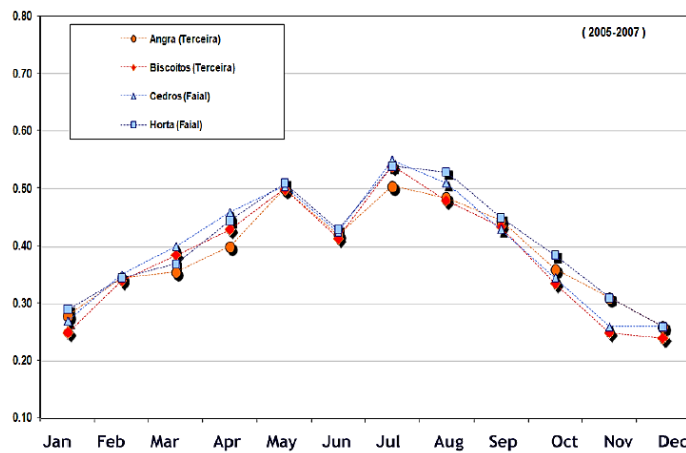


Figura 4.3 – Índice de claridade mensal

Séries de temperatura mostram as características bem conhecidas das ilhas relativamente pequenas, de baixa amplitude térmica no dia (ver Figura 4.4).

Na Figura 4.4 pode-se observar que os perfis médios diários de radiação solar por hora são quase simétricos em relação ao meio dia solar.

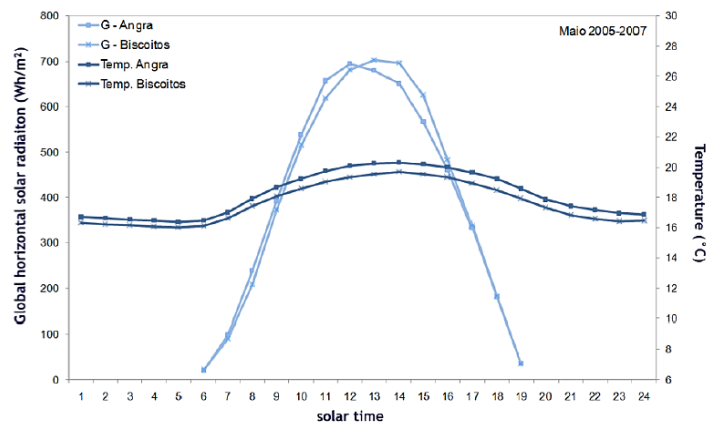


Figura 4.4 – Perfis típicos médios diários (Maio 2006-2007)

Os resultados mostraram que amplitude térmica diária é baixa e os níveis de humidade relativa do ar são elevados, resultados já esperados tendo em conta o oceano nas proximidades. A radiação horizontal global anual média na ilha Terceira foi de cerca de 3,65 kWh/m<sup>2</sup> por dia [44].

Em síntese, nos Açores o recurso solar é relativamente mais baixo do que no território continental português, mas é muito melhor quando comparado com muitas regiões do Centro e Norte da Europa [1].

### **4.1.3. Energia Geotérmica**

Em Portugal, a presença de recursos geotérmicos de alta temperatura é restrita às ilhas vulcânicas dos Açores, que estão associadas à junção das placas tectónicas euro-asiática, americana e africana.

Na ilha de Terceira (Figura 4.5), que tem um ambiente tectónico complexo, são considerados (por ordem cronológica) cinco complexos vulcânicos: Cinco Picos, Guilherme Moniz, Santa Bárbara, Pico Alto e a Zona Fissural [45].

O projeto geotérmico da Terceira, a cargo da empresa GeoTerceira - Sociedade Geolétrica da Terceira, S.A., foi reiniciado no ano de 2000, na sequência de trabalhos preliminares efetuados desde os anos 70, com a execução de uma campanha de prospeção geolétrica numa vasta área, para detalhe da informação geofísica já existente.

Considerando os interessantes resultados desenvolveu-se, posteriormente, uma campanha de execução de furos de medição de temperatura, para reconhecimento da sua distribuição em profundidade e estimativa do gradiente geotérmico local. Com base na informação recolhida, foi projetada a execução de um conjunto de cinco poços de avaliação que decorreu entre 2007 e 2009 e que estão a ser avaliados através de ensaios de produtividade de longa duração.

Os trabalhos realizados até à data permitiram identificar um sistema geotérmico de alta temperatura, superior a 300 °C, com uma área significativa e com reservas de calor suficientes para suportar um projeto geotérmico com 10/12 MW. Todavia, a reduzida produtividade individual dos poços geotérmicos, decorrente da baixa permeabilidade encontrada, o seu comportamento cíclico e as características termodinâmicas do recurso existente, não permitem que se demonstre, no imediato, a viabilidade de extração do calor com uma potência idêntica à inicialmente prevista. Neste contexto, perspetiva-se dividir o projeto em duas fases, planeando-se no âmbito da primeira fase a construção de uma central com uma potência de 3 MW.

Esta central piloto permitirá aferir o comportamento a longo prazo do reservatório e dos poços geotérmicos, através da monitorização de diversos parâmetros, enquanto,

simultaneamente, gera receita e proporciona oportunidade de aprendizagem da equipa técnica local sobre este reservatório e a operação de centrais geotérmicas.

Presentemente, face à reconfiguração do projeto, decorre o estudo de viabilidade da instalação de uma Central Geotérmica Piloto com uma potência de 3 MW, assim como o estabelecimento de condições que suportem eficazmente o sucesso da sua exploração.

Complementarmente, perspetiva-se a possibilidade de desenvolvimento de estudos de prospeção adicionais, enquadrados no objetivo perseguido de instalação, numa segunda fase, de uma central geotérmica com a potência inicialmente prevista [46].

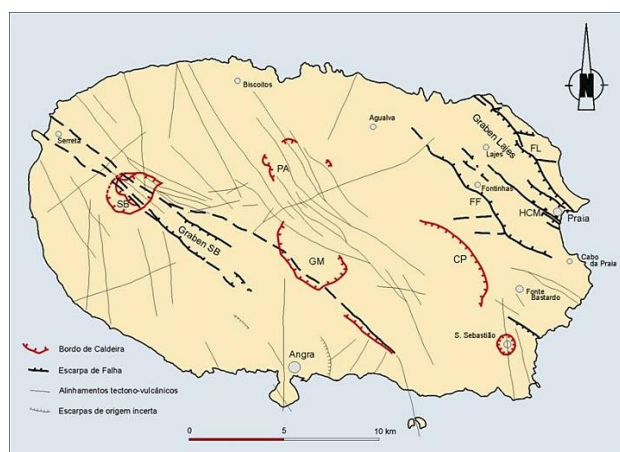


Figura 4.5 – Mapa vulcânico da ilha Terceira

#### 4.1.4. Energia Eólica

Os Açores têm grandes tradições no aproveitamento da energia do vento, primeiro para a moagem dos cereais e para a navegação à vela, mais recentemente para a produção de eletricidade, sendo o Parque Eólico do Figueiral, datado de 1988, em Santa Maria, um dos primeiros parques eólicos existentes em Portugal.

O potencial eólico da Região é enorme, o que pode ser comprovado através dos indicadores pelos quais habitualmente se traduz. Em algumas estações, encontram-se valores que excedem as 4800 hcp (horas anuais equivalentes de funcionamento à plena carga), sendo de 2900 hcp o menor valor encontrado. Mesmo nos locais mais modestos o potencial supera o de muitos sítios do Continente onde atualmente se constroem parques eólicos.

Dado o excelente potencial que a Região dispõe, a questão do aumento da penetração da tecnologia de geração elétrica de base eólica no sistema electroprodutor dos Açores merece continuar a ser alvo de mais estudos, tendo em consideração não só aspetos ligados à tecnologia mas também aspetos de ordem económica, dadas as vantagens que poderiam advir do aproveitamento deste recurso [1].

#### 4.1.5. Energia da Biomassa

De acordo com a Diretiva 2001/77/EC, de 27 de Setembro de 2001, a biomassa é: “a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos” As contribuições da biomassa para o balanço energético podem ser desdobradas em biomassa sólida, biocombustíveis líquidos, biocombustíveis gasosos (biogás) e resíduos sólidos urbanos [1].

No que diz respeito à exploração de biomassa florestal para a produção de energia podemos observar o mapeamento do potencial da área florestal da ilha Terceira na Figura 4.6.

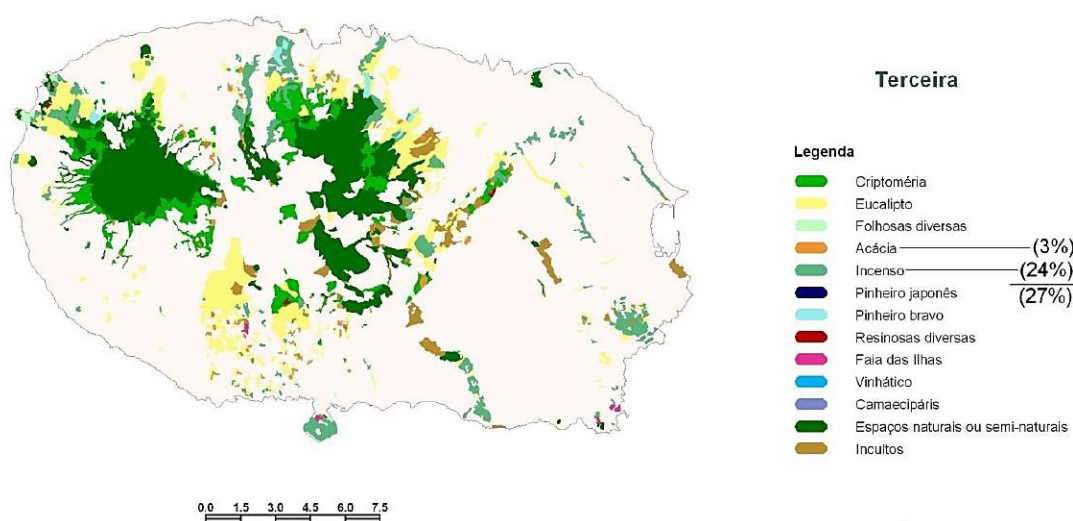


Figura 4.6 – Mapeamento do potencial de biomassa para a produção de energia (Terceira) [47]

A biomassa residual florestal está subdividida em duas partes distintas:

- Resultante das operações de exploração florestal;
- Proveniente da indústria transformadora de madeira.

A biomassa resultante das operações de exploração florestal são os resíduos deixados no local depois do abate das árvores, nomeadamente ramos e folhas, árvores mortas ou árvores sem valor comercial. Nalgumas ilhas, devido às características topográficas e de acessibilidades da floresta é tecnicamente e economicamente inviável remover os resíduos da floresta. Tal facto deve-se a problemas logísticos impossíveis de solucionar, nomeadamente acesso ao local onde estão os resíduos, para proceder ao seu carregamento e transporte. Portanto, não é realista assumir que será alcançada uma alta taxa de recuperação dos resíduos nas operações anuais de corte. Para os povoamentos que são explorados para produção de madeira irá assumir-se que

estes resíduos representam cerca de 25 % do total da biomassa, e destes, apenas se conseguirão recuperar numa percentagem de 60 %.

Por outro lado, a biomassa proveniente da indústria transformadora de madeira é composta por resíduos gerados pela indústria de serração e carpintarias. Os resíduos produzidos na indústria de serração são principalmente o serrim e as costaneiras (resíduos de 1ª transformação), ao passo que os resíduos provenientes de carpintarias e da indústria do mobiliário são compostos por fitas, serrim e retestos, sendo designados por resíduos de 2ª transformação.

Apresenta-se abaixo a Tabela 4.1 com estimativas de resíduos de biomassa resultantes de inquéritos feitos na indústria de 1ª e 2ª transformação no valor de 61 537 toneladas, sendo que a produção de resíduos de exploração para a Região Autónoma dos Açores é de 57 889 toneladas [47].

Tabela 4.1 – Estimativa de produção de resíduos de exploração e de 1ª e 2ª transformação [47]

Ilha	Resíduos de Exploração (ton/ano)	Resíduos de 1ª transformação (ton/ano)	Resíduos de 2ª transformação (ton/ano)
S. Maria	1867	500	62
S. Miguel	35588	49195	6340
Terceira	10356	3075	798
Pico	2671	816	122
Faial	5909	216	387
Flores	1498		26
RAA	57889	53802	7735

No que diz respeito à biomassa animal, o CBE (Centro da Biomassa para a Energia) estimou, para as ilhas de São Miguel e Terceira, em cerca de 130 milhões de litros os efluentes disponíveis por ano. No quadro abaixo regista-se a quantidade de litros disponíveis por dia e por espécie animal (Tabela 4.2) [47].

Tabela 4.2 – Quantidade de litros disponíveis por dia e por espécie animal, para as ilhas de São Miguel e Terceira [47]

Espécie	Quantidade (Litros/dia)
Suínos	219810
Aviários	13970
Bovinos	118728
Total	352508

A utilização da biomassa como fonte primária de energia torna-se um importante recurso endógeno a ter em conta, visto que contribui para reduzir as emissões de gases por efeito de

estufa, uma vez que as emissões de CO<sub>2</sub> são neutras no ponto de vista do ciclo de carbono do planeta, e ajudam a reduzir a dependência energética do exterior [47].

## 4.2. Evolução da população residente

### 4.2.1. Em Portugal Continental

Com os dados disponibilizados no INE (Instituto Nacional de Estatística) foi possível traçar o gráfico de população residente em Portugal Continental, representado na Figura 4.7, bem como a estimativa até ao ano 2030.

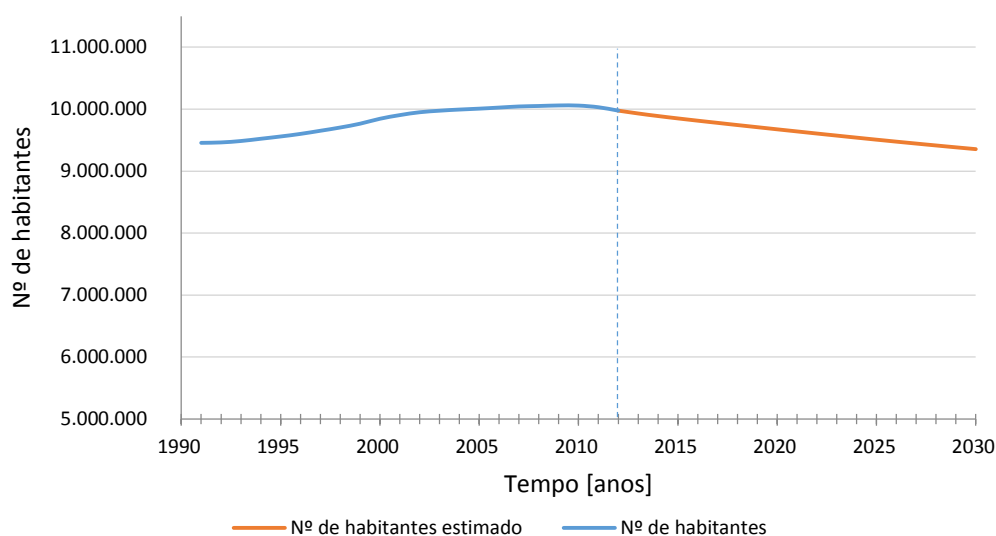


Figura 4.7 – Número de habitantes e habitantes estimados para Portugal Continental [48] [49]

### 4.2.2. Na Ilha Terceira

No caso da ilha Terceira não existem estimativas do número de residentes até 2030. Para contornar esse fato, e como existem estimativas de residentes para Região Autónoma dos Açores, foi utilizado os dados da Figura 4.8 e calculada a percentagem de residentes da Região Autónoma dos açores que pertence a ilha Terceira para cada ano e posteriormente faz-se a média, equação (4.1).

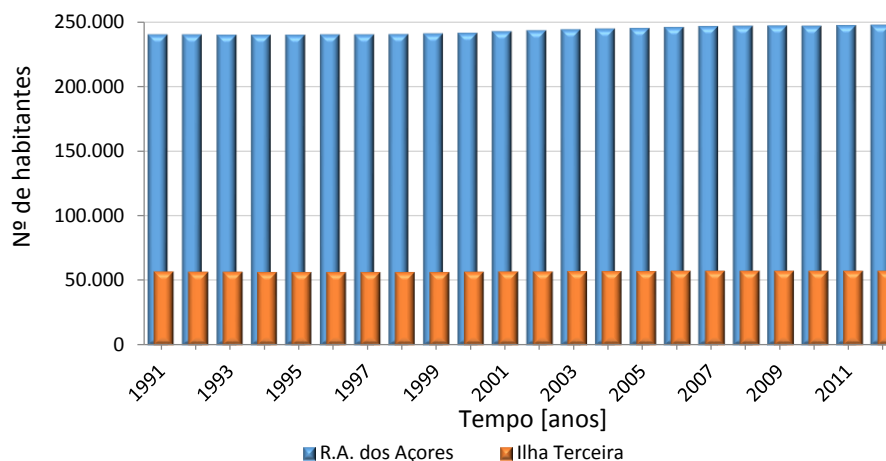


Figura 4.8 – Número de habitantes residentes na R.A. dos Açores e na ilha Terceira [48]

$$\%H = \sum_{t=1991}^{2012} \frac{H_{T_t} / H_{A_t}}{n} \quad (4.1)$$

Em que:

$\%H$  – Média da percentagem de número de habitantes da ilha Terceira em relação à Região Autónoma dos Açores;

$H_{T_t}$  – Número de habitantes da ilha Terceira para o ano  $t$ ;

$H_{A_t}$  – Número de habitantes da Região Autónoma dos Açores para o ano  $t$ ;

$t$  – Ano;

$n$  – Número de anos considerados.

Obteve-se então uma percentagem média de:  $\%H = 23,08 \%$ .

Com essa percentagem e a partir das estimativas para a Região Autónoma dos Açores foi calculada a população residente na ilha Terceira como 23,08 % da população total dos Açores, representada na Figura 4.9.

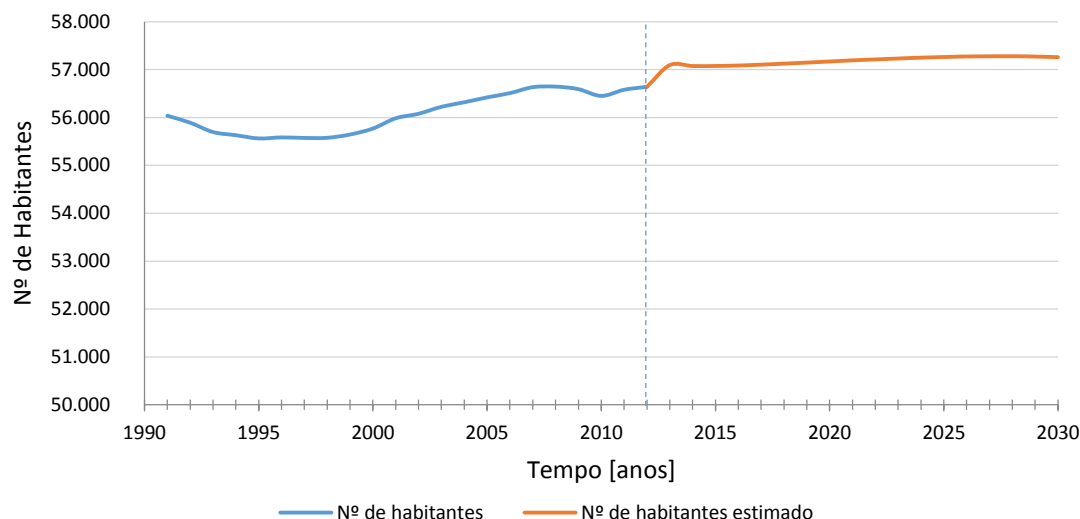


Figura 4.9 – Número de habitantes e habitantes estimados para a ilha Terceira [48] [49]

### 4.3. Evolução dos Preços

#### 4.3.1. Eletricidade

Como não existiam estimativas do preço da eletricidade, a partir dos preços da Figura 3.26 traçou-se uma linha de tendência entre os anos 2003 e 2009, esta equação da linha de tendência é apresentada na Figura 4.10.

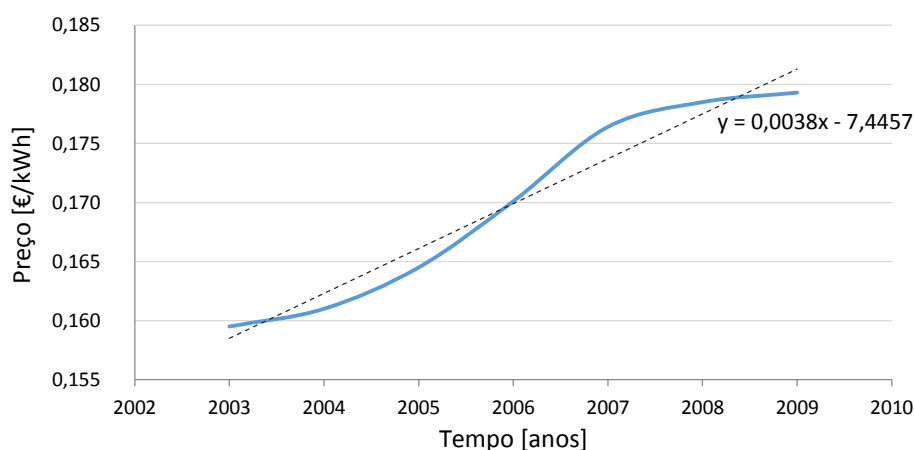


Figura 4.10 – Tendência do preço da eletricidade

Supôs-se então que a partir do ano de 2013 e até 2030 o preço da eletricidade seguirá a mesma tendência do gráfico anteriormente mostrado. A previsão da evolução do preço da eletricidade é mostrada na Figura 4.11.

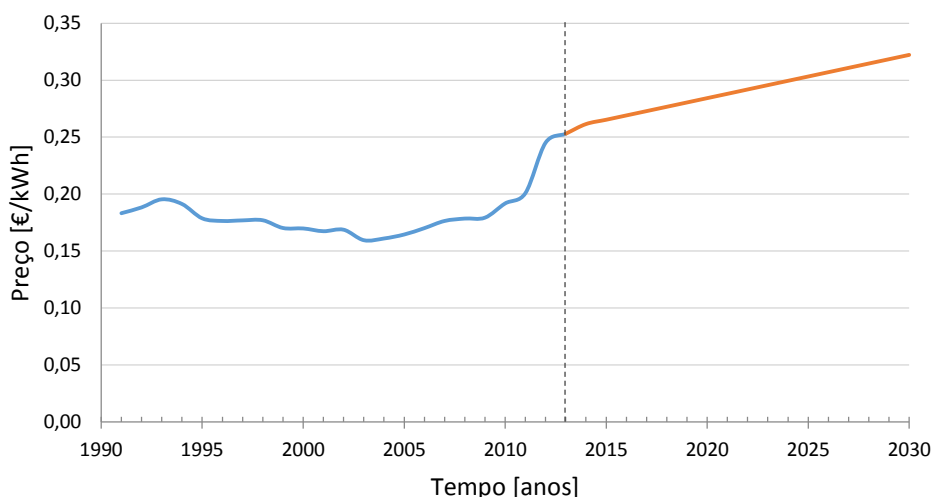


Figura 4.11 – Evolução do preço da eletricidade

### 4.3.2. Combustíveis fósseis

Como apenas existem estimativas do preço do petróleo, representado na Figura 4.12, foi a partir desse preço que as estimativas para os seus derivados foram calculados.

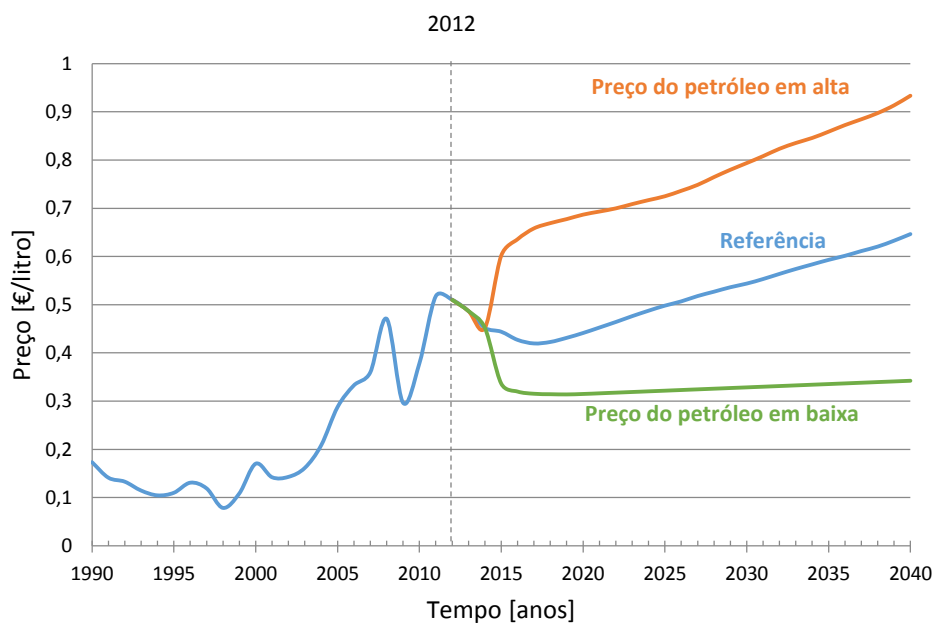


Figura 4.12 – Preço médio para o petróleo, baseado em [50]

Começou-se por fazer a diferença entre o preço dos derivados do petróleo e o preço do petróleo para cada ano ate 2012, representado na Figura 4.13. Em seguida traçou-se uma linha de tendência para cada tipo de combustível, também presente na mesma figura.

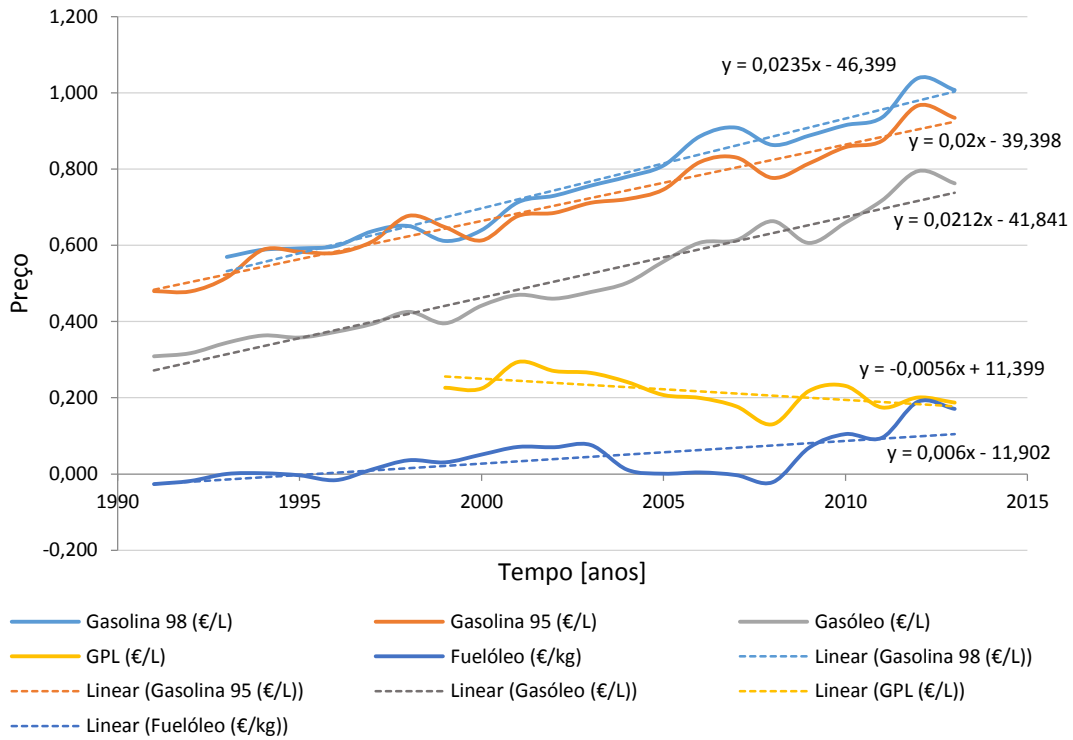


Figura 4.13 – Tendências das diferenças entre o preço do petróleo e dos seus derivados

Para estimar o valor de cada combustível para todos os anos até 2030, teve-se por base o preço do petróleo e adicionou-se o valor da tendência de cada combustível para o respetivo ano. Obtendo-se assim a Figura 4.14.

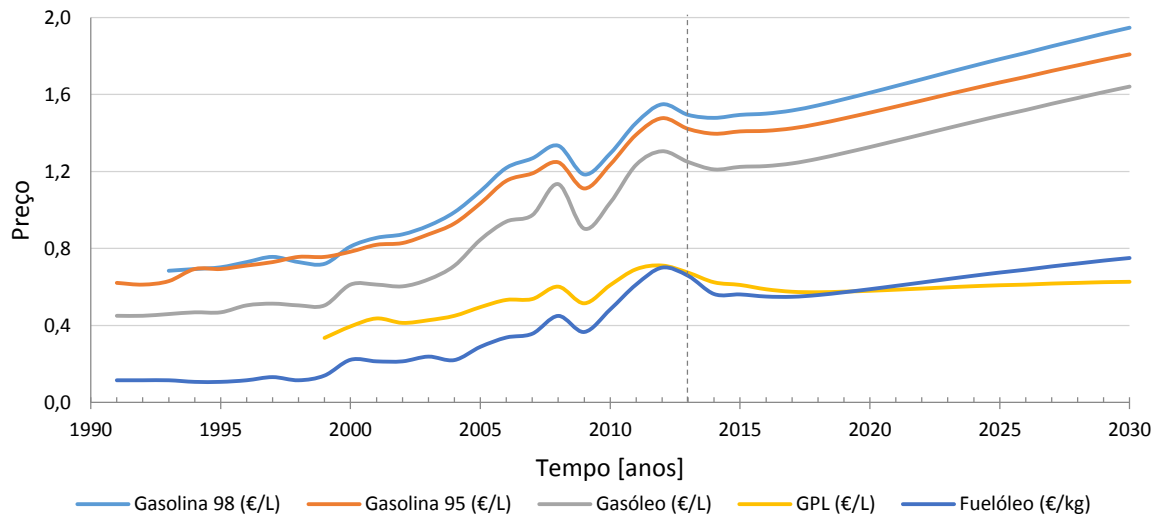


Figura 4.14 – Evolução dos preços dos derivados do petróleo

### 4.4.3. Emissões de CO<sub>2</sub>

Com os valores existentes para o preço das emissões de CO<sub>2</sub> eram apenas para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030 traçou-se uma polinomial de quarto grau para se obter os restantes valores entre 2015 e 2030, como é possível observar na Figura 4.15.

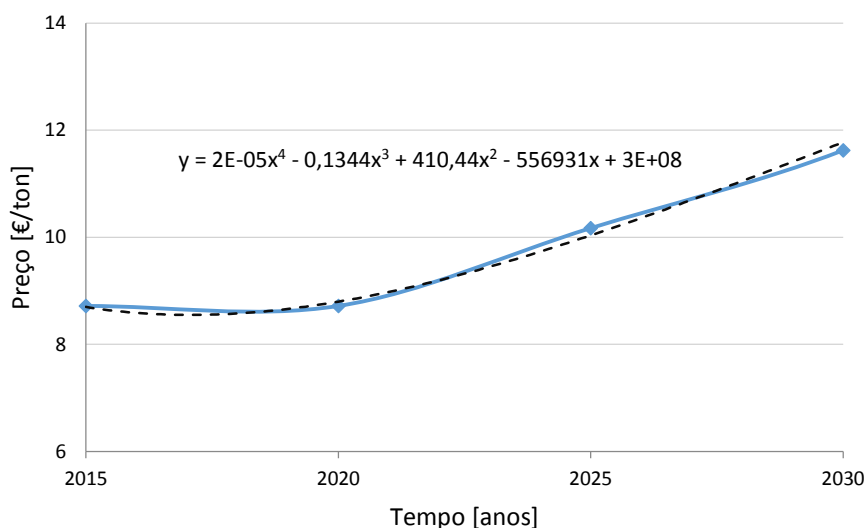


Figura 4.15 – Evolução do Preço das emissões de CO<sub>2</sub> [51]

## 4.5. Sector automóvel

### 4.5.3. Evolução do parque automóvel

Para modelar a evolução da frota de automóveis ligeiro, tanto em Portugal Continental como na ilha Terceira, foi calculada em primeiro lugar a densidade de veículos (numero de veículos por cada 1000 habitantes), utilizando o número de veículos do ponto 3.3 e o número de habitantes do ponto 4.2.

$$f_t = \frac{N_{ct} \times 1000}{H_{xt}} \quad (4.2)$$

Com:

$f_t$  – Número de veículos ligeiros por 1000 habitantes com valores reais para o ano t;

$N_{ct}$  – Número de veículos ligeiros de passageiros para o ano t;

$H_{xt}$  – Número de habitantes para o local x para o ano t, com x igual a ilha Terceira ou Portugal Continental.

Como os dados disponibilizados do parque automóvel da ilha Terceira são insuficientes, partiu-se dos dados de Portugal Continental e assumiu-se que o comportamento do parque da ilha Terceira é idêntico mas com 10 anos de atraso, como se pode observar na Figura 4.16. e na Figura 4.17.

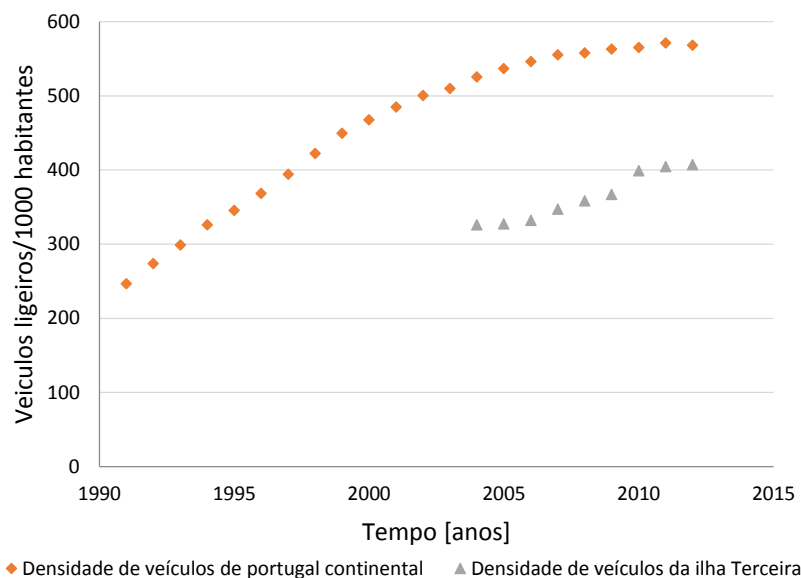


Figura 4.16 - Evolução da densidade de veículos em Portugal Continental e na ilha Terceira

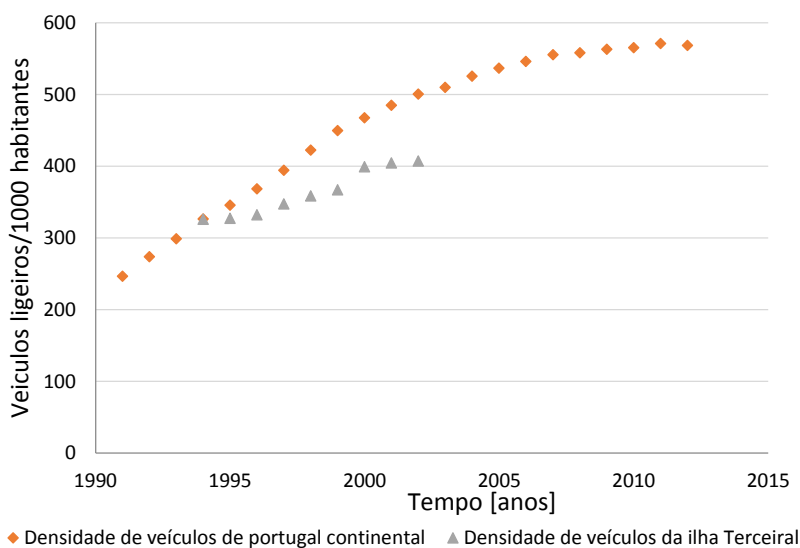


Figura 4.17 – Evolução da densidade de veículos em Portugal Continental e com translação da densidade de veículos da ilha Terceira

A fórmula matemática para estimar a densidade de veículos foi uma função Gompertz, cuja fórmula adaptada é representada pela equação (4.3).

$$VD_t = c + (S - c) \cdot e^{-e^{-b(t-a)}} \quad (4.3)$$

Em que:

$VD_t$  – Densidade de veículos para o ano  $t$ ;

$S$  – Ponto de saturação;

$a$  – Ponto de inflexão da curva no eixo do tempo;

$b$  – Parâmetro de escala;

$c$  – Translação na curva no eixo do  $y$ ;

$t$  – Tempo em anos.

Por forma a ter-se um bom ajuste da curva de densidade dos veículos aos valores reais utilizou-se o método dos mínimos quadrados com a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \min \sum (f_t - VD_t)^2 \\ \text{s. a.} \quad a \geq 0 \\ \quad \quad b \geq 0 \\ \quad \quad c \geq 0 \\ \quad \quad S \geq 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Para apurar se a função de Gompertz está bem ajudada a densidade de veículos existentes foi calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com a seguinte fórmula:

$$R^2 = \left( \frac{\sum ((f_t - \bar{f}) \cdot (VD_t - \overline{VD}))}{\sqrt{(\sum (f_t - \bar{f})^2) \cdot (\sum (VD_t - \overline{VD})^2)}} \right)^2 \quad (4.5)$$

Com:

$R^2$  – Coeficiente de determinação;

$\bar{f}$  – Número de veículos ligeiros de passageiros por 1000 habitantes com valores reais médio;

$\overline{VD}$  – Densidade média de veículos.

Estimou-se assim que o parque automóvel de veículos ligeiros por cada 1000 habitantes em Portugal Continental, pode ser representado por uma função de Gompertz com os parâmetros utilizados na Tabela 4.3. e com um coeficiente de determinação de 0,999, representado na Figura 4.18.

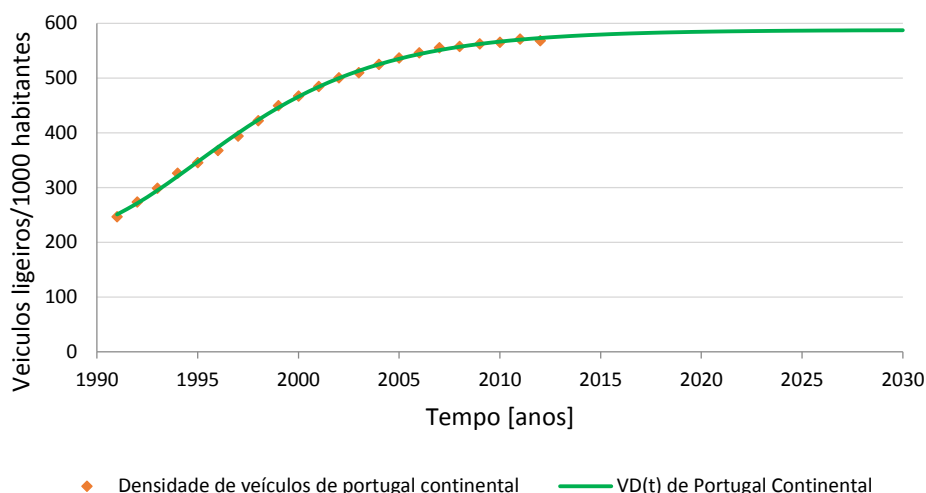


Figura 4.18 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental

Tabela 4.3 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos de Portugal Continental

S	587,78
a	1994,96
b	0,19
c	205,28
R <sup>2</sup>	0,999

A partir da curva de evolução do parque automóvel de Portugal foram criados três cenários para a evolução do parque de automóveis ligeiros da ilha Terceira. O primeiro cenário, o otimista, representado na Figura 4.19 e com os parâmetros da curva de Gompertz na Tabela 4.4, em que é assumido que a densidade de veículos da ilha Terceira vai tender para a mesma que no Continente.

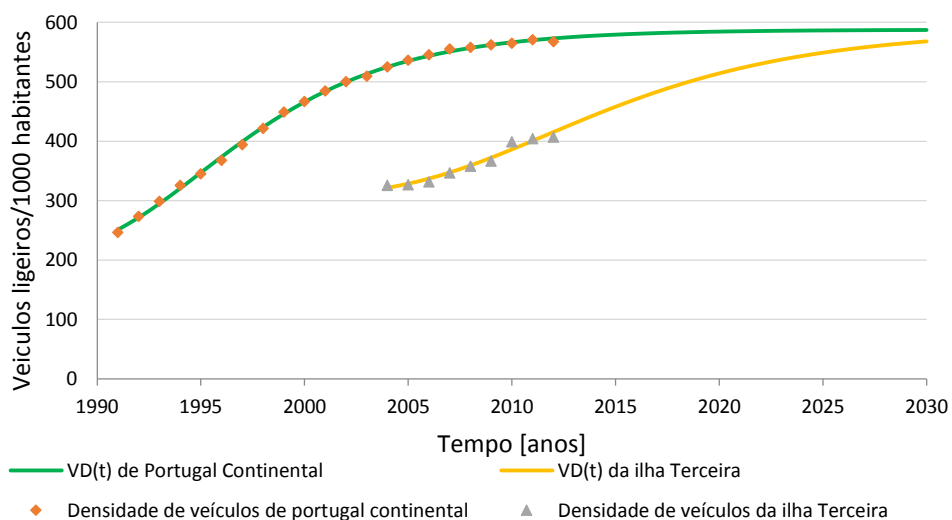


Figura 4.19 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário otimista para a ilha Terceira

Tabela 4.4 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário otimista para a ilha Terceira

S	587,78
a	2011,69
b	0,14
c	308,02
R <sup>2</sup>	0,964

O segundo cenário a ser construído foi o cenário pessimista, em que tendo em conta que o parque automóvel da terceira está 10 anos em atraso relativamente ao Continente e com uma densidade 20% inferior no último ano considerado em relação ao Continente, foi traçada uma curva a tender para 80% da densidade de veículos prevista para Portugal. Este segundo cenário pode ser observado na Figura 4.20 e com os seus parâmetros na Tabela 4.5.

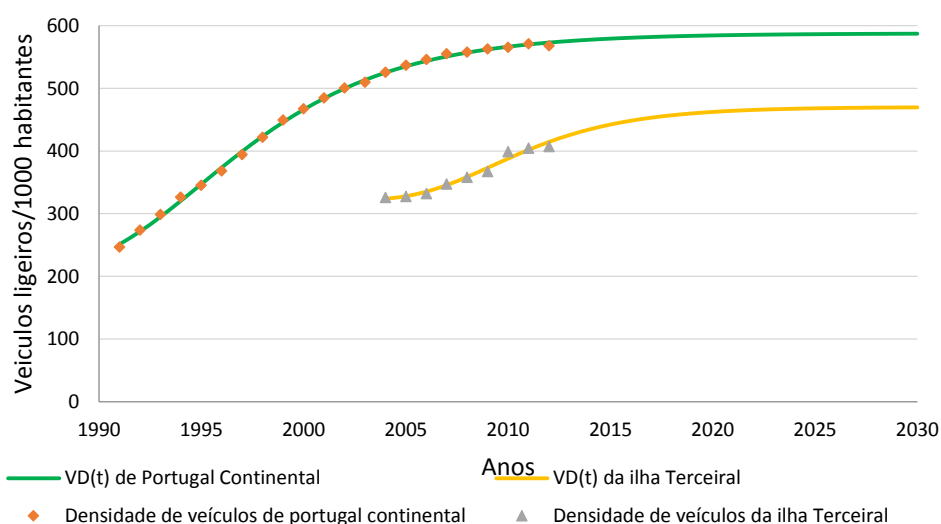


Figura 4.20 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário pessimista para a ilha Terceira

Tabela 4.5 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário pessimista para a ilha Terceira

S	470,22
a	2009,19
b	0,27
c	321,18
R <sup>2</sup>	0,964

O terceiro cenário, o cenário de referência, visível na Figura 4.21 e com parâmetros na Tabela 4.6, foi traçado no meio dos dois anteriores, tendendo para 90 % da densidade de veículos de Portugal.

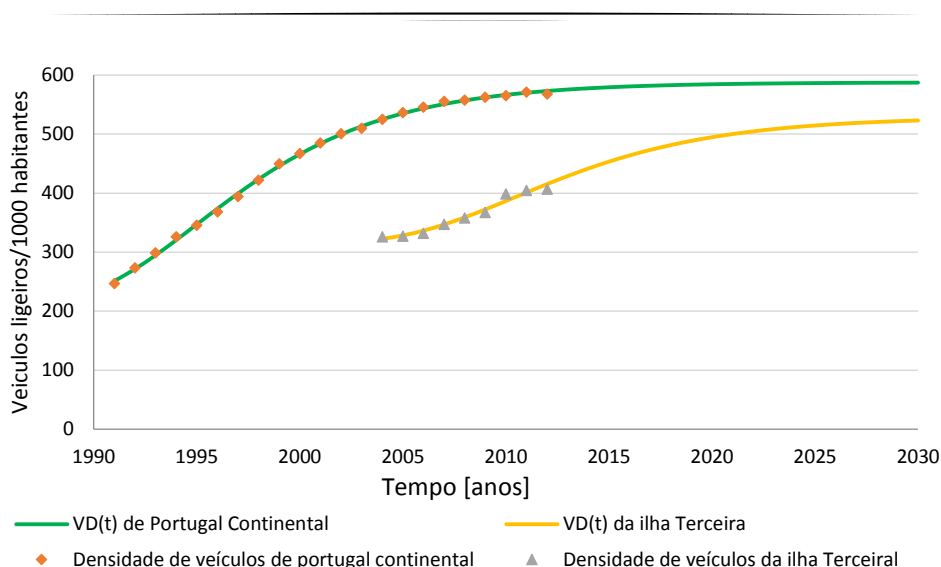


Figura 4.21 – Veículos ligeiros de passageiros/1000 habitantes em Portugal Continental e cenário de referência para a ilha Terceira

Tabela 4.6 – Parâmetros da função Gompertz para a densidade de veículos do cenário de referência para a ilha Terceira

S	529,00
a	2010,45
b	0,18
c	314,19
R <sup>2</sup>	0,967

Depois de saber a evolução total do parque de automóvel de veículos ligeiros é necessário saber a sua composição, e como esses dados não são disponibilizados foram estimados. Começou-se por fazer as vendas acumuladas de veículos ligeiros por cada tipo de combustível, como se pode ver na Figura 4.22 e Figura 4.23 para a penetração dos veículos a gasóleo e gasolina respetivamente.

$$V_{acum_t} = V_{acum_{t-1}} + V_t \tag{4.6}$$

Onde:

$V_{acum_t}$  – Vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t;

$V_{acum_{t-1}}$  – Vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t-1;

$V_t$  – Vendas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t;

$$\%V_{acum_t} = \frac{V_{acum_t}}{V_{acum\_total_t}} \tag{4.7}$$

Em que:

$\%V_{acum_t}$  – Percentagem de vendas acumuladas de veículos ligeiros por tipo de combustível no ano t;

$V_{acum\_totalis_t}$  – Vendas acumuladas de veículos ligeiros de todos os tipos de combustíveis no ano t;

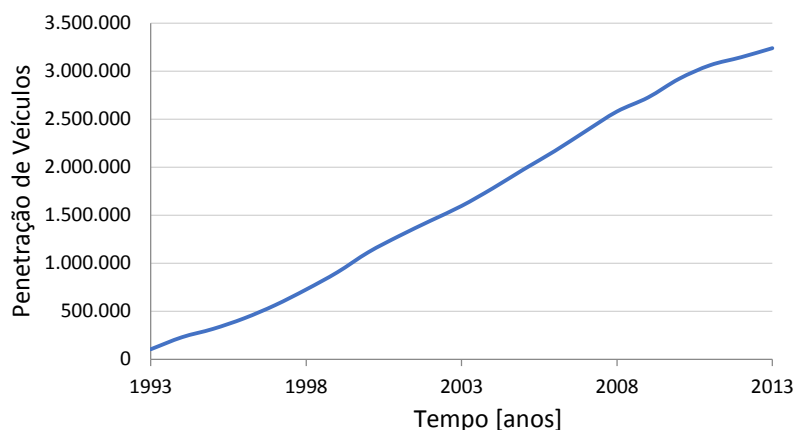


Figura 4.22 – Penetração de veículos a gasóleo

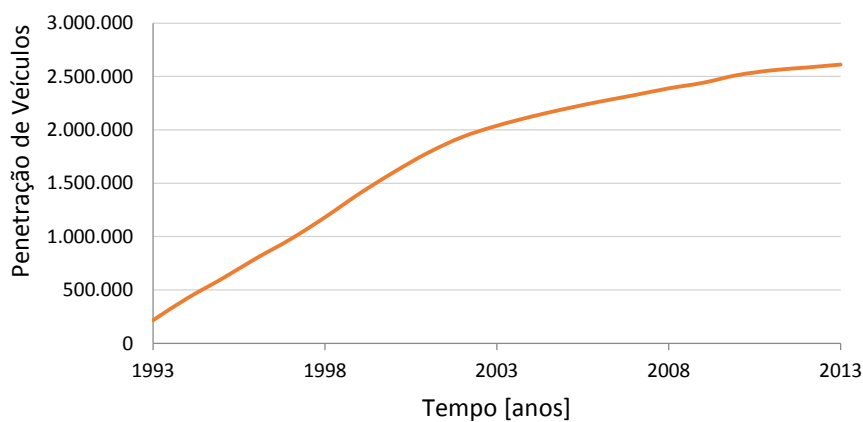


Figura 4.23 – Penetração de veículos a gasolina

De seguida calculou-se a percentagem dos veículos de cada tipo de combustível relativamente às vendas totais acumuladas, como se pode ver na Figura 4.24 e Figura 4.25 para a percentagem de veículos ligeiros a gasóleo e gasolina respetivamente.

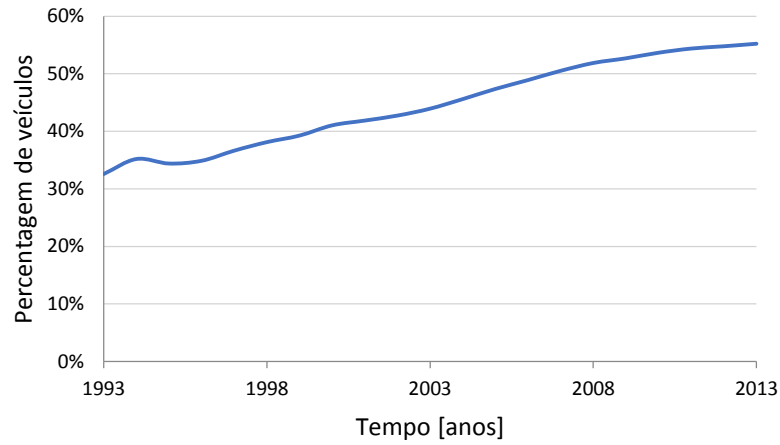


Figura 4.24 – Percentagem de veículos a gasóleo

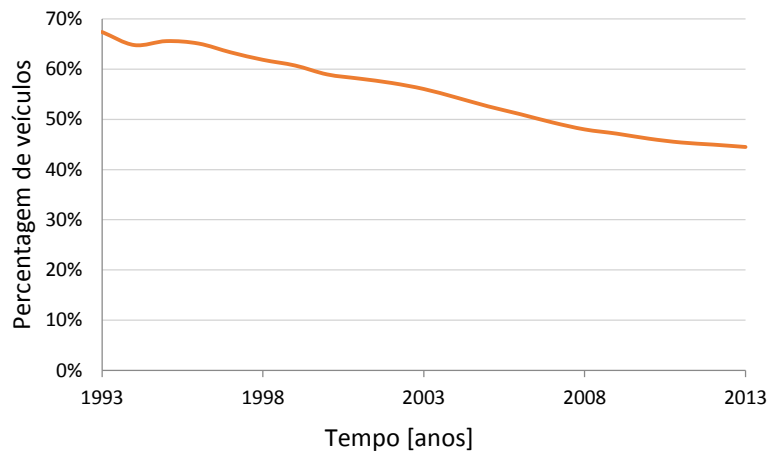


Figura 4.25 – Percentagem de veículos a gasolina

Com todas as percentagens calculadas entre os anos de 1993 a 2013, como se pode ver na Figura 4.26, assumiu-se que todo o parque existente tanto do Continente como da ilha Terceira ao longo destes anos segue estas percentagens.

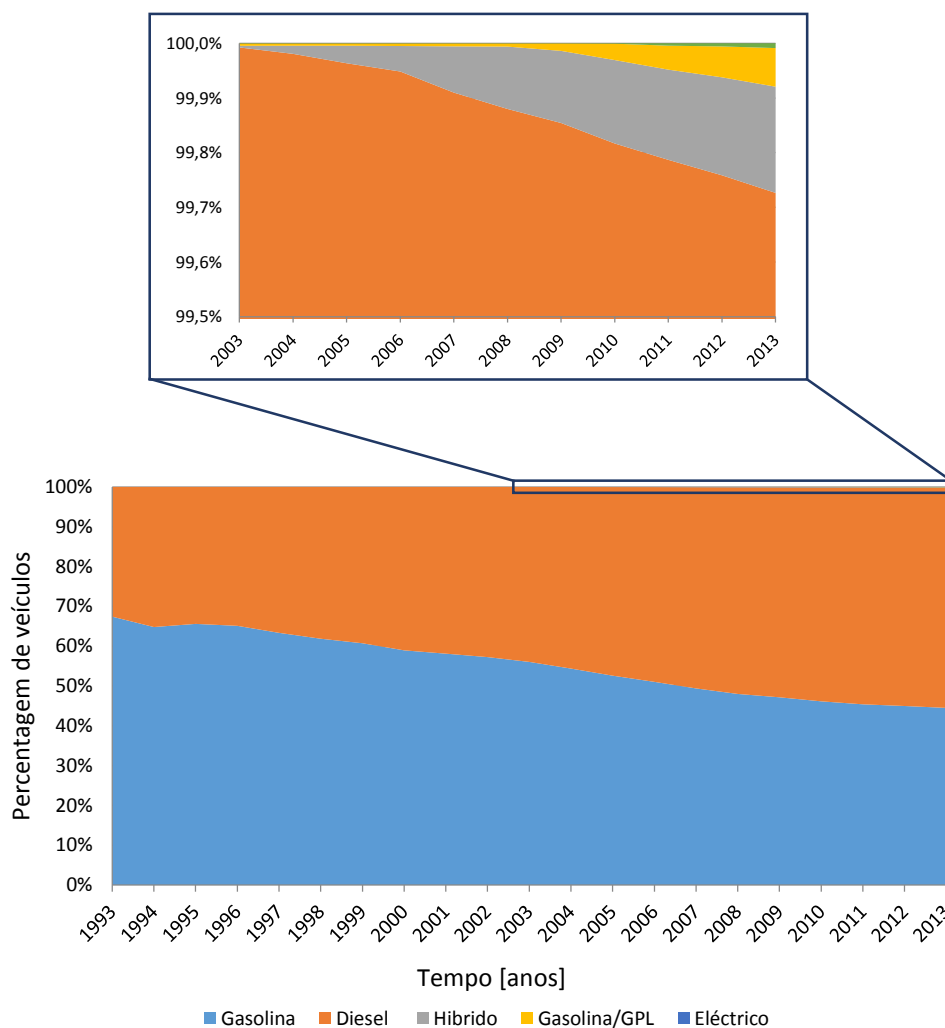


Figura 4.26 – Percentagem dos veículos por tipo de combustível

Como é necessário saber a percentagem de veículos por cada tipo de combustível até ao ano de 2030, utilizou-se a função de Gompertz (FG) para fazer uma estimativa das percentagens que cada tipo de veículos irá ter, com os parâmetros utilizados na Tabela 4.7 e representado na Figura 4.27 para os veículos ligeiros a gasóleo e na Tabela 4.8 e mostrado na Figura 4.28 para os veículos a gasolina.

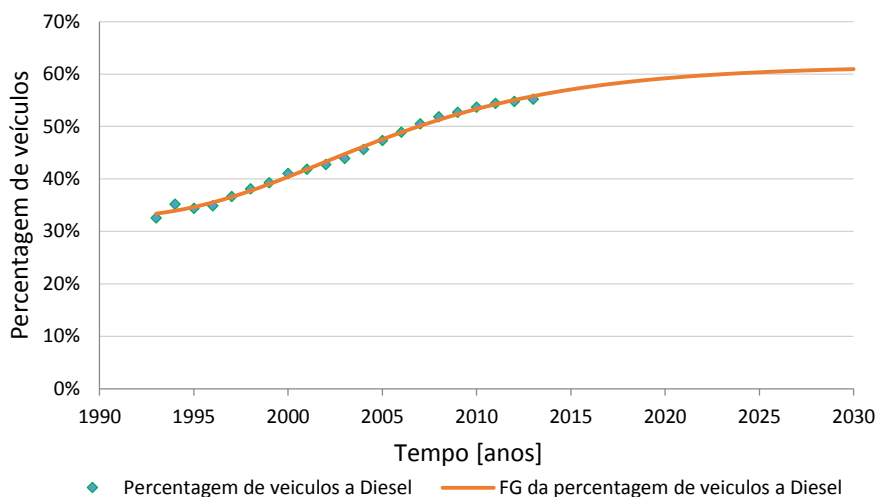


Figura 4.27 – Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasóleo

Tabela 4.7 – Parâmetros da função Gompertz para a percentagem de veículos a gasóleo

S	0,62
a	2001,86
b	0,14
c	0,32
R <sup>2</sup>	0,995

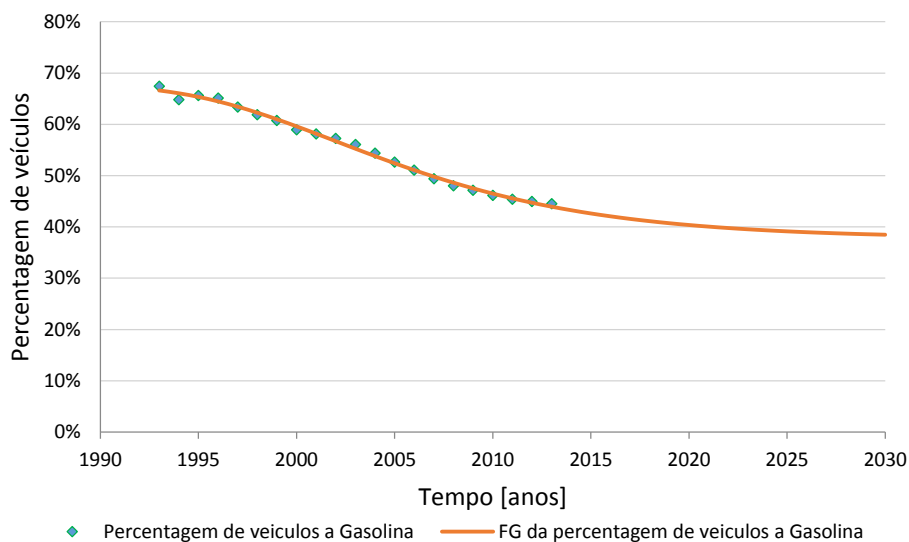


Figura 4.28 – Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasolina

Tabela 4.8 – Parâmetros da função Gompertz para a percentagem de veículos a gasolina

S	0,38
a	2002,03
b	0,13
c	0,68
R <sup>2</sup>	0,995

Na Figura 4.29 são mostradas todas as porcentagens para todos os veículos consoante o seu combustível ate ao ano de 2030.

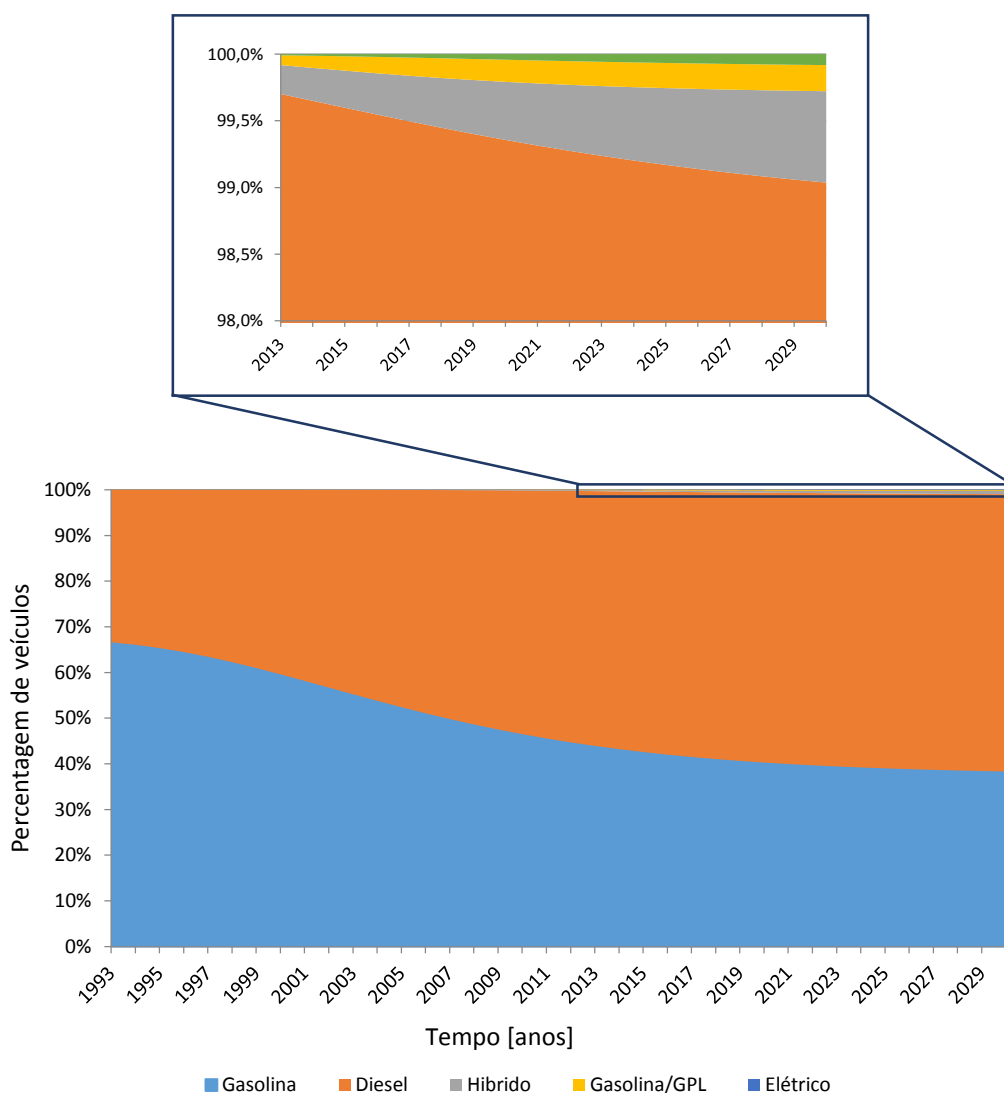


Figura 4.29 – Percentagem dos veículos por tipo de combustível até 2030

Para a ilha Terceira segundo o “PLANO DE AÇÃO PARA A ENERGIA SUSTENTÁVEL” [4] são previstos 2000 veículos elétricos para o ano de 2020. Considerou-se então que a penetração de veículos elétricos seguirá a mesma tendência da penetração dos veículos ligeiros a gasóleo e que o cenário de referência no ano de 2020 vai ter 2000 veículos.

Para o cenário otimista considerou-se que a taxa de penetração de veículos elétricos será 50 % superior ao cenário de referência e o cenário pessimista 50 % inferior. Tendo assim em 2030 uma frota de veículos elétricos de 7,2 %, 14,4 % e 21,7 % para os cenários pessimista, referencia e otimista respetivamente, como se pode observar na Figura 4.30 e na Figura 4.31 pode-se verificar o número de veículos elétricos para cada cenário.

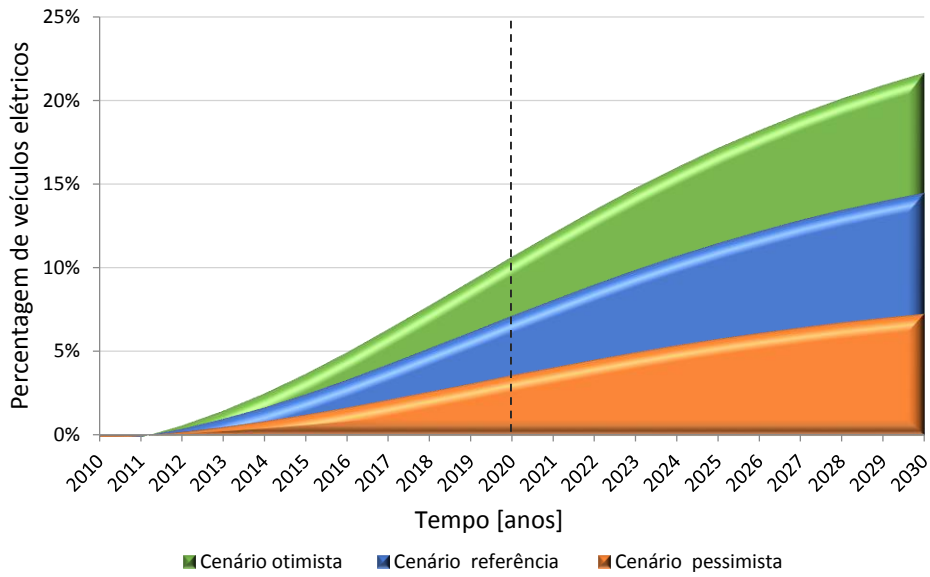


Figura 4.30 – Cenário otimista, referência e pessimista de penetração de veículos elétricos

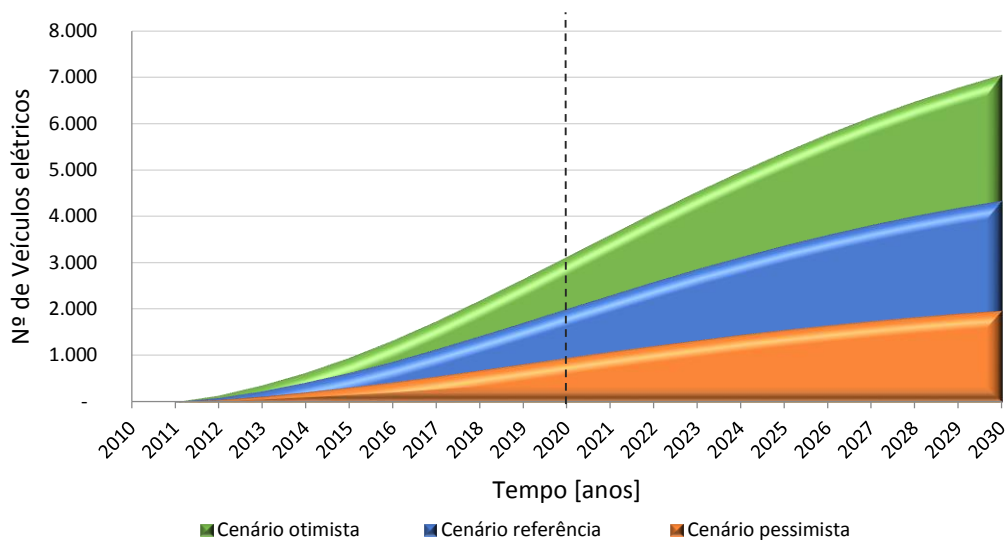


Figura 4.31 – Número de veículos elétricos para os cenários otimista, referência e pessimista para a ilha Terceira

Tendo em consideração a nova penetração de veículos elétricos, para o cenário de referência, tem-se assim, como demonstrado na Figura 4.32, a distribuição do parque automóvel de veículos ligeiros da ilha Terceira.

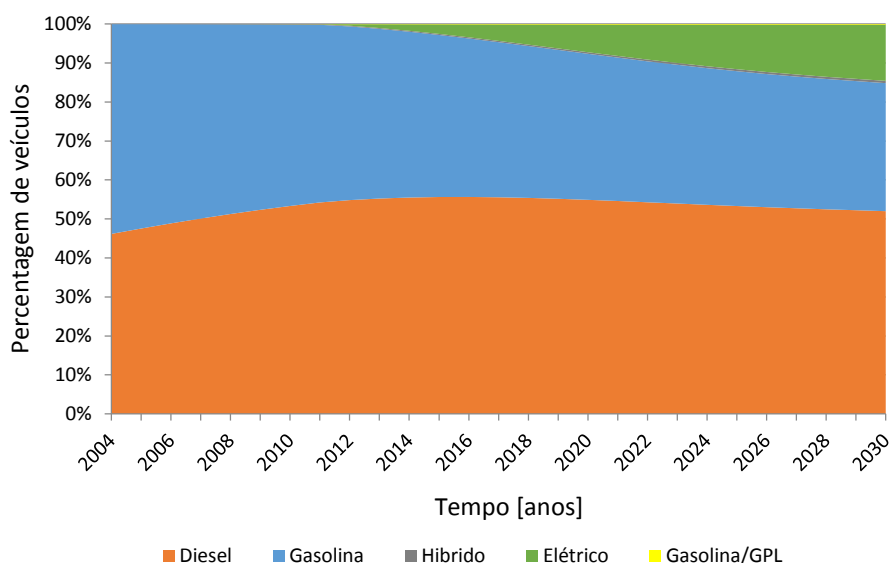


Figura 4.32 – Cenário referência para a frota de veículos ligeiros da ilha Terceira

Considerando o cenário de referência da densidade de veículos por cada 1000 habitantes até 2030, a estimativas de residentes para o mesmo período e o cenário de referência para a distribuição da frota de veículos ligeiros foi possível obter a Figura 4.33 em que é mostrado por tipo de combustível utilizado nos veículos o seu número.

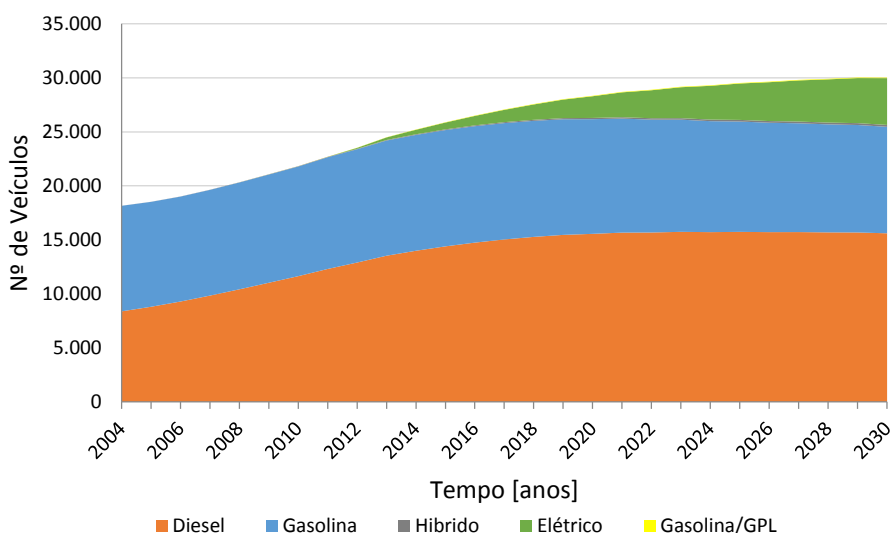


Figura 4.33 – Parque de automóveis ligeiros do cenário referência para ilha Terceira

#### 4.5.4. Veículos elétricos

##### 4.5.4.1. Perfil de carregamento

Para se poder ver o impacto dos veículos elétricos nos diagramas de carga é necessário saber quando e quantos veículos elétricos estarão a carregar em cada momento.

Como a maior parte das deslocações realizadas por grande parte da frota de veículos ligeiros de passageiros é casa-trabalho será supostamente nesses locais que os veículos irão realizar grande parte do seu carregamento, maioritariamente em casa.

Baseado nos perfis carregamento de [52] [53] e tendo em conta a distribuição normal em (4.8) foram criados três cenários de carregamento de veículos elétricos.

$$N(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.8)$$

Com:

$N(x|\mu, \sigma)$  – Distribuição normal;

$\sigma$  – Média da curva normal;

$\mu$  – Desvio padrão.

- **Cenário 1 – Carregamento não controlado**

Este cenário supõe que a maioria dos veículos são carregados em casa, de modo não controlado. O início dos carregamentos acontece quando as pessoas chegam a casa e pára quando a bateria está carregada. Este cenário não tem qualquer controlo inteligente de carregamento, nem incentivos no carregamento no vazio. O perfil de carregamento é indicado na Figura 4.34.

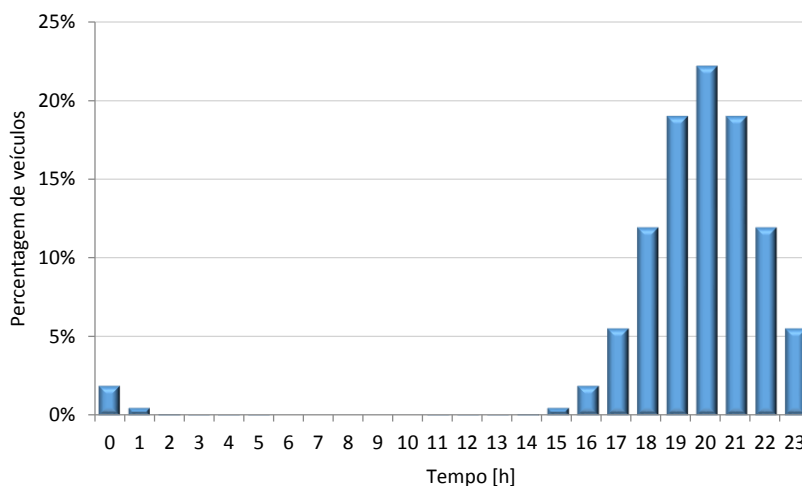


Figura 4.34 – Carregamento não controlado, com  $\mu = 20h$  e  $\sigma = 1,8$

• **Cenário 2 – Carregamento no vazio**

Semelhante ao primeiro cenário, mas com os carregamentos nas horas de vazio. O horário de vazio da Região Autónoma dos Açores em que a tarifa de eletricidade é mais barata, incentivando assim as pessoas a carregar os seus veículos, é entre as 22 e as 8 horas [54], representado na Figura 4.35.

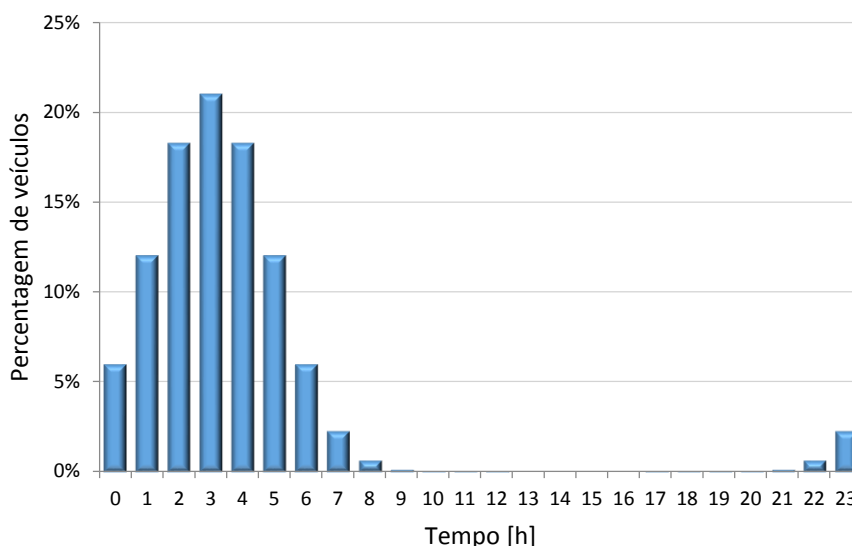


Figura 4.35 – Carregamento no vazio, com  $\mu = 3h$  e  $\sigma = 1,9$

• **Cenário 3 – Carregamento controlado**

O cenário de carregamento controlado pressupõe a existência de uma rede inteligente, rede essa que ligará os veículos elétricos, para o carregamento à rede, quando a carga restante for mais pequena e com o intuito de um alisamento da carga.

Em seguida é mostrado os cálculos efetuados para a determinação da potência de carregamento de veículos elétricos em cada hora.

- Em primeiro lugar a carga é ordenada por ordem crescente de modo a ser mais fácil a distribuição dos carregamentos de veículos elétricos.
- Em seguida é utilizado o solver para fazer a distribuição dos carregamentos com o alisamento da carga como é mostrado em seguida:

$$\sum_{i=0}^{23} E_{med_{t_i}} = E_{med_t} \quad (4.9)$$

s. a.

$$\begin{aligned}
 & maior(carga(4^a)_0; carga(sab)_0; carga(dom)_0) + E_{med_{t_0}} \\
 & \quad = maior(carga(4^a)_1; carga(sab)_1; carga(dom)_1) + E_{med_{t_1}} \\
 & maior(carga(4^a)_1; carga(sab)_1; carga(dom)_1) + E_{med_{t_1}} \\
 & \quad = maior(carga(4^a)_2; carga(sab)_2; carga(dom)_2) + E_{med_{t_2}} \\
 & \quad \dots \\
 & maior(carga(4^a)_{22}; carga(sab)_{22}; carga(dom)_{22}) + E_{med_{t_{22}}} \\
 & \quad = maior(carga(4^a)_{23}; carga(sab)_{23}; carga(dom)_{23}) \\
 & \quad + E_{med_{t_{23}}}
 \end{aligned}$$

Ou seja:

$$\sum_{i=0}^{23} E_{med_{t_i}} = E_{med_t}$$

s. a.

$$\begin{aligned}
 & maior(carga(4^a)_i; carga(sab)_i; carga(dom)_i) + E_{med_{t_i}} \\
 & \quad = maior(carga(4^a)_{i+1}; carga(sab)_{i+1}; carga(dom)_{i+1}) \\
 & \quad + E_{med_{t_{i+1}}}
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

É utilizado  $maior(carga(4^a)_i; carga(sab)_i; carga(dom)_i)$  pois está-se a tentar satisfazer sempre a maior carga independente do dia da semana, ficando assim os outros dias assegurados. No caso das equações (4.9) e (4.10) a hora 0 não coincide com a hora zero do diagrama de carga mas sim com a hora de mais baixa carga.

#### 4.5.4.2. Energia média consumida

Para determinar a energia média diária necessária para o carregamento de veículos elétricos teve-se em conta o consumo medio dos veículos elétricos mais vendidos nos dois primeiros meses de 2014, Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Características dos veículos mais vendidos nos 2 primeiros meses de 2014, [55] [56] [57] [58] [59]

Modelo	Nº de veículos vendidos	Capacidade da Bateria (kWh)	Carga máxima (kW)	Autonomia (km)	Tempo carregamento (h)	Tensão (V)
BMW i3	13	18,5	3,7	145	8	230
Nissan Leaf	7	24	3,6	160	8	230
Renault Zoe	5	22	3	125	9	230
Smart Fortwo	3	17,6	3,3	145	7	230

Podendo o consumo ser calculado da seguinte forma:

$$C_{VE} = \frac{\text{Capacidade} \times 100}{\text{Autonomia}} \quad (4.11)$$

Em que:

$C_{VE}$  – Consumo do veículo elétrico por cada 100 km;

Tabela 4.10 – Consumo dos veículos elétricos por cada 100km

Modelo	Consumo (kWh/100km)
BMW i3	12,97
Nissan Leaf	15,00
Renault Zoe	17,60
Smart Fortwo	12,14

Determinado o consumo de cada veículo elétrico, Tabela 4.10, calculou-se o consumo médio com a seguinte expressão:

$$\bar{C}_{VE} = \frac{\sum_{j=1}^m (N_{VEj} \cdot C_{VEj})}{\sum_{j=1}^m N_{VEj}} \quad (4.12)$$

Onde:

$\bar{C}_{VE}$  – Consumo médio de um veículo elétrico por cada 100 km;

$m$  – Número de modelos de veículos elétricos;

$j$  – Modelo do veículo elétrico;

$N_{VEj}$  – Número de veículos elétricos  $j$  vendidos;

$C_{VEj}$  – Consumo do veículo elétrico  $j$  por cada 100 km.

Substituído o consumo de cada veículo e o número de unidades vendidas obtém-se assim o consumo médio por cada 100 km.

$$\bar{C}_{VE} = \frac{13 \times 12,76 + 7 \times 15 + 5 \times 17,60 + 3 \times 12,14}{13 + 7 + 5 + 3} = 14,21 \text{ kWh/100km}$$

O consumo médio dos veículos elétricos representa a energia a energia gasta em média por cada 100 km, mas não traduz a energia consumida da rede elétrica. Para determinar a energia

média diária necessária para o carregamento de veículos elétricos tem de se ter em conta a performance da bateria, a distância diariamente percorrida e as perdas nas linhas.

Nas recentes pesquisas nacionais de vários países europeus estimou-se que a distância média diária percorrida de carro são 27 km [60]. Tomando esse valor em consideração e assumindo que a energia disponível na bateria representa 80 % da energia necessário para o carregamento da mesma tem-se que:

$$E_{med} = \frac{\bar{C}_{VE}}{Perf_{bat}} \cdot \frac{D_{med}}{100} \quad (4.13)$$

Onde:

$E_{med}$  – Energia média diária necessária para o carregamento de um veículo elétrico (kWh);

$Perf_{bat}$  – Performance da bateria;

$D_{med}$  – Distância média diariamente percorrida (km).

Substituindo obtém-se:

$$E_{med} = \frac{14,21}{0,8} \times \frac{27}{100} = 4,80 kWh$$

Considerando as perdas de 10% nas linhas, obtém-se a energia média diária necessária para um veículo elétrico:

$$E_{med_t} = \frac{E_{med}}{1 - p_l} \quad (4.14)$$

Em que:

$E_{med_t}$  – Energia média diária total necessária para o carregamento de um veículo elétrico (kWh);

$p_l$  – Perdas nas linhas.

Substituindo obtém-se:

$$E_{med_t} = \frac{4,80}{1 - 0,1} = 5,33 kWh$$

Para obter a energia média para cada hora do diagrama de carregamento para todos os veículos elétricos que estão a carregar nessa hora pode-se calcular da seguinte forma:

$$E_{med_{t_i}} = E_{med_t} \cdot N_{VE_t} \cdot \%C_i \quad (4.15)$$

Em que:

$E_{med_{t_i}}$  – Energia média diária total necessária para o carregamento de um veículo elétrico na hora  $i$  (kWh);

$N_{VE_t}$  – Numero total de veículos;

$\%C_i$  – Percentagem da energia diária de carregamentos da frota de veículos elétricos na hora  $i$ .

Na figura seguinte pode-se observar o diagrama de carregamento para o cenário de referência com o carregamento efetuado no vazio para o ano de 2030.

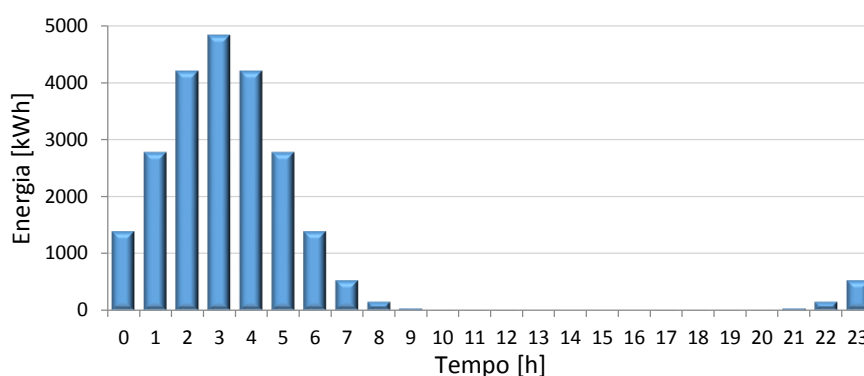


Figura 4.36 – Diagrama de carregamento para o cenário de referência com carregamento em vazio para 2030

## 4.5.5. Veículos de combustão interna

### 4.5.5.1. Consumo e emissões médias

Para Região Autónoma dos Açores não existe informações disponíveis sobre a composição do parque automóvel existente, nem sobre a venda de veículos ligeiros em relação a marca, modelo nem tipo de combustível utilizado. Com base nas tabelas Tabela 4.11 e Tabela 4.12 foi calculado o consumo e emissões de CO<sub>2</sub> médios para os veículos consoante o tipo de combustível utilizado.

Tabela 4.11 – Consumo médio e emissões de CO<sub>2</sub> por categoria de veículo [61]

Categoria de veículo	Gasolina		Gasóleo		Híbrido	
	l/100 km	g/km	l/100 km	g/km	l/100 km	g/km
Económico	5,1	121	4,3	111	0	0
Compacto	6	139	4,5	114	0	0
Familiar pequeno	7,2	163	5	130	4,3	100
Familiar médio	8,2	189	5,7	148	0	0
Familiar grande	9,4	219	6,2	161	7,6	180
Monovolume	9,2	190	6,3	159	0	0
Executivo	12,2	191	7,4	111	9,5	221
SUV	9,6	225	7,1	187	8,2	193

Tabela 4.12 – Percentagem de veículos vendidos por segmento e combustível em 2009 [61]

Veículo	Gasolina	Gasóleo	Híbrido
Económico	16%	2,80%	0,00%
Compacto	64,10%	20,40%	26,50%
Familiar pequeno	14,70%	42,80%	68,50%
Familiar médio	1,80%	18%	0,00%
Familiar grande	0,10%	3,60%	1,40%
Monovolume	0,50%	0,50%	0,80%
Executivo	0,90%	4,60%	2,70%
SUV	1,70%	7,20%	0,00%

Para determinar o consumo médio e as emissões para cada tipo de combustível foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\bar{C}_z = \sum_{s=1}^S C_{z_s} \cdot \%V_{z_s} \quad (4.16)$$

Em que:

$\bar{C}_z$  – Consumo médio para o tipo de combustível z;

$C_{z_s}$  – Consumo para o tipo de combustível z do segmento s;

$\%V_{z_s}$  – Percentagem de vendas do tipo de combustível z do segmento s;

s – Tipo de segmento;

S – Número de segmentos existentes;

z – Tipo de combustível.

$$\bar{E}_z = \sum_{s=1}^S E_{z_s} \cdot \%V_{z_s} \quad (4.17)$$

Com:

$\bar{E}_z$  – Emissões médias para o tipo de combustível z;

$E_{z_s}$  – Emissões para o tipo de combustível z do segmento s;

Com os resultados das médias dos consumos e emissões de CO<sub>2</sub> apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.13 – Média do consumo médio e emissões de CO<sub>2</sub> para veículos ligeiros

Gasolina		Gasóleo		Híbrido	
l/100 km	g/km	l/100 km	g/km	l/100 km	g/km
6,21	142,78	5,31	133,81	3,31	76,99

#### 4.5.6. Energia consumida e emissões evitadas

Para o cálculo da energia consumida e emissões evitadas, é necessário em primeiro lugar saber o número de veículos existentes de cada tipo de combustível, o consumo e as emissões, presentes na Tabela 4.14 e Tabela 4.13, para o cenário sem penetração de veículos elétricos e para o cenário de penetração de veículos elétricos de referência.

Tabela 4.14 – Número de veículos ligeiros para a ilha Terceira no cenário de referência em 2030

	Gasóleo	Gasolina	Híbrido	Elétrico	Gasolina/ GPL
Sem penetração de EV	18.253	11.526	206	25	59
Com penetração de EV	15.608	9.856	176	4.327	50

Em seguida, e tendo em consideração a distancia media percorrida por dia de 27 km, foi calculado o consumo em GWh para os dois cenários, pelas seguintes expressões:

$$C_{a_z} = \frac{\bar{C}_z \cdot N_{VE_z} \cdot D \cdot N_d}{100} \quad (4.18)$$

Em que:

$C_{a_z}$  – Consumo médio anual para o tipo de combustível z (l);

$\bar{C}_z$  – Consumo médio para o tipo de combustível z (l/100 km);

$N_{V_z}$  – Número de veículos com combustível do tipo z;

$D$  – Distância média percorrida por dia (km);

$N_d$  – Número de dias num ano.

Utilizando os valores de PCI da Tabela 4.15 e considerando que 1 kWh são 3,6 MJ foi possível saber a energia consumida, equação (4.19), para o parque automóvel para os dois cenários, como se pode verificar na Tabela 4.16.

Tabela 4.15 – PCI por tipo de combustível [42]

Combustível	PCI (MJ/l)
Gasolina	31,76
Gasóleo	35,95

$$C_{a_z} (GWh) = \frac{C_{a_z} (l) \times PCI_z}{3,6 \times 10^{-6}} \quad (4.19)$$

Com:

$PCI_z$  – Poder calorífico inferior para o tipo de combustível z.

Tabela 4.16 – Energia consumida pelo parque automóvel de veículos ligeiros da ilha Terceira no cenário de referência em 2030 (GWh)

	Gasóleo	Gasolina	Híbrido	Elétrico	Gasolina/ GPL	Total
Sem penetração de EV	95,40	62,19	0,59	0,05	0,32	158,55
Com penetração de EV	81,58	60,20	0,51	8,42	0,27	150,97

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> locais gerados pelo parque automóvel foi utilizada a seguinte expressão:

$$E_{a_z} = \bar{E}_z \cdot N_{VE_z} \cdot D \cdot N_d \quad (4.20)$$

Em que:

$E_{a_z}$  – Emissões médias anuais para o tipo de combustível z (g CO<sub>2</sub>);

$\bar{E}_z$  – Emissões médias para o tipo de combustível z (g/km).

Apresentando os resultados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Emissões locais de CO<sub>2</sub> geradas pelo parque automóvel de veículos ligeiros da ilha Terceira no cenário de referência em 2030 (Ton CO<sub>2</sub>)

	Gasóleo	Gasolina	Híbrido	Elétrico	Gasolina/ GPL	Total
Sem penetração de EV	24.070	16.217	156	0	83	40.526
Com penetração de EV	20.582	13.867	134	0	71	34.654

Comparando o cenário sem penetração de veículos elétricos com o cenário de penetração de veículos elétricos de referência na ilha Terceira para o ano de 2030 verifica-se que há uma redução de consumo de energia de 7,58 GWh e menos 5.872,31 ton de CO<sub>2</sub> nas emissões.

## 4.6. Sector elétrico

### 4.6.3. Evolução do consumo de energia elétrica

Para modelar a evolução do consumo de eletricidade, tanto em Portugal Continental como na ilha Terceira, foi calculada em primeiro lugar o consumo de energia per capita (o consumo médio de eletricidade por pessoa residente num determinado local), utilizando o consumo do ponto 3.2.2 e o número de habitantes do ponto 4.2.

$$C_{PCt} = \frac{C_t \times 10^6}{H_{xt}} \quad (4.21)$$

Com:

$C_{PCt}$  – Consumo de eletricidade per capita para o ano t (kWh);

$C_t$  – Consumo de eletricidade para o ano t (GWh);

$H_{xt}$  – Número de habitantes para o local x para o ano t, com x igual a ilha Terceira ou Portugal Continental.

Considerou-se que para estimar evolução do consumo de energia per capita, pode-se utilizar novamente uma função do tipo Gompertz, pois tem uma forma sigmoide. Efetuada da mesma maneira que para a evolução do parque automóvel, mostrado na Figura 4.37, com parâmetros Tabela 4.18.

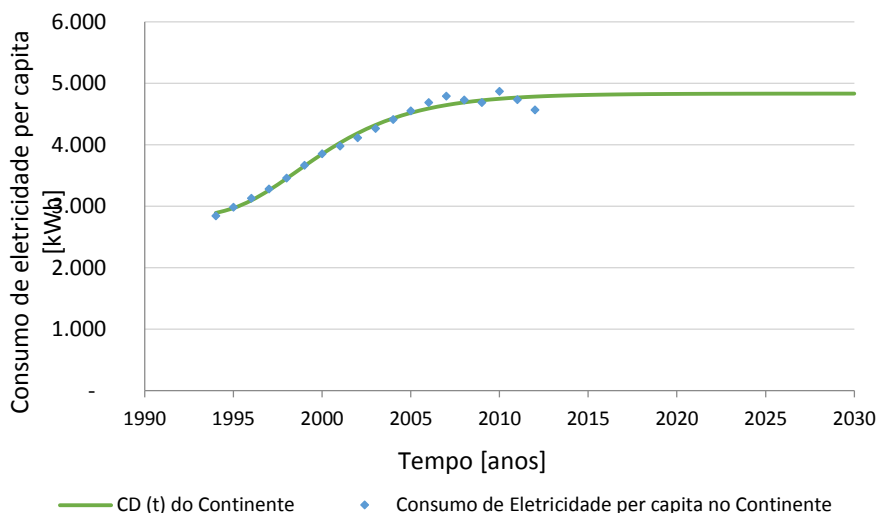


Figura 4.37 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita em Portugal Continental [62]

Tabela 4.18 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita em Portugal Continental

S	4831,46
a	1998,57
b	0,28
c	2830,62
R <sup>2</sup>	0,99

A partir da curva de evolução do consumo de eletricidade per capita foram criados três cenários para a evolução do consumo de eletricidade para ilha Terceira. O primeiro cenário, o otimista, representado na Figura 4.38 e com os parâmetros da curva de Gompertz na Tabela 4.19, em que é assumido que o consumo de eletricidade per capita da ilha Terceira vai tender para a mesma que no Continente.

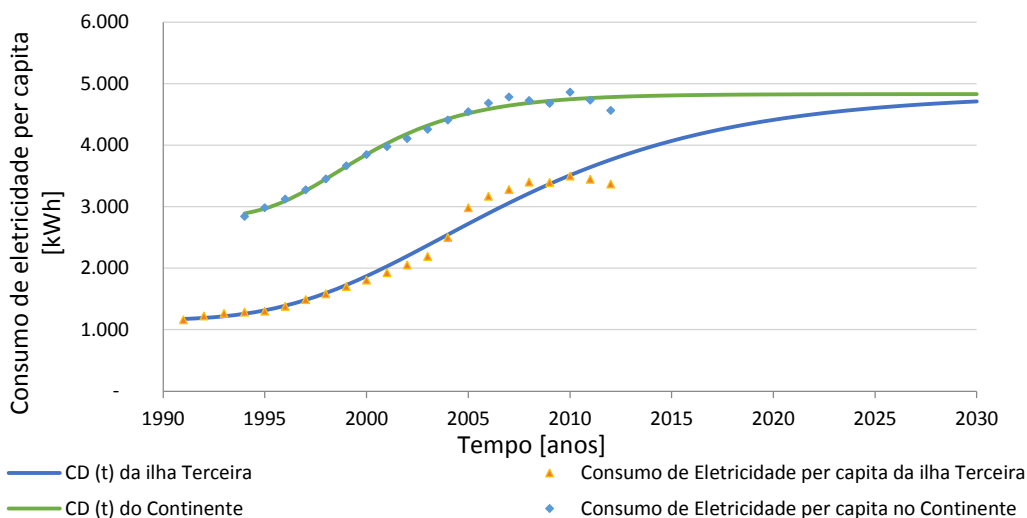


Figura 4.38 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário otimista

Tabela 4.19 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de otimista

S	4831,46
a	2003,78
b	0,13
c	1155,97
R <sup>2</sup>	0,98

O segundo cenário a ser construído foi o cenário pessimista, em que tendo em conta que o consumo de eletricidade da terceira está 10 anos em atraso relativamente ao Continente e com um consumo 22 % inferior no último ano considerado em relação ao Continente, foi traçada uma curva a tender para 78 % da densidade de veículos prevista para Portugal. Este segundo cenário pode ser observado na Figura 4.39 e com os seus parâmetros na Tabela 4.20.

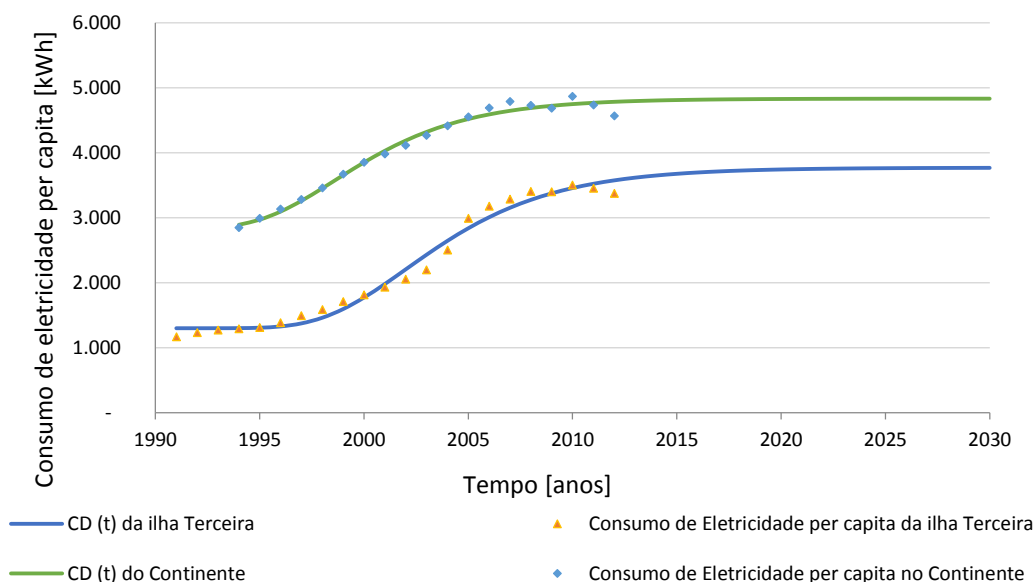


Figura 4.39 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário pessimista

Tabela 4.20 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de pessimista

S	3768,54
a	2002,01
b	0,25
c	1298,32
R <sup>2</sup>	0,98

O terceiro cenário, o cenário de referência, visível na Figura 4.40 e com parâmetros na Tabela 4.21, foi traçado no meio dos dois anteriores.

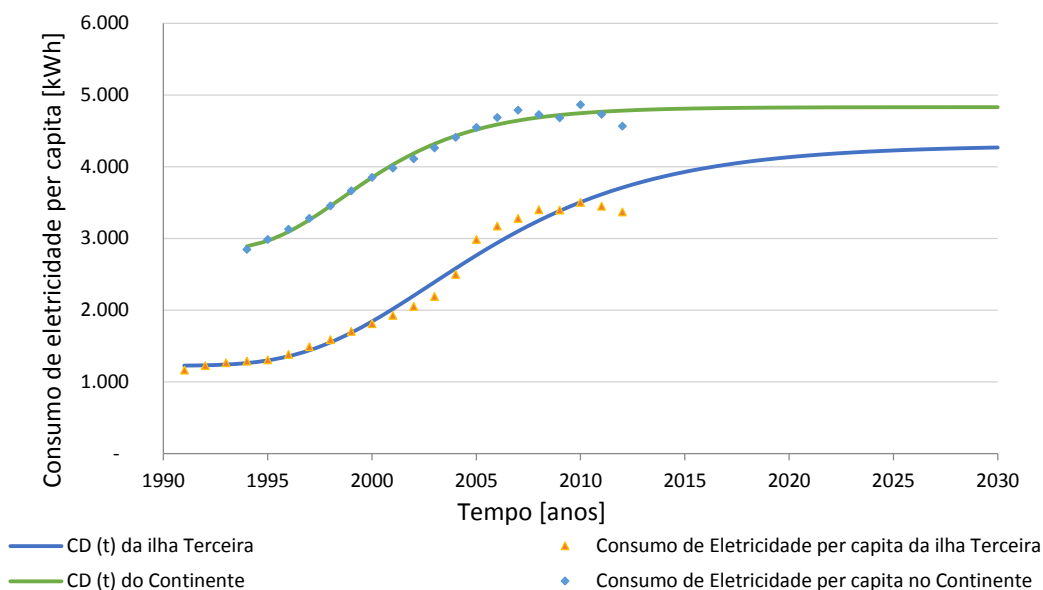


Figura 4.40 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de referência

Tabela 4.21 – Parâmetros da função Gompertz para a previsão do consumo de eletricidade per capita na ilha Terceira, cenário de referência

S	4300,00
a	2002,82
b	0,17
c	1224,07
R <sup>2</sup>	0,98

Utilizando as previsões de evolução da população para a ilha Terceira e as estimativas de consumo per capita é possível traçar o gráfico de estimativas de consumo até ao ano de 2030, como se pode observar na Figura 4.41, para os cenários otimista, referencia e pessimista.

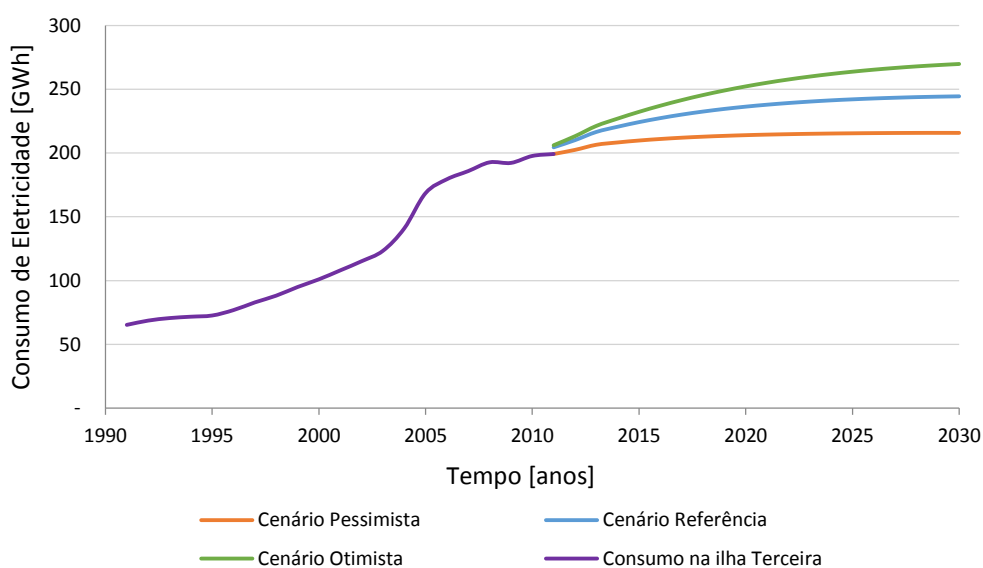


Figura 4.41 – Evolução e previsão do consumo de eletricidade na ilha Terceira

#### 4.6.4. Fatores característicos das centrais

##### 4.6.4.1. Fatores de carga

O fator de carga de uma central é a relação entre a energia gerada por uma central num determinado período de tempo (geralmente um ano) e da energia gerada se tivesse trabalhado à plena carga durante o mesmo período, de acordo com a potência nominal do equipamento.

$$f_c = \frac{E_a / h_a}{P_i} \quad (4.22)$$

Com:

$f_c$  – Fator de carga;

$E_a$  – Energia anualmente produzida (MWh);

$h_a$  – Número de horas no ano (h);

$P_i$  – Potencia instalada (MW).

O fator de carga das centrais hídricas, dos parques eólicas e da central térmica são determinados a partir dos dados de energia produzida no ano de 2013 presente na Figura 3.7

$$f_{c\_Hidrica} = \frac{2769,07 / 8760}{1,432} \Leftrightarrow f_{c\_Hidrica} = 22,07\%$$

Em que:

$f_{c\_Hidrica}$  – Fator de carga das centrais hídricas da ilha Terceira em 2013.

$$f_{c\_Eolica} = \frac{31633,49 / 8760}{9,000} \Leftrightarrow f_{c\_Eolica} = 40,12\%$$

E que:

$f_{c\_Eolica}$  – Fator de carga dos parques eólicos da ilha Terceira em 2013.

Para o caso da energia solar fotovoltaica ainda não existem painéis instalados, por isso não é possível o cálculo por valores de produção nem potência instalada já existente. Para contornar esse facto foi utilizado o *software* PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), como se pode ver na Figura 4.42, em que se insere a localização geográfica e a potência instalada e o programa devolve a energia produzida e a irradiação média, Tabela 4.22. O PVGIS tem uma limitação em relação à ilha Terceira, como o PVGIS não permite a seleção da ilha

Terceira optou-se por seleccionar a ilha mais perto, neste caso São Miguel que tem um clima semelhante à Terceira. No PVGIS inseriu-se também que o painel terá uma inclinação de 34°, sistema com perdas estimadas de 10 % e uma potência instalada de 1 kW.

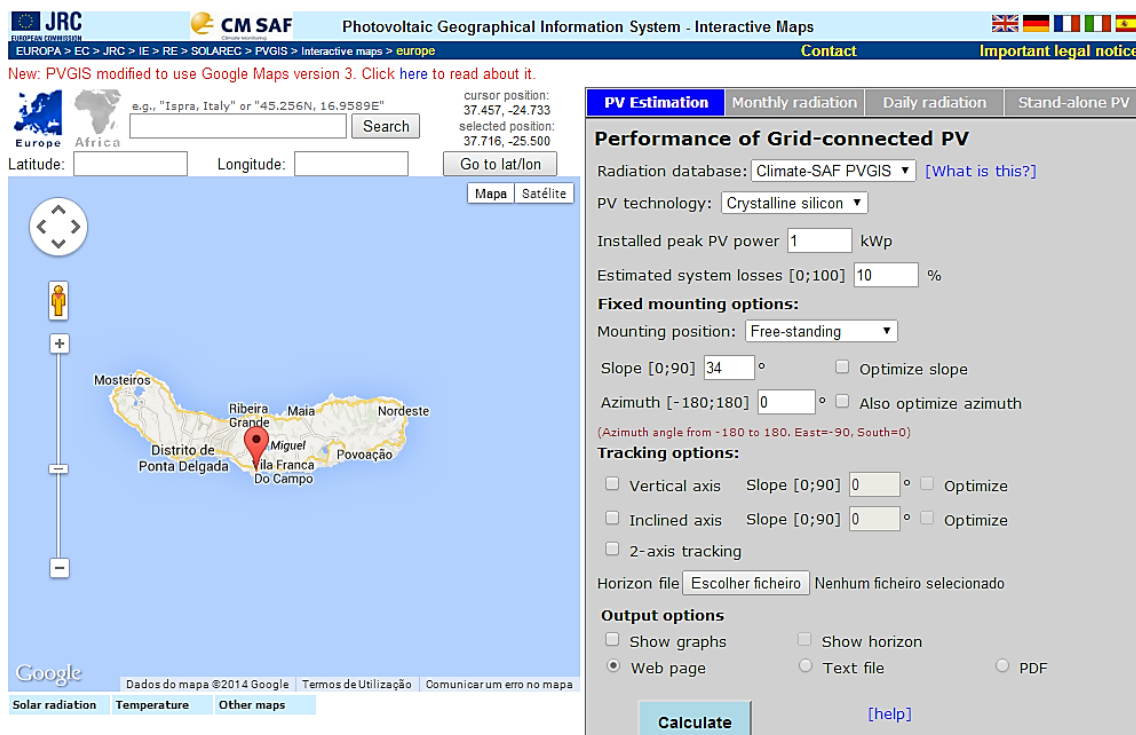


Figura 4.42 – Software PVGIS

Tabela 4.22 – Energia produzida e irradiação para São Miguel [63]

Fixed system: inclination=34°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.28	70.7	2.60	80.7
Feb	3.00	84.0	3.43	96.0
Mar	3.49	108	4.00	124
Apr	4.28	129	4.91	147
May	4.41	137	5.07	157
Jun	4.49	135	5.16	155
Jul	4.63	144	5.33	165
Aug	4.94	153	5.66	176
Sep	4.51	135	5.15	155
Oct	3.75	116	4.28	133
Nov	3.02	90.5	3.44	103
Dec	2.20	68.3	2.51	77.8
Yearly average	3.34	101	4.30	131
Total for year		1220		1570

Com:

$E_d$  – produção de eletricidade diária média do sistema dado (kWh);

$E_m$  – produção de eletricidade mensal média do sistema dado (kWh);

$H_d$  – soma média diária de irradiação mundial por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado (kWh/m<sub>2</sub>);

$H_m$  – soma média mensal de irradiação mundial por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado (kWh/m<sub>2</sub>).

Com os dados da tabela anterior pode-se por fim calcular o fator de carga dos painéis fotovoltaicos.

$$f_{c\_Solar\ PV} = \frac{1,220/8760}{0,001} \Leftrightarrow f_{c\_Solar\ PV} = 13,9 \%$$

$f_{c\_Solar\ PV}$  – Fator de carga de um painel fotovoltaico de 1 kW.

No caso da central de valorização energética para a ilha Terceira existe um estudo efetuado “Reordenamento do Aterro Intermunicipal da Terceira e Valorização de RSU do Grupo Central e Ocidental” em que consta que será instalada uma central com uma potência de 3,07 MW a que corresponderia uma disponibilidade de 2,47 MW para ser injetada na rede. [64]

Considerando que a central estará a injetar na rede sempre esses 2,47 MW obtem-se assim o fator de carga:

$$f_{c_{CVE}} = \frac{P_{inj}}{P_i}$$

$$f_{c_{CVE}} = \frac{2,47}{3,07} \Leftrightarrow f_{c_{CVE}} = 80,46 \%$$

Com:

$P_{inj}$  – Potencia injetada na rede;

$f_{c_{CVE}}$  – Fator de carga da central de valorização energética.

#### 4.6.4.2. Rendimento da central térmica

O rendimento da central térmica do Belo Jardim da ilha Terceira é dado por:

$$\eta = \frac{E_{saida}}{E_{entrada}} = \frac{E_e}{E_t} = \frac{E_e}{PCI \cdot m_c} \quad (4.23)$$

$\eta$  – Rendimento da conversão de energia térmica em energia elétrica;

$E_{saida}$  – Energia de saída;

$E_{entrada}$  – Energia de entrada;

$E_e$  – Energia elétrica produzida (MWh<sub>e</sub>);

$E_t$  – Energia térmica consumida (MWh<sub>t</sub>);

$PCI$  – Poder calorífico inferior do fuelóleo (MWh<sub>t</sub>/ton);

$m_c$  – Massa do combustível consumido (ton).

Sabendo que:

$$PCI_{fuel\acute{o}leo} = 41,2 \text{ MJ/kg}$$

e que:

$$1 \text{ MJ} = 277,78 \times 10^{-6} \text{ MWh}_t$$

obtem-se:

$$PCI_{fuel\acute{o}leo} = 11,44 \text{ MWh}_t/\text{ton}$$

Com o combustível consumido na ilha terceira para a produção de eletricidade presente na Figura 3.3 em que:

$$m_c = 38089 \text{ ton}$$

Tem-se por fim que o rendimento da central do Belo Jardim para o ano de 2012 é:

$$\eta = \frac{180602,20}{11,44 \times 38089} \Leftrightarrow \eta = 41,45 \%$$

#### 4.6.4.3. Perfil de produção de Energia Eólica

É necessário para simular um perfil de carga horária porá cada tecnologia, no caso da geração de energia eólica, que pode ser levado em consideração o perfil médio por hora de energia eólica das estatísticas observadas para o continente, como mostrado na Figura 4.43.

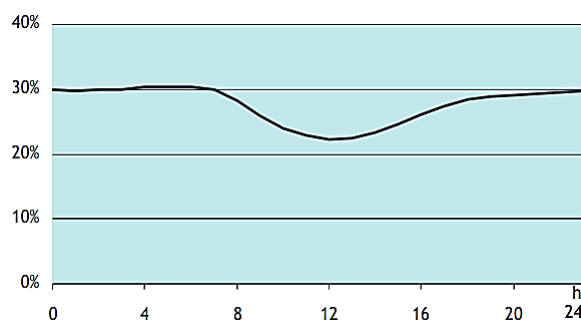


Figura 4.43 – Diagrama de carga médio de Energia Eólica em 2012 para Portugal [65]

No caso da energia eólica para a ilha Terceira, para obter um resultado semelhante ao da figura anterior, foi utilizada uma distribuição Normal invertida. A energia eólica esperada em cada hora pode ser calculada pela equação (4.39).

$$P_{Eólica_i} = P_{inst} \cdot f_{c\_Eólica} \cdot (1 - N(x|\mu, \sigma)) \quad (4.24)$$

Em que:

$P_{Eólica_i}$  – Potência produzida de energia eólica na hora  $i$ ;

$P_{inst}$  – Potência instalada de energia eólica.

O perfil de produção de energia eólica para a ilha Terceira pode ser observado na Figura 4.44.

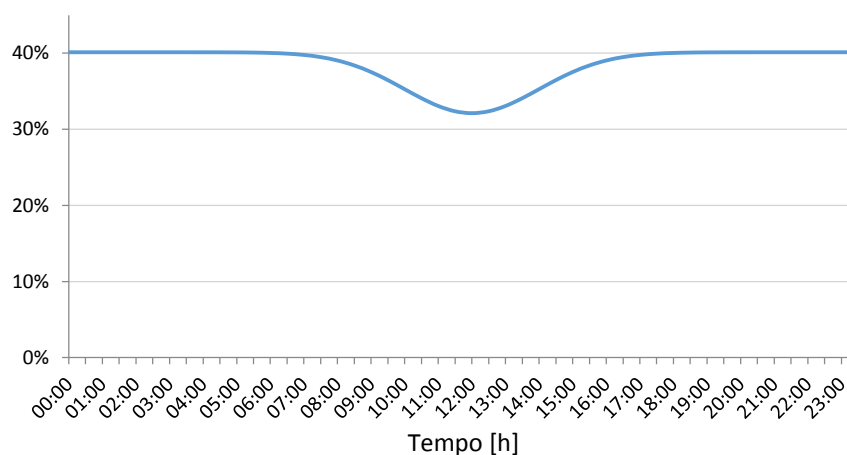


Figura 4.44 – Perfil de produção de Energia Eólica para a ilha Terceira, com  $\mu = 12h$  e  $\sigma = 2$

#### 4.6.4.4. Perfil de produção de Energia Solar fotovoltaica

O perfil de produção de energia fotovoltaica foi baseado no estudo presente no ponto 4.1.2 que incluía a radiação solar e a temperatura média em cada hora de um dia para a ilha Terceira, o necessário para calcular a energia gerada pelo painel escolhido na Tabela 4.23 e com as equações de (4.25) a (4.37).

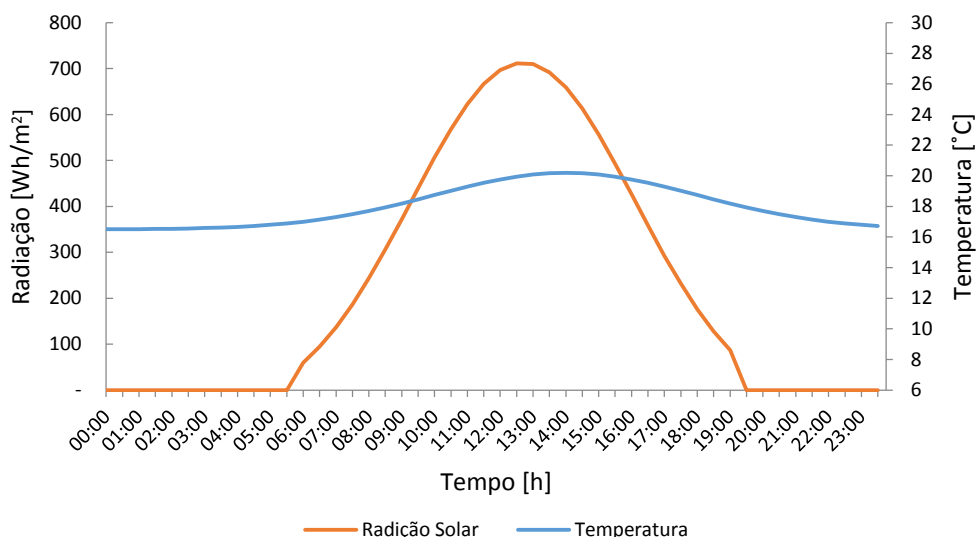


Figura 4.45 – Radiação e temperatura média para a ilha Terceira

Optando pelo painel Shell PowerMax Ultra 175-PC com as seguintes características:

Tabela 4.23 – Parâmetros do Painel Solar

<b>P<sub>p</sub></b>	175 W
<b>V<sub>ca</sub><sup>r</sup></b>	44,6 V
<b>I<sub>cc</sub><sup>r</sup></b>	5,43 A
<b>V<sub>max</sub><sup>r</sup></b>	35,4 V
<b>I<sub>max</sub><sup>r</sup></b>	4,95 A
<b>NOCT</b>	45,5 °C
<b>N<sub>s</sub></b>	72

$$V_T^r = \frac{KT^r}{q} \quad (4.25)$$

$$T^r = \theta^r + 273,16 \quad (4.26)$$

$$m = \frac{V_{max}^r - V_{ca}^r}{V_T^r \cdot \ln\left(1 - \frac{I_{max}^r}{i_{cc}^r}\right)} \quad (4.27)$$

$$I_0^r = \frac{I_{cc}^r}{\frac{V_{ca}^r}{e^{m \cdot V_T^r} - 1}} \quad (4.28)$$

$$m' = \frac{m}{N_s} \quad (4.29)$$

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G(NOCT - 20)}{800} \quad (4.30)$$

$$V_T = \frac{K \cdot T}{q} \quad (4.31)$$

$$T = \theta_c + 273,16 \quad (4.32)$$

$$I_0 = I_0^r \cdot \left(\frac{T}{T^r}\right)^3 \cdot e^{\frac{\varepsilon}{m} \cdot \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T}\right)} \quad (4.33)$$

$$I_{cc} = \frac{G}{G^r} \cdot I_{cc}^r \quad (4.34)$$

$$V_{max} = m \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{\frac{G}{G^r} \cdot (I_{cc}^r - I_{max}^r)}{I_0}\right) \quad (4.35)$$

$$I_{max} = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{V_{max}}{m \cdot V_T}} - 1\right) \quad (4.36)$$

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (4.37)$$

Com:

$$\varepsilon = 1,12 \text{ eV}$$

$$K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\theta^r = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G^r = 1000 \text{ W/m}^2$$

Em que:

$P_p$  – Potência do painel fotovoltaico;

$V_T^r$  – Potencial térmico nas condições de referência;

$K$  – Constante de Boltzmann;

$T^r$  – Temperatura de referência em Kelvins;

$q$  – Carga do elétron em Colon;

$\theta^r$  – Temperatura de referência em  $^\circ\text{C}$ ;

$m$  – Fator de idealidade do díodo;

$V_{max}^r$  – Tensão máxima de referência;

$V_{ca}^r$  – Tensão circuito aberto de referência;

$I_{max}^r$  – Corrente máxima de referência;

$I_{cc}^r$  – Corrente de curto-circuito de referência;

$I_0^r$  – Corrente inversa de saturação de referência;

$m'$  – Fator de idealidade equivalente;  
 $N_s$  – Número de células em série;  
 $\theta_c$  – Temperatura da célula em °C;  
 $\theta_a$  – Temperatura ambiente em °C;  
 $G^r$  – Irradiação de referência;  
 $G$  – Irradiação;  
 $NOCT$  – Temperatura nominal de funcionamento da célula;  
 $V_T$  – Potencial térmico;  
 $T$  – Temperatura da célula em Kelvins;  
 $I_0$  – Corrente inversa de saturação;  
 $I_{cc}$  – Corrente de curto-circuito;  
 $I_{max}$  – Corrente máxima;  
 $V_{max}$  – Tensão máxima;  
 $P_{max}$  – Potencia máxima.

#### 4.6.5. Cálculo da energia primária

No caso do setor elétrico o cálculo da energia primária necessária é calculado da seguinte forma:

$$E_{Prim} = \sum_{t=0}^{23} \left[ \sum_{j=1}^n \frac{E_{tj}}{\eta_j} + \sum_{i=1}^n ER_{ti} \right] \quad (4.38)$$

Em que:

$E_{Prim}$  – Consumo da energia primária diária;  
 $E_{tj}$  – Energia fornecida na hora t pela fonte não renovável j;  
 $\eta_j$  – É o rendimento da central j;  
 $ER_{ti}$  – É a energia fornecida na hora t pela fonte renovável i.

### 4.7. Custos

#### 4.7.3. Custo unitário da central térmica

##### Custos associados a uma central térmica

Custos de investimento  
 Custos variáveis de combustível  
 Custos variáveis de emissões

Custos de O&M fixos e variáveis  
 Custos de arranque e paragem  
 Custos de desclassificação

O custo variável da central térmica é dado por:

$$C_{CT} = C_{comb} + C_{CO_2} \quad (4.39)$$

Em que:

$$C_{comb} = \frac{F}{PCI \cdot \eta} \quad (4.40)$$

$$C_{CO_2} = P_{CO_2} \cdot ee_p \quad (4.41)$$

e

$$ee_p = \frac{e_{comb}}{PCI \cdot \eta} \quad (4.42)$$

Com:

$C_{CT}$  – Custo variável da central térmica (combustível + emissões) (€/MWh<sub>e</sub>);

$C_{comb}$  – Custo variável da central relativo ao combustível (€/MWh<sub>e</sub>);

$C_{CO_2}$  – Custo variável da central relativo às emissões de CO<sub>2</sub> (€/MWh<sub>e</sub>);

$F$  – Custo do combustível (€/kg);

$PCI$  – Poder calorífico inferior (MWh<sub>t</sub>/kg);

$\eta$  – Rendimento da central;

$P_{CO_2}$  – Preço de CO<sub>2</sub> (€/kg CO<sub>2</sub>);

$ee_p$  – Emissão específica de CO<sub>2</sub> da central (kg CO<sub>2</sub>/MWh<sub>e</sub>);

$e_{comb}$  – Coeficiente de emissão de CO<sub>2</sub> do combustível (kg CO<sub>2</sub>/kg);

#### 4.7.3.1. Custo nivelado da central térmica do Belo Jardim em 2013

Para 2013 os custos nivelados da central do belo jardim foram os seguintes:

Tabela 4.24 – Parâmetros da central térmica do Belo Jardim

$\eta(\%)$	<b>41,45</b>
$PCI(MWh_t/kg)$	$11,44 \times 10^{-3}$
$F(€/kg)$	0,60
$P_{CO_2}(€/kg CO_2)$	$4,45 \times 10^{-3}$
$ee_p(kg/MWh)$	690,6

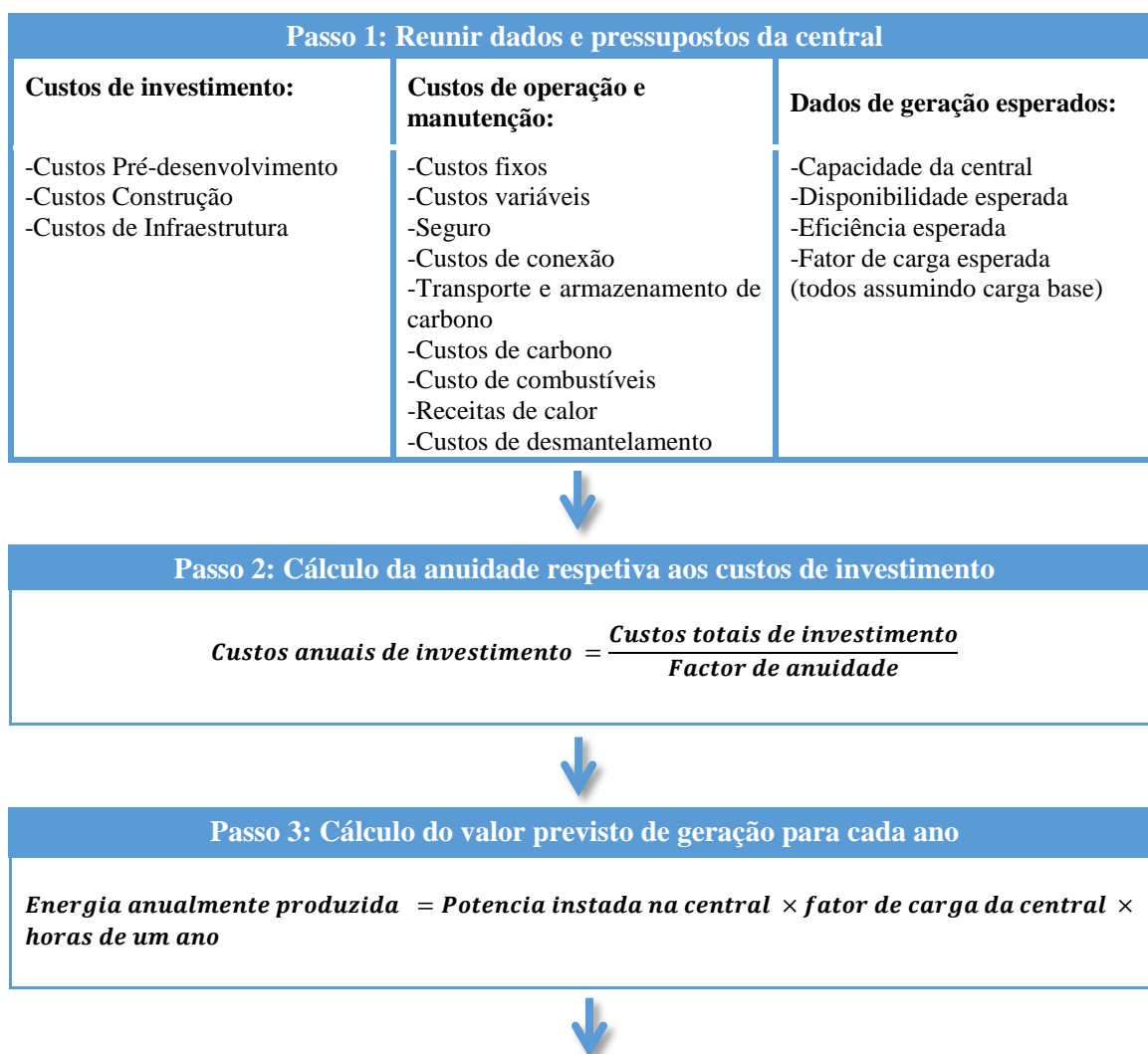
$$C_{comb} = \frac{F}{PCI \cdot \eta} = \frac{0,60}{11,44 \times 10^{-3} \times 0,4145} \Leftrightarrow C_{comb} = 126,53 \text{ €/MWh}_e$$

$$C_{CO_2} = P_{CO_2} \cdot ee_p = 4,45 \times 10^{-3} \times 690,6 \Leftrightarrow C_{CO_2} = 3,08 \text{ €/MWh}_e$$

$$C_{CT} = C_{comb} + C_{CO_2} = 126,53 + 3,08 \Leftrightarrow C_{CT} = 129,61 \text{ €/MWh}_e$$

#### 4.7.4. Custos nivelados de centrais renováveis

Existem diferenças significativas entre os diferentes tipos de tecnologia de geração de energia elétrica, nomeadamente quanto ao período de construção, horas de funcionamento anuais, tempo de vida útil, custos de investimentos e custos de operação e manutenção. Estando as diferenças dispersas por tantos fatores, torna-se difícil fazer uma comparação. Esta comparação não pode ser efetuada considerando apenas estes fatores individualmente. A forma de comparar as tecnologias de geração que foi utilizada neste trabalho baseia-se na metodologia dos custos nivelados. Esta metodologia permite quantificar o custo unitário de produção de energia elétrica durante o tempo de vida do projeto.



**Passo 4: Cálculos dos custos de O&M para um ano**

$$\text{Custos de operação e manutenção para um ano} = \text{custos de operação e manutenção por MWh} \times \text{Energia anualmente produzida}$$



**Passo 5: Cálculos do custo nivelado**

*Custo nivelado*

$$= \frac{\text{Custos anuais de investimento} + \text{Custos de operação e manutenção para um ano}}{\text{Energia anualmente produzida}}$$

Figura 4.46 – Demonstração da forma de calcular os custos nivelados

#### 4.7.4.1. Custos de investimento

Para este tipo de custos considerou-se que o investimento ( $I_t$ ) é concentrado no instante inicial, no ano zero, em seguida, para todas as tecnologias poderem ser comparadas, repartiu-se o investimento pelos anos de vida útil do projeto, neste caso ter-se-á uma anuidade cujo valor atual será igual ao valor do investimento total. O valor dessa anuidade será:

$$I_a = \frac{I_t}{k_a} \quad (4.43)$$

Em que:

$$k_a = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^n} \quad (4.44)$$

Com:

$I_t$  – Investimento total (€);

$I_a$  – Custo anual do investimento (€);

$k_a$  – é o fator de anuidade que traduz a soma da série que define a atualização;

$i$  – Taxa de atualização;

$t$  – ano (1, 2, 3, ..., n);

$n$  – Tempo de vida útil da central.

#### 4.7.4.2. Custos de operação e manutenção

Os custos de operação e manutenção no caso das energias renováveis, visto não necessitarem de combustíveis, podem ser definidos de duas maneiras. Ou em função do Investimento inicial (em percentagem, entre 0,5 % a 3 %) ou em função da energia produzida (em €/MWh).

$$O\&M = dom(\%) \cdot I_t \quad (4.45)$$

$$O\&M = dom(\text{€/MWh}) \cdot E_a \quad (4.46)$$

Em que:

$$E_a = P_i \cdot h_a \cdot f_c \quad (4.47)$$

Com:

$O\&M$  – Custos de operação e manutenção anuais:

$dom$  – Despesas de operação e manutenção.

#### 4.7.4.3. Modelo simplificado do Custo Nivelado para as energias renováveis

Com as considerações feitas anteriormente tem-se o seguinte modelo:

$$CN = \frac{I_a + O\&M}{E_a} \quad (4.48)$$

Em que:

$CN$  – Custo nivelado (€/MWh).

#### 4.7.4.4. Custo nivelado de centrais renováveis

Recorrendo aos dados disponibilizados em [66] foram calculados os custos nivelados de alguns tipos de tecnologias renováveis. O resumo dos dados encontra-se na tabela abaixo. Os fatores de carga dos recursos já existentes na ilha terceira como é o caso da Eólica em terra e das pequenas hídricas foram utilizados os calculados no ponto 4.6.4.1 e o fator de carga para a energia fotovoltaica foi utilizado o calculado no mesmo ponto mas a partir do *software* PVGIS.

Tabela 4.25 – Resumo dos dados das diferentes tecnologias [66]

Tecnologia			Investimento (€/kW)				O&M (€/MWh)				i (%)
	Vida útil (anos)	F <sub>c</sub> (%)	2010	2020	2030	2050	2010	2020	2030	2050	
Eólica em terra	25	40,12	1308	1189	1128	1070	11,9	10,9	10,3	9,8	8
Eólica no mar	25	40	2979	2483	2296	2174	30,6	25,5	23,6	22,3	8
Geotérmica	80	90	6897	6406	5950	5911	17,5	16,3	15,1	14,2	8
Solar PV	25	13,9	3485	1974	1392	1068	15,9	9	6,4	4,9	8
Solar térmica	25	32,5	4049	3014	2389	2024	42,7	31,8	25,2	23,2	8
Pequena hídrica	80	22,07	3345	3291	3259	3243	17	16,7	16,5	16,5	8

Em seguida será demonstrado um exemplo de cálculo para um parque eólico em terra para o ano de 2010.

Tabela 4.26 – Dados para o cálculo do custo nivelado para a eólica em terra para o ano 2010

	Eólica em terra
<b>n (anos)</b>	25
<b>f<sub>c</sub> (%)</b>	25
<b>I (€/kW)</b>	1308
<b>dom (€/MWh)</b>	11,9
<b>P<sub>i</sub> (kW)</b>	1000
<b>i (%)</b>	8

$$k_a = \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^n} = \frac{1}{0,08} - \frac{1}{0,08 \times (1+0,08)^{25}} \Leftrightarrow k_a = 10,67$$

$$I_a = \frac{I_t}{k_a} = \frac{1308 \times 1000}{10,67} \Leftrightarrow I_a = 122\,532\text{€}$$

$$E_a = P_i \cdot h_a \cdot f_c = 1000 \times 8760 \times 0,4012 \Leftrightarrow E_a = 3\,515\text{ MW}$$

$$O\&M = dom(\text{€/MWh}) \cdot E_a = 11,9 \times 3\,515 = 41\,823\text{€}$$

$$CN_{Eolica} = \frac{I_a + O\&M}{E_a} = \frac{122\,532 + 41\,823}{3\,515} = 46,76\text{€/MWh}$$

Tabela 4.27 – Resumo dos cálculos efetuados para a obtenção do custo nivelado de um parque eólico

	2010	2020	2030	2050
Ia (€)	122531,84	111384,07	105669,66	100236,29
O&M (€)	41822,69	38308,18	36199,47	34442,22
LCOE (€/MWh)	46,76	42,59	40,37	38,32

Com os valores obtidos para os custos nivelados de novos parques eólico são apenas para os anos de 2010, 2020, 2030 e 2050, traçou-se uma polinomial de terceiro grau para se obter os restantes valores entre 2010 e 2050, como é possível observar na Figura 4.47.

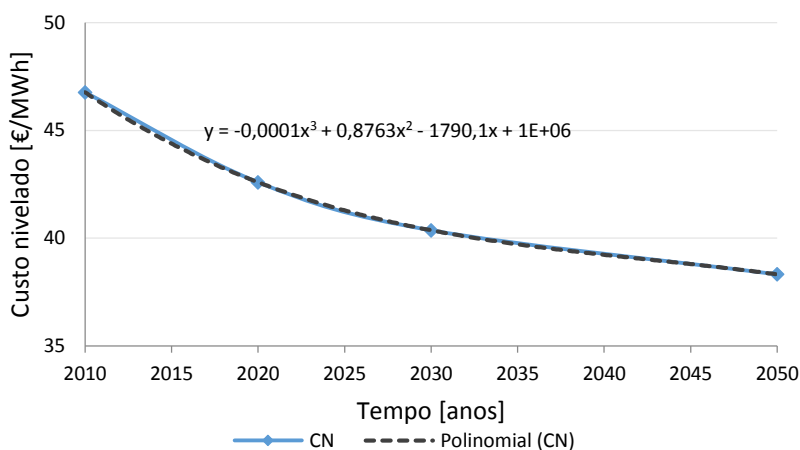


Figura 4.47 – Custo Nivelado para a Eólica em terra entre 2010 e 2050

Na Figura 4.48 podem-se observar os custos nivelados para o ano de 2010 para diferentes tecnologias, bem como os custos de investimento e os custos de operação e manutenção.

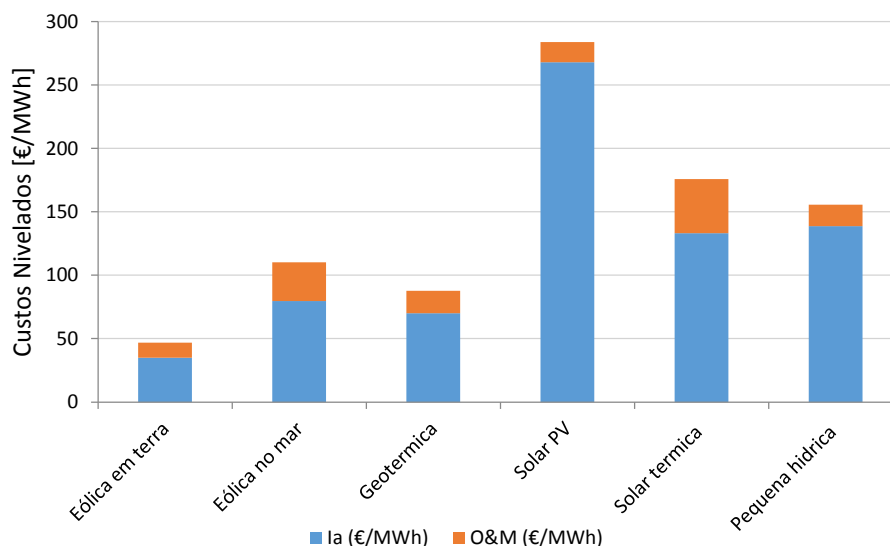


Figura 4.48 – Custo Nivelado para diferentes tecnologias em 2010

Pela Figura 4.49 pode-se verificar que os custos nivelados são bastante sensíveis a taxa de atualização, que é a taxa mínima de rentabilidade do projeto, que não é mais do que a rentabilidade que o investidor exige para implementar um projeto de investimento. Quanto mais alta for essa taxa maior será o custo nivelado de uma determinada tecnologia.

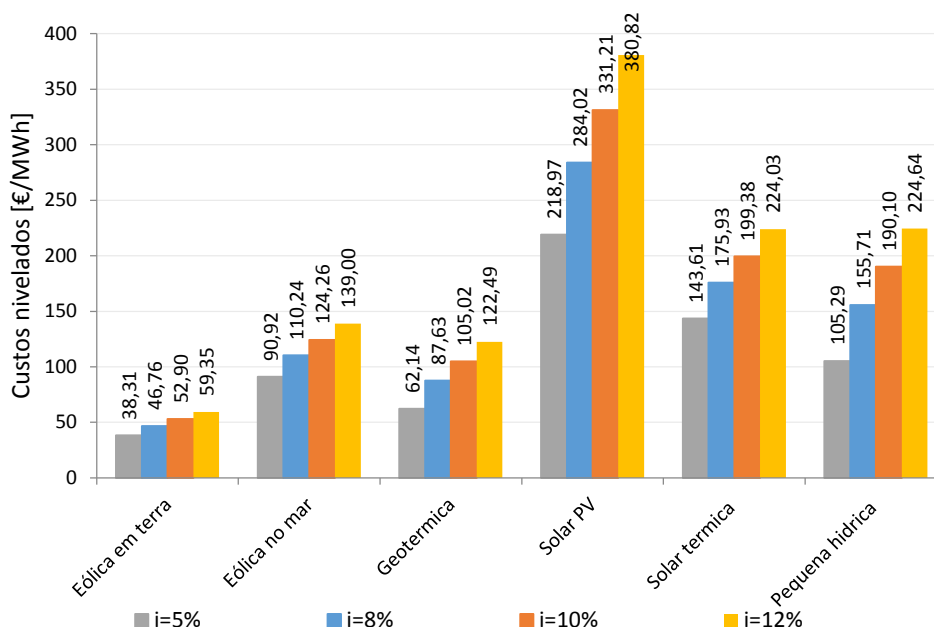


Figura 4.49 – Custo Nivelado para diferentes tecnologias com diferentes taxas de atualização para 2010

Tendo em conta que a taxa de rentabilidade obtida em obrigações do tesouro a uma taxa fixa a 10 anos se encontra atualmente em 3,82 %, como se pode observar na Figura 4.50, considerou-se uma taxa de atualização de 8 % como rentabilidade mínima para estes projetos é bastante aceitável.

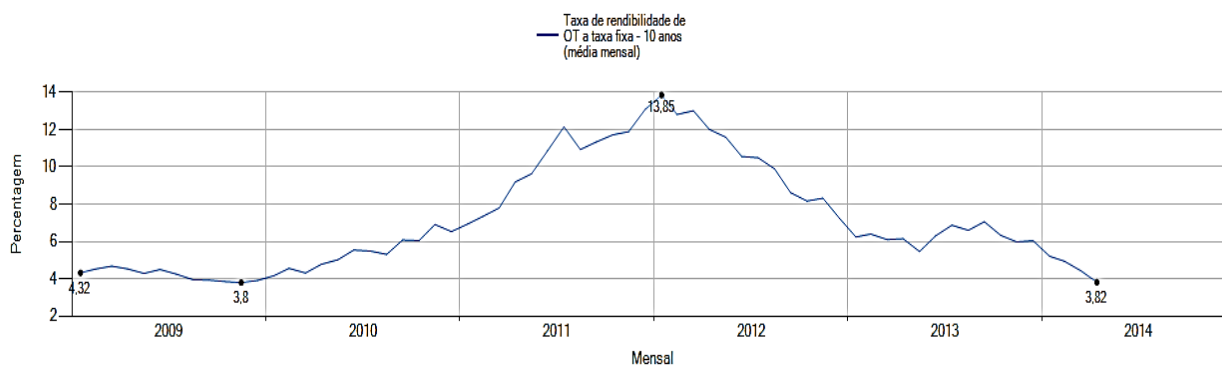


Figura 4.50 - Taxa de rentabilidade de Obrigações do Tesouro a taxa fixa - 10 anos (média mensal) [67]

De forma homóloga, aos cálculos realizados para o parque eólico em terra, foram realizados os cálculos para os custos nivelados das outras tecnologias renováveis com os valores ilustrados na Figura 4.51.

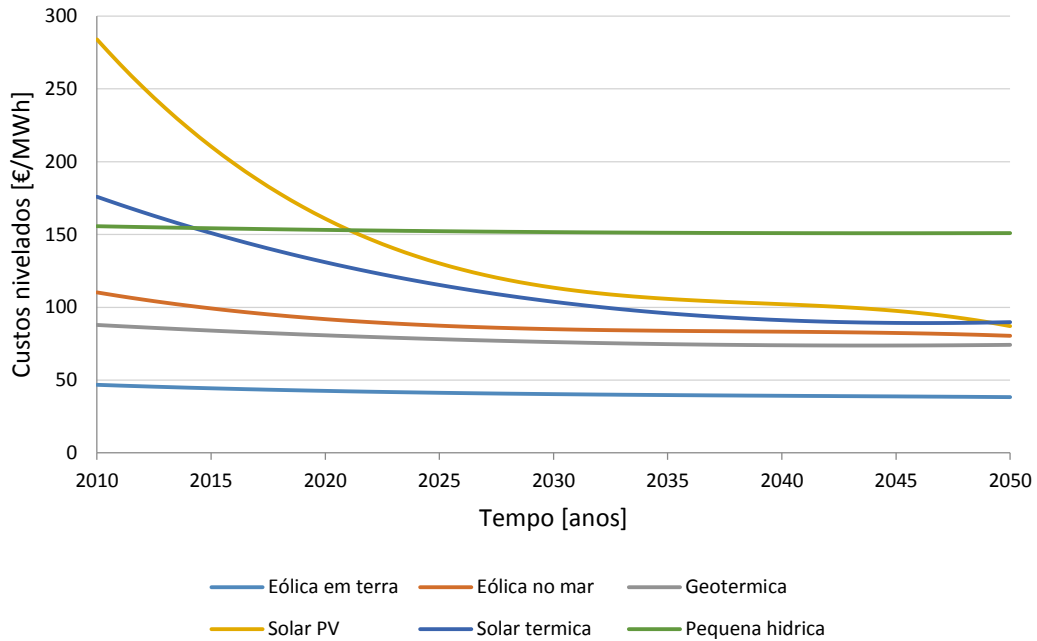


Figura 4.51 - Custos nivelados para diferentes tecnologias entre 2010 e 2050



# Capítulo 5

---

## Casos de Estudo

*Neste capítulo são apresentados os casos de estudo com mais relevância, nos anos de 2013, 2020 e 2030, para os cenários sem penetração de veículos elétricos, com penetração de referência e com 100 % de veículos elétricos. Aumentando as potências instaladas de fontes renováveis e são apresentados e comentados os impactos nos custos das novas tecnologias e em combustíveis, bem como as reduções nas emissões.*



### 5.1. Casos em estudo

Na Tabela 5.1 são apresentados os casos de estudo mais relevantes e a sua composição.

Tabela 5.1 – Resumo dos casos de estudo

Casos	Ano	Estação do ano	Aumento da procura energia	Aumento potência instalada (MW)				Aumento da frota de veículos ligeiros	Penetração de VE	Tipo de carregamento
				Eólica	Geotérmica	Fotovoltaica	Biomassa			
1	2013	Primavera	-	-	-	-	-	-	-	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
2		Primavera	Ref.					-	-	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
3		Primavera	Ref.					Ref.	Não controlado	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
4		Primavera	Ref.					Ref.	Vazio	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
5	2020	Primavera	Ref.	8,1	6	2,1	3,07	Ref.	Controlado	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
6		Primavera	Ref.					Ref.	Vazio	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
7		Primavera	Ref.					100%	Controlado	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
8		Primavera	Optim.					Optim.	Optim.	
		Verão								
		Outono								
		Inverno								
9		Primavera							Controlado	

Capítulo 5: Casos de Estudo

		Verão								
		Outono								
		Inverno								
10		Primavera	Pessim.					Pessim.	Pessim.	Vazio
		Verão								
		Outono								
11		Inverno	Pessim.					Pessim.	Pessim.	Controlado
		Primavera								
		Verão								
12		Outono								
		Inverno								
		Verão								
13		Primavera	Ref.					Ref.	Ref.	Vazio
		Verão								
		Outono								
14		Inverno	Ref.					Ref.	Ref.	Controlado
		Primavera								
		Verão								
15		Outono							100%	Controlado
		Inverno								
		Verão								
16	2030	Primavera	Optim.	8,1	6	2,1	-	Optim.	Optim.	Vazio
		Verão								
		Outono								
17		Inverno	Optim.					Optim.	Optim.	Controlado
		Primavera								
		Verão								
18		Outono	Pessim.					Pessim.	Pessim.	Vazio
		Inverno								
		Verão								
19		Primavera	Pessim.					Pessim.	Pessim.	Controlado
		Verão								
		Outono								
		Inverno								

### 5.1.1. Cenário sem penetração de VE para 2013, 2020 e 2030

Para esta análise foram considerados os casos de estudo 1, 2 e 12 para os anos de 2013, 2020 e 2030 respetivamente. Estes cenários são sem penetração de veículos elétricos, seguindo só a tendência apresentada até aos dias de hoje, que não tem quase impacto nos diagramas de carga como é mostrado nas figuras seguintes. São apresentados os diagramas de um dia típico (4ª feira, sábado e domingo) de primavera e um de inverno para cada caso de estudo.

No caso de estudo 2 para 2020, na Figura 5.3 e Figura 5.4, é bastante notório a introdução de novas tecnologias renováveis como a fotovoltaica e a geotérmica e um aumento de energia eólica. Reduzindo assim bastante a energia térmica necessária.

De um modo semelhante para o caso de estudo 12 para 2030, na Figura 5.5 e Figura 5.6, todas as tecnologias renováveis já existentes aumentaram exceto a hídrica dadas as características dos recursos disponíveis.

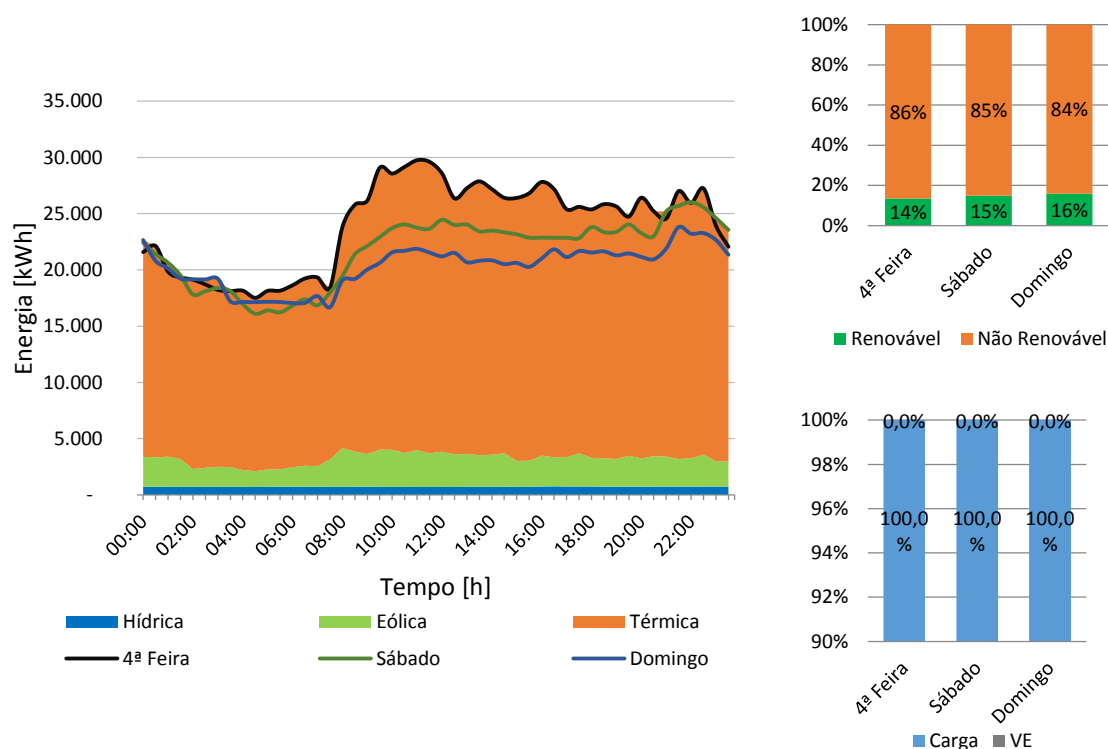


Figura 5.1 – Diagrama de carga característico da Primavera 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

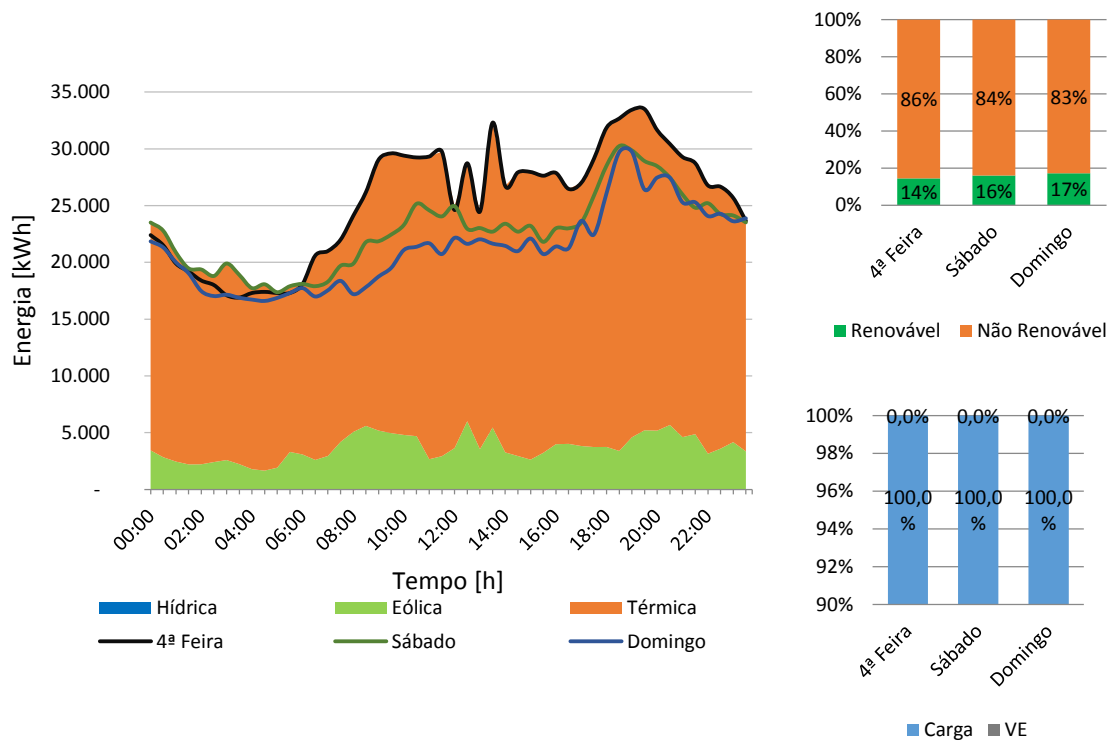


Figura 5.2 – Diagrama de carga característico do Inverno 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

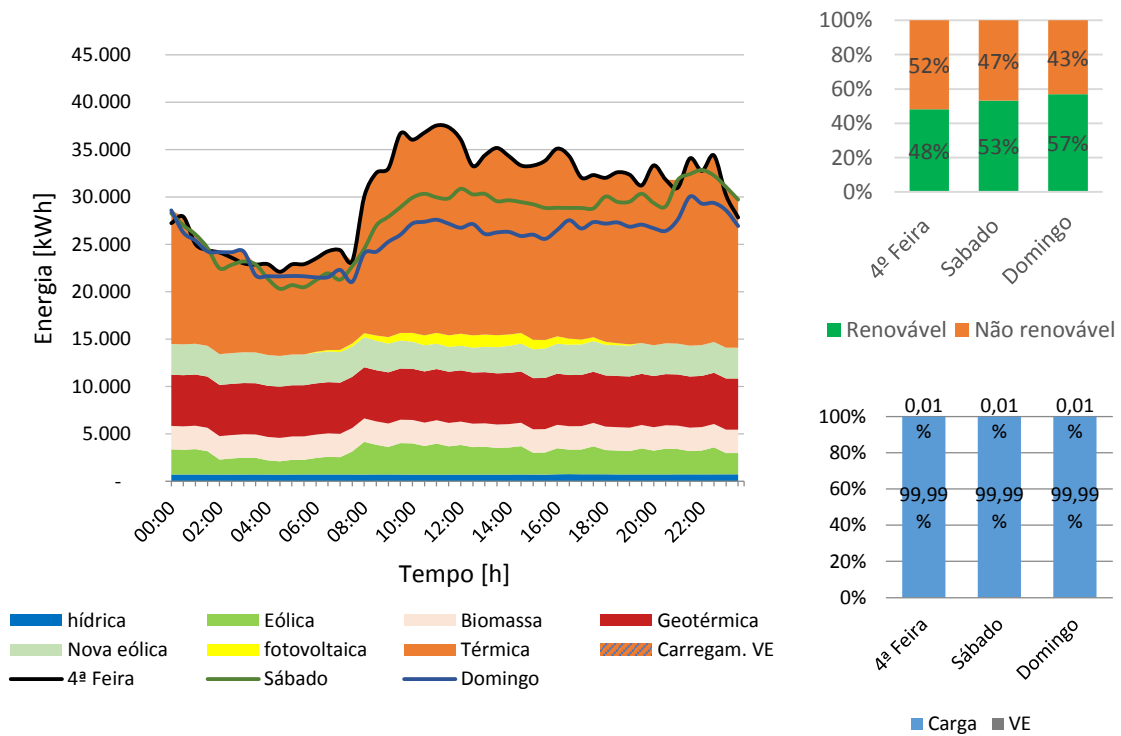


Figura 5.3 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

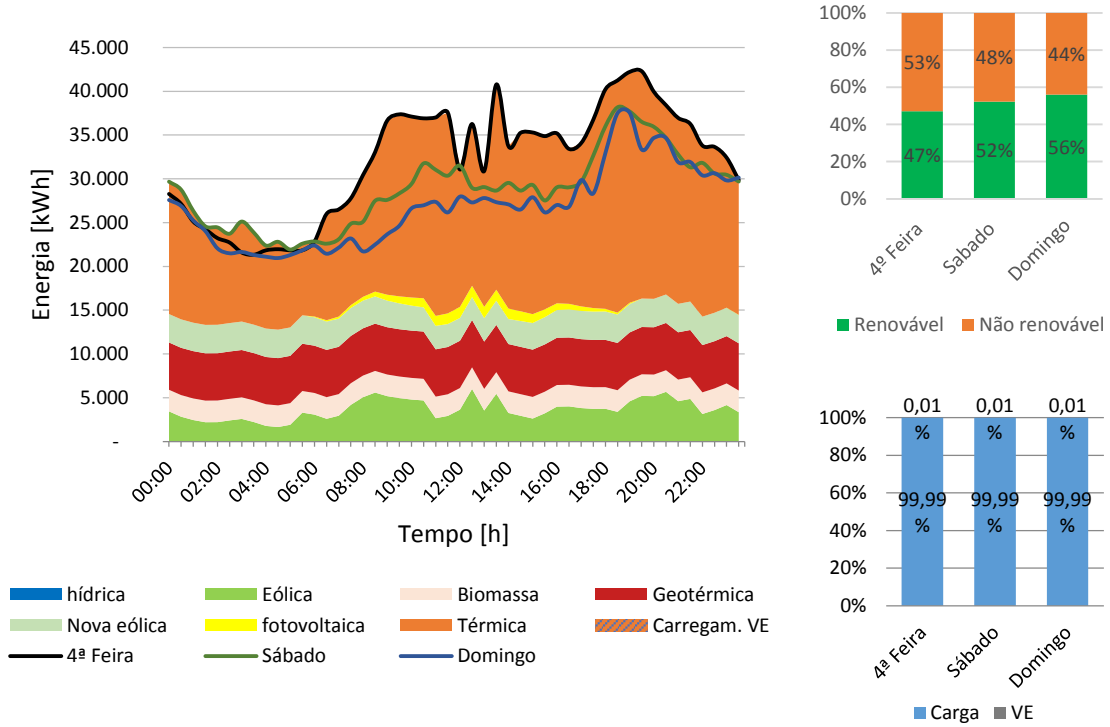


Figura 5.4 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

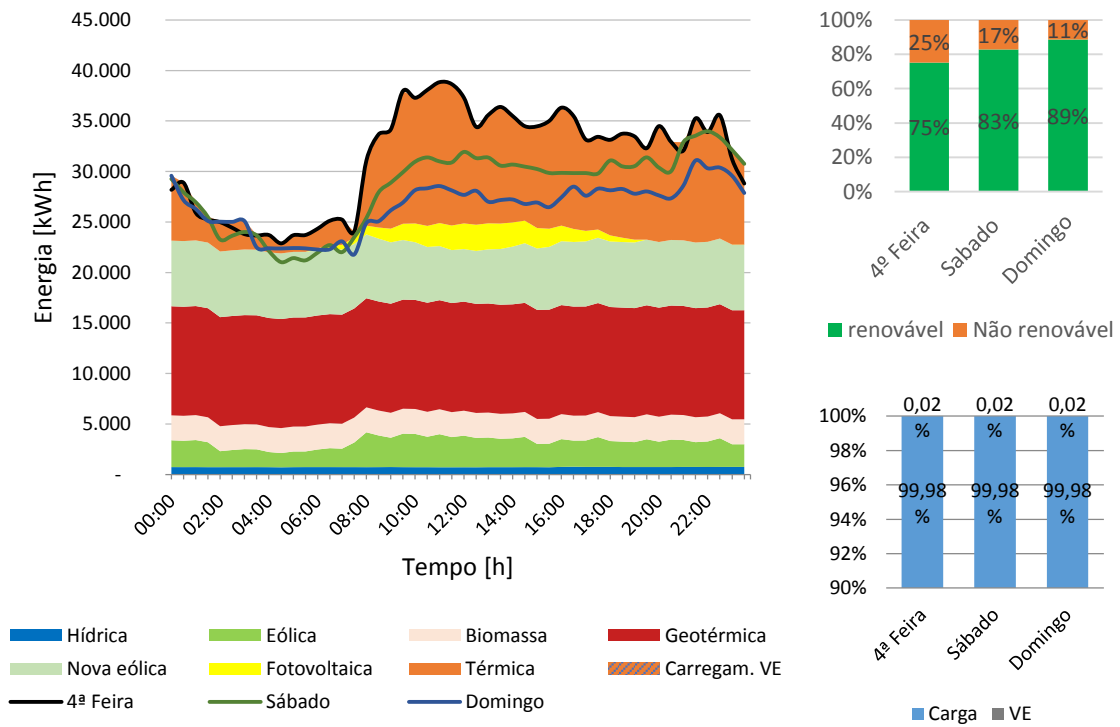


Figura 5.5 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

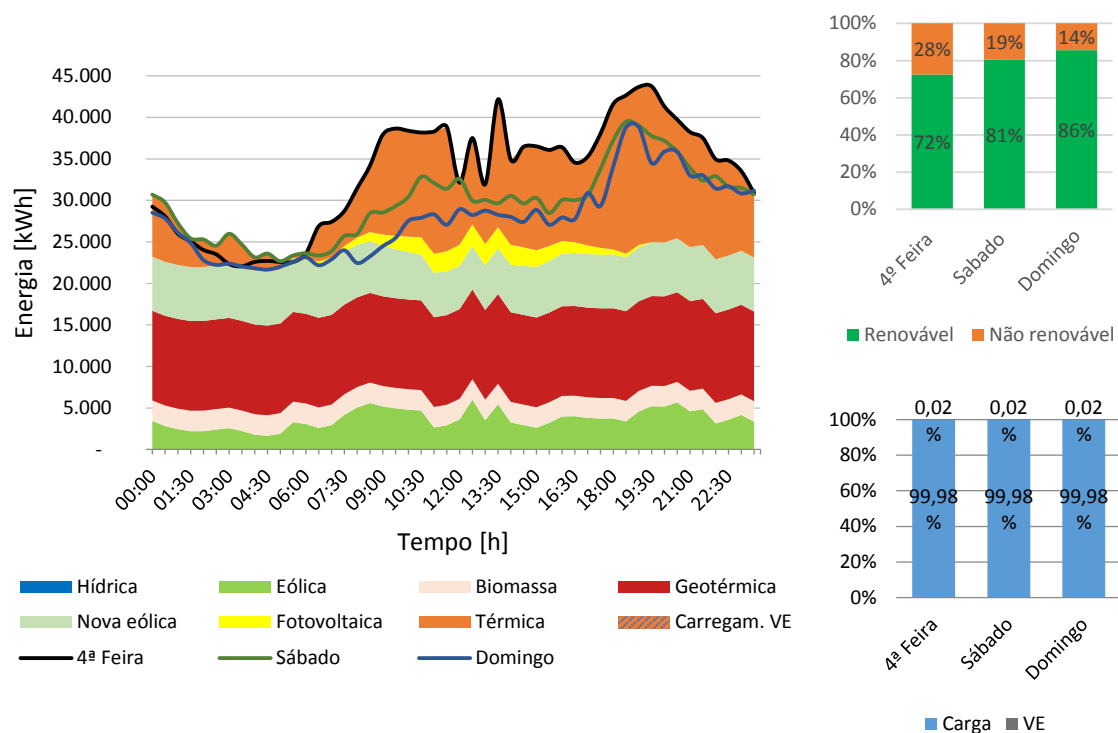


Figura 5.6 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Na Tabela 5.2 é apresentado o resumo dos casos de estudo apresentados neste cenário.

Para a realização dos cálculos anuais existe sempre um erro associado, visto esses cálculos serem baseados nos diagramas diários típicos para cada estação do ano. Por exemplo sabe-se que a energia produzida no ano 2013 foram 206,5 GWh, mas com os cálculos efetuados pelos dias típicos o resultado foi de 211,9 GWh. E no caso do mix de produção as percentagens verificadas foram de 1,3 % e 15,3 % de energia de origem hídrica e eólica respetivamente mas com os cálculos obteve-se 0,8 % e 14,5 %. Como os valores reais e os valores calculados são todos da mesma ordem de grandeza e não são muito díspares, podem ser considerados para se fazer uma estimativa do que vais acontecer em anos futuros.

O aumento da carga ao longo dos anos seguiu o aumento de referência, aumentando 26,2 % e 30,6 % em 2020 e 2030 respetivamente em relação a 2013. Existiu uma diminuição bastante acentuada do consumo de combustíveis no setor elétrico, graças à introdução de novas energias renováveis, como é o caso da geotérmica e fotovoltaica, e do aumento da energia eólica. Passando assim de uma percentagem de térmica de 85 % para 50 % em 2020 e para 24 % em 2030. Conseguindo assim diminuir os custos com as importações de fuelóleo para menos de metade do que se tem atualmente.

Mas para ter essas reduções é necessário investimentos em outras tecnologias, tecnologias que nem sempre são baratas, mas mesmo efetuado esses investimentos e com o aumento de carga referido anteriormente existiu uma diminuição nos custos totais. Comparando com 2013, em 2020 existiu uma redução nos custos de 8,9 % e em 2030 de 16,2 % e com um mix de emissões com um valor muito mais pequeno que o atual, beneficiando assim o meio ambiente.

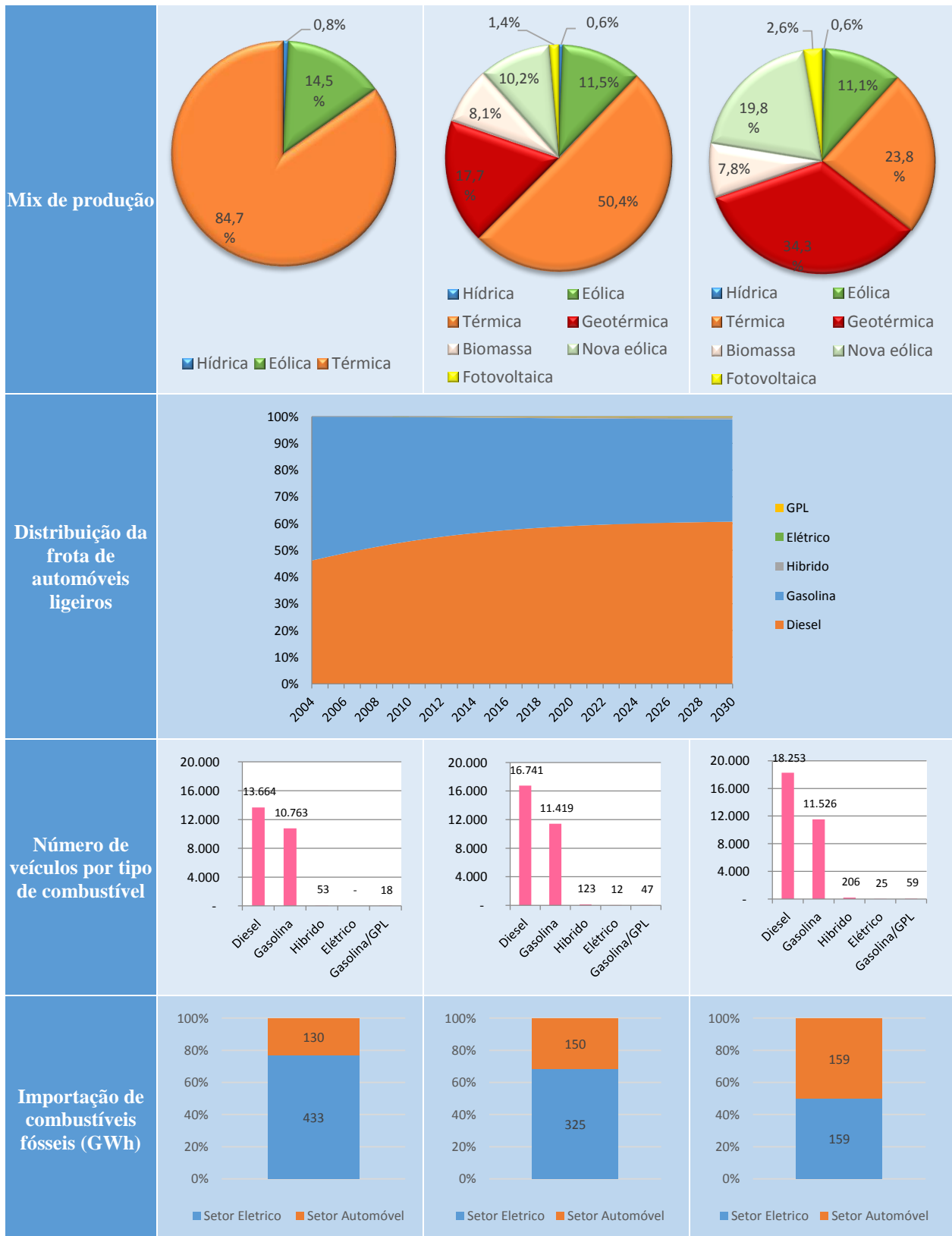
No setor dos transportes para este cenário não há muito a dizer, pois não existe penetração de veículos elétricos, tudo continua com o mesmo rumo que até ao momento. Segue a evolução de referência, aumentando assim o número de veículos 15,5 % e 22,3 % em 2020 e 2030 respetivamente. Elevando com a mesma proporção a importação de combustíveis fósseis para o setor dos transportes.

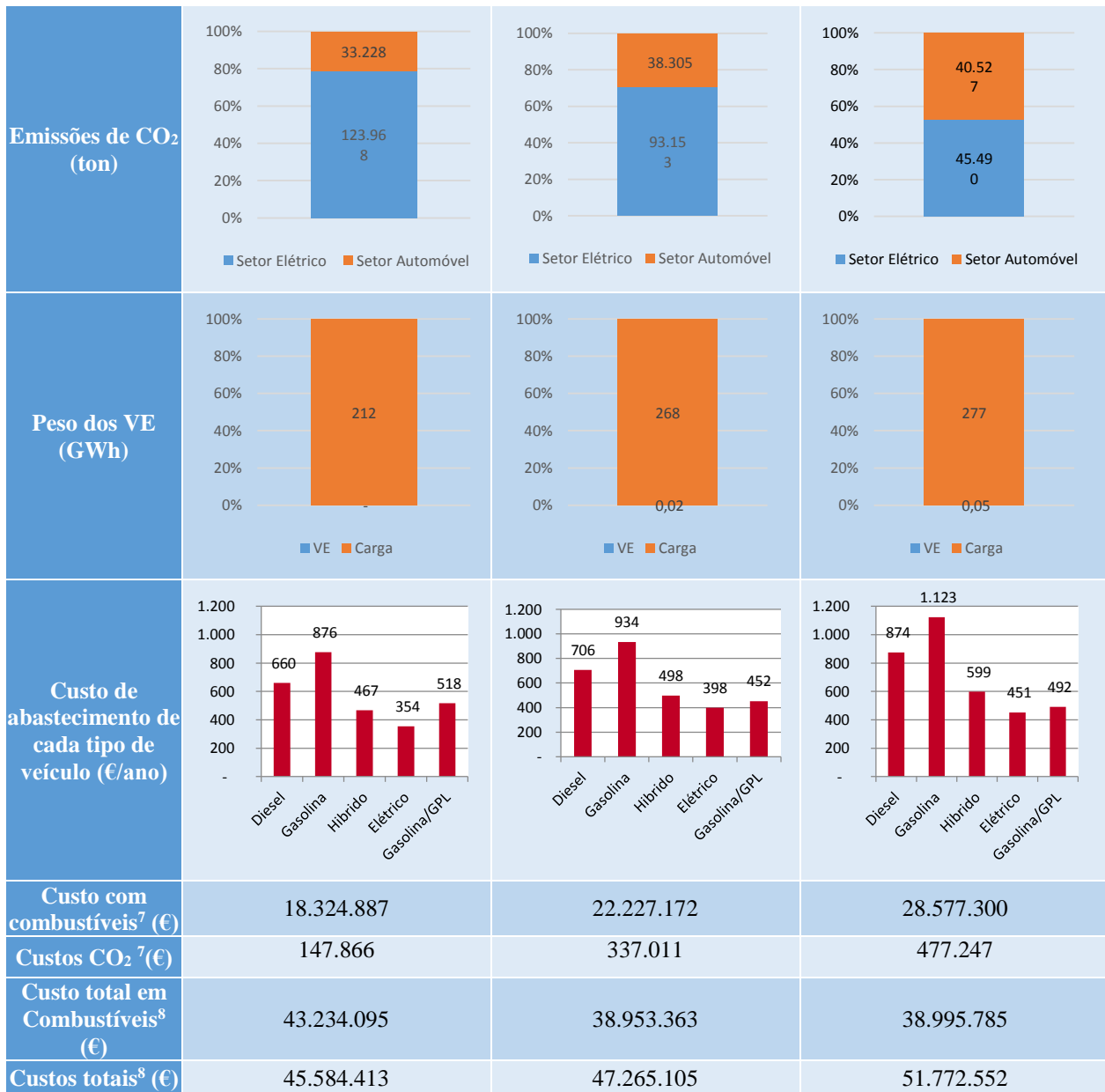
Tendo em consideração o preço da eletricidade, o preço dos derivados do petróleo utilizados nos transportes, os consumos médios de cada tipo de veículo e que em média se percorre 27 km por dia, foi calculado o que é gasto em combustíveis por ano, pelo utilizador do veículo. Chegou-se a conclusão que o veículo ligeiro mais barato de abastecer é o elétrico e o mais caro é um veículo a gasolina, estando na tabela seguinte os valores para cada tipo de veículo para 2013, 2020 e 2030.

Tabela 5.2 – Resumo dos casos de estudo 1, 2 e 12

Ano	2013	2020	2030
Energia total <sup>6</sup> (GWh)	211,9	267,6	276,8
Energia VE (GWh)	-	0,0	0,0
Energia renovável (%)	15%	49,6%	76,3%
Energia primaria total <sup>6</sup> (GWh)	465,5	458,1	370,1
Consumo combustível <sup>6</sup> (ton)	37.856	28.446	13.891
Custos em Emissões <sup>6</sup> (€)	552.262	819.579	45.490
Custo com fuelóleo <sup>6</sup> (€)	24.909.207	16.726.191	10.418.485
Custos com energias renováveis (€)	1.650.189	7.155.152	11.763.829
Custo total <sup>6</sup> (€)	27.111.659	24.700.922	22.718.005
Mix de emissões (g/kWh)	585,0	348,2	164,4
Excesso de produção (GWh)	-	-	0,3

<sup>6</sup> Setor elétrico





### 5.1.2. Cenário com penetração de VE (referência) para 2020 e 2030

Para esta análise foram considerados os casos de estudo 5 e 14 para os anos de 2020 e 2030 respetivamente. Para estes cenários foi considerada a penetração de veículos elétricos de referência. São apresentados os diagramas de um dia típico (4ª feira, sábado e domingo) de primavera e um de inverno para cada caso de estudo com carregamento controlado (4.5.4.1. cenário 3)

Nos casos de estudos 5 e 14, nas Figura 5.7 à Figura 5.10, existem penetração de renováveis de forma semelhante às descritas no caso anterior.

<sup>7</sup> Setor automóvel

<sup>8</sup> Setor elétrico e automóvel

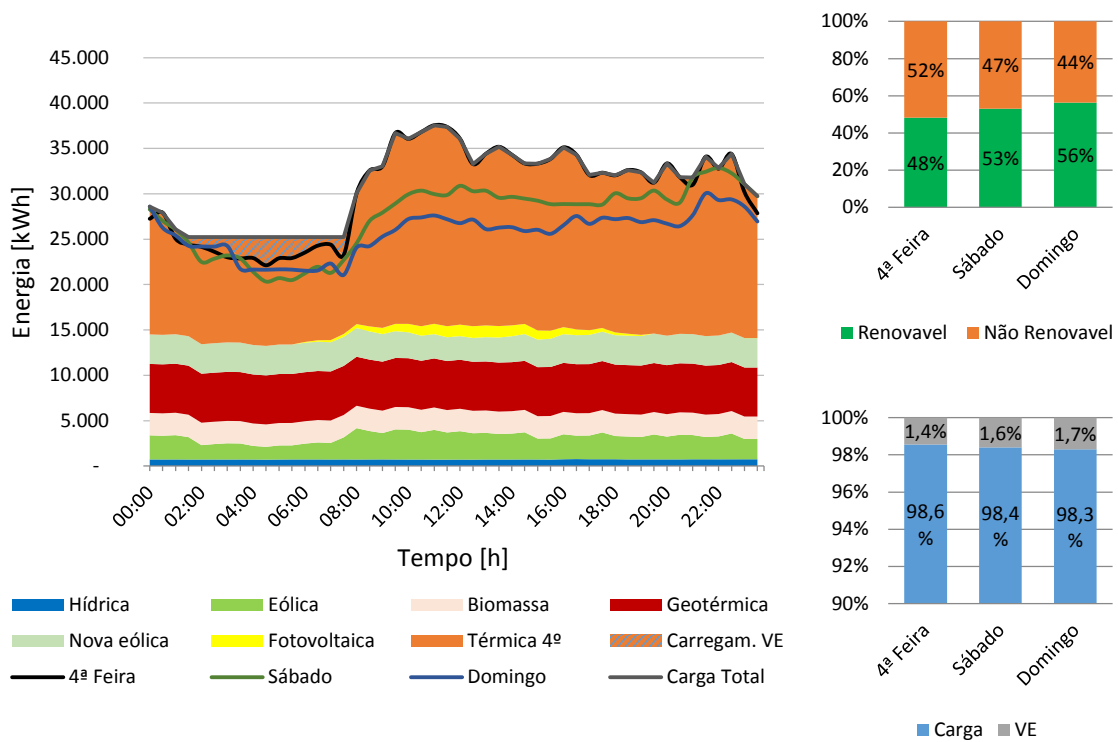


Figura 5.7 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

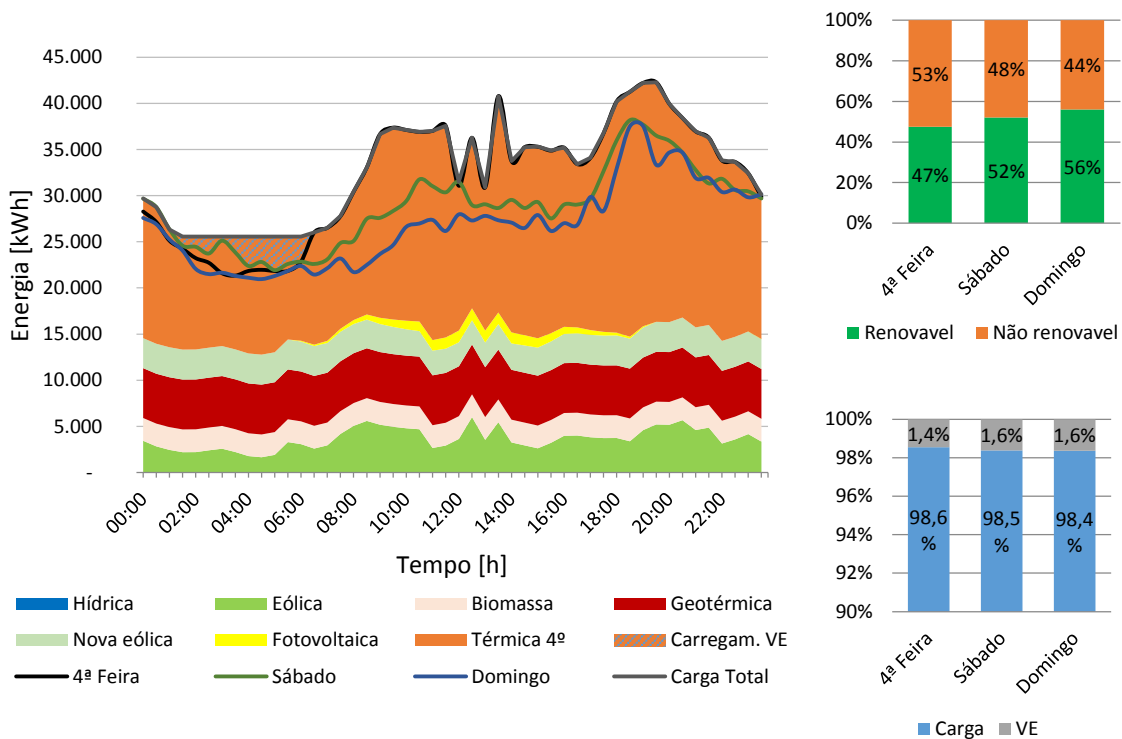


Figura 5.8 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

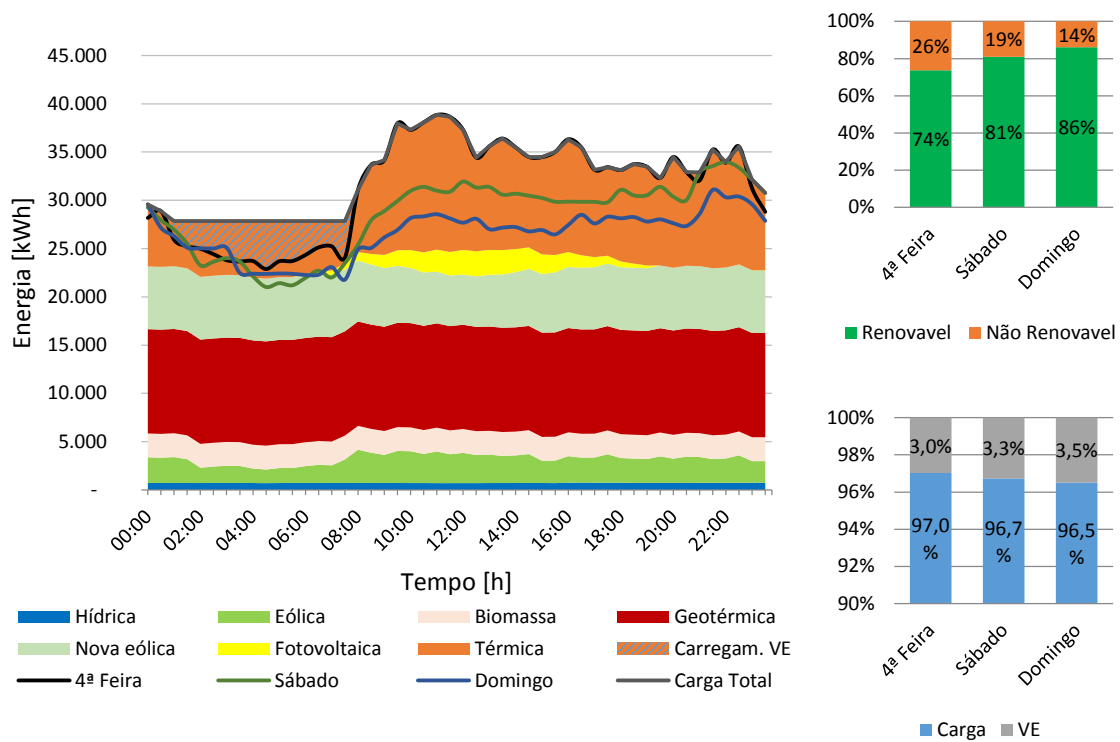


Figura 5.9 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

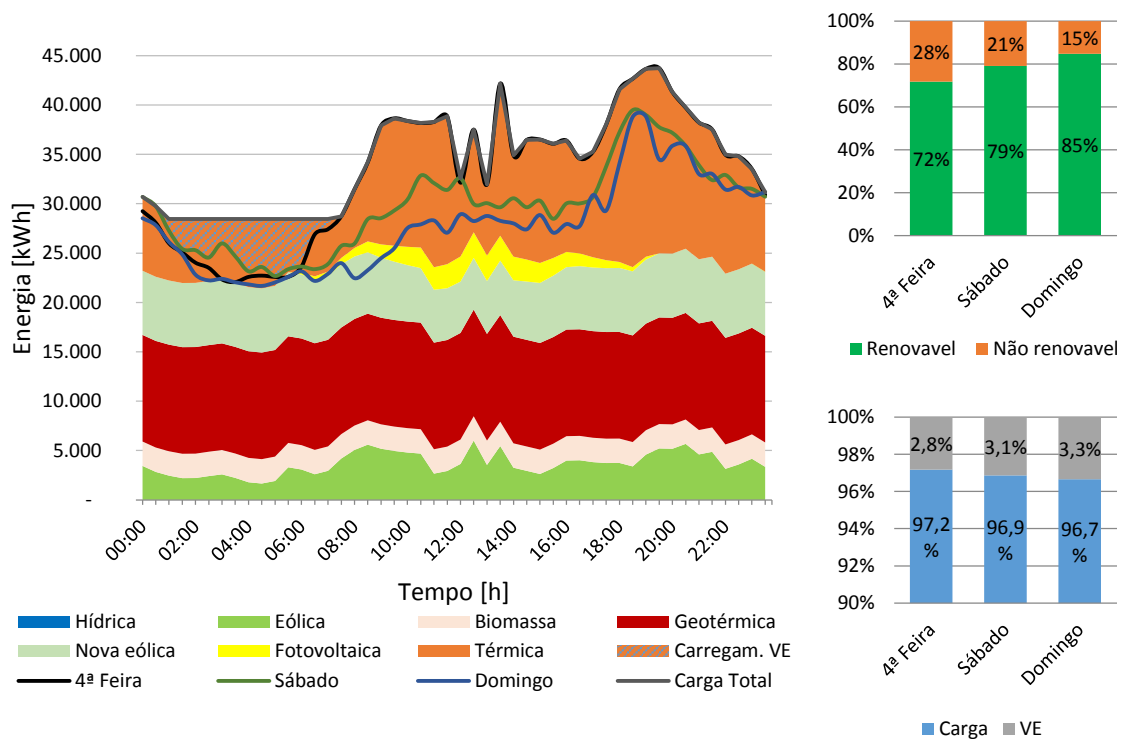


Figura 5.10 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

O cenário apresentado neste ponto é em tudo semelhante ao apresentado no ponto anterior exceto que existe uma penetração de referência de veículos elétricos. No setor elétrico têm de se ter em consideração que é necessário mais uma determinada quantidade de energia para o carregamento dos veículos elétricos. Em 2020 considerando que o parque automóvel terá cerca de 2000 veículos elétricos é necessário que sejam produzidos mais 3,9 GWh nesse ano e em 2030 com 4300 veículos elétricos mais 8,4 GWh.

Para 2020, e comparando com o cenário do ponto anterior sem penetração de veículos elétricos, no setor elétrico verifica-se um aumento de energia produzida de 1,4 % com custos totais de mais 2 %. Mas em contrapartida no setor automóvel existe uma redução de importação de combustíveis fósseis de 7,1 % com a mesma proporção nos custos do setor automóvel.

Tendo em conta os dois setores, consegue-se uma redução de importações fósseis de 0,2 % e de custos de 2,3 %, comparando com o cenário sem penetração de veículos elétricos para 2020.

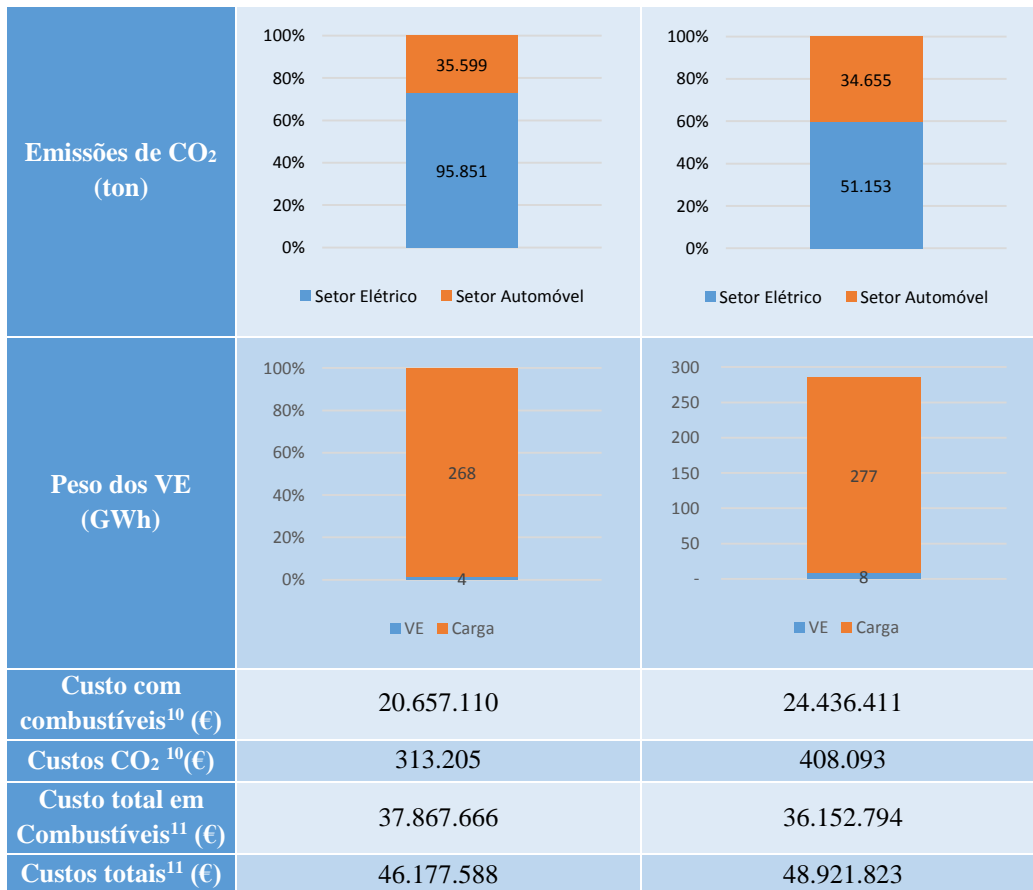
Em 2030 no caso do setor elétrico é semelhante a 2020 mas com um aumento de produção de 3 % e custos totais do setor elétrico de mais 6 % em comparação ao caso de estudo sem veículos elétricos. Seguindo os mesmos termos de comparação, mas para o setor automóvel, tem-se uma redução de energia fóssil importada e de custos de 14,5 %. Observando os dois setores em conjunto, tem-se que é necessário importar menos 1 % de combustíveis fósseis com a penetração de veículos elétricos tem-se uma redução nos custos totais de 5,5 %.

Tabela 5.3 – Resumo dos casos de estudo 5 e 14

Ano	2020	2030
Energia total <sup>9</sup> (GWh)	271,4	285,1
Energia VE (GWh)	3,9	8,4
Energia renovável (%)	48,9%	74,0%
Energia primaria total <sup>9</sup> (GWh)	590,9	389,8
Consumo combustível <sup>9</sup> (ton)	29.270	15.622
Custos em Emissões <sup>9</sup> (€)	843.313	602.425
Custo com fuelóleo <sup>9</sup> (€)	17.210.556	11.716.383
Custos com energias renováveis (€)	7.153.405	11.758.510
Custo total <sup>9</sup> (€)	25.207.273	24.077.319

<sup>9</sup> Setor elétrico

Mix de emissões (g/kWh)	353,1	179,4
Excesso de produção (kWh)	-	0,1
Mix de produção	<p> <span style="color: blue;">■</span> Hídrica      <span style="color: green;">■</span> Eólica  <span style="color: orange;">■</span> Térmica    <span style="color: red;">■</span> Geotérmica  <span style="color: brown;">■</span> Biomassa    <span style="color: lightgreen;">■</span> Nova eólica  <span style="color: yellow;">■</span> Fotovoltaica         </p>	<p> <span style="color: blue;">■</span> Hídrica      <span style="color: green;">■</span> Eólica  <span style="color: orange;">■</span> Térmica    <span style="color: red;">■</span> Geotérmica  <span style="color: brown;">■</span> Biomassa    <span style="color: lightgreen;">■</span> Nova eólica  <span style="color: yellow;">■</span> Fotovoltaica         </p>
Distribuição da frota de automóveis ligeiros		
Número de veículos por tipo de combustível		
Importação de combustíveis fósseis (GWh)		



Com resultados iguais aos obtidos no caso de estudo número 5 existem também o 3 e 4, com carregamento não controlado e vazio respetivamente. O caso de estudo com o carregamento não controlado não é uma boa solução porque em algumas estações do ano como é o exemplo do inverno vai aumentar a hora de ponta. O carregamento na hora de vazio é uma opção possível mas a opção mais viável é a apresentada neste ponto, pois é a que preenche sempre as horas de vazio e faz um alisamento da carga.

### 5.1.3. Cenário com 100 % de VE para 2020 e 2030

Para esta análise foram considerados os casos de estudo 7 e 15 para os anos de 2020 e 2030 respetivamente. Para estes cenários foi considerado que a totalidade do parque automóvel de veículos ligeiros é 100 % de veículos elétricos. Este cenário é extremamente irrealista, mas muito bom para analisar o impacto que ele causaria.

São apresentados os diagramas de um dia típico (4ª feira, sábado e domingo) de primavera e um de inverno para cada caso de estudo.

<sup>10</sup> Setor automóvel

<sup>11</sup> Setor elétrico e automóvel

Nos casos de estudos 7 e 15, nas Figura 5.11 à Figura 5.14, existem penetração de renováveis de forma semelhante às descritas nos casos anteriores.

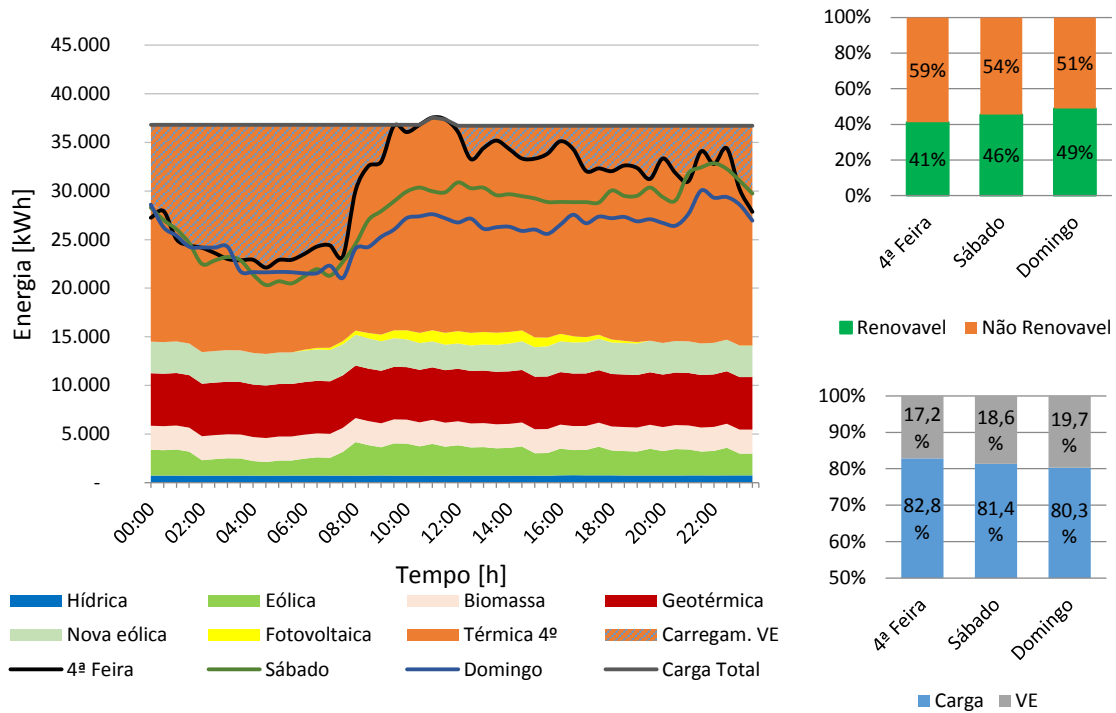


Figura 5.11 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

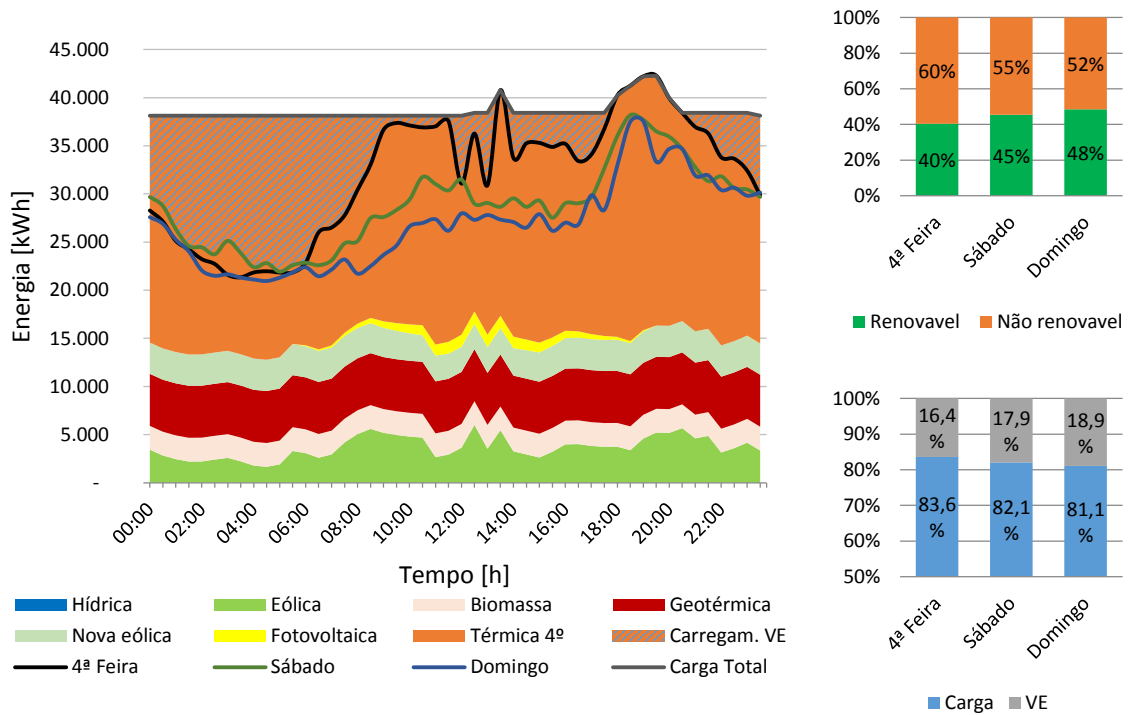


Figura 5.12 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

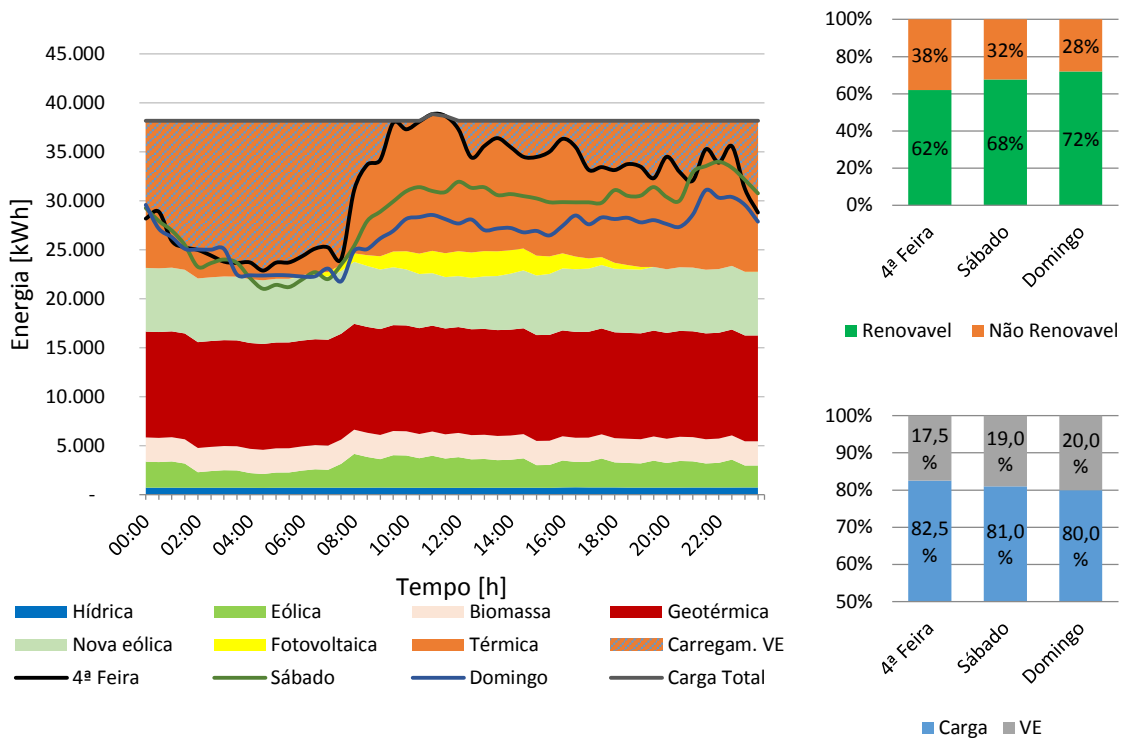


Figura 5.13 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

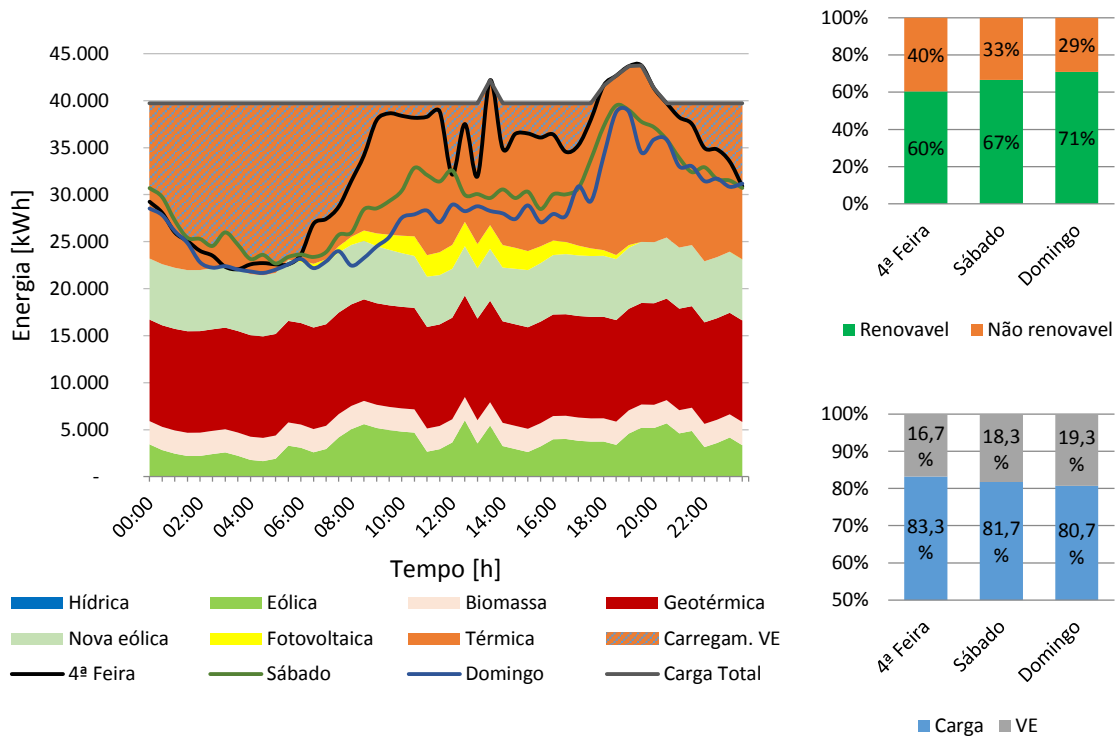


Figura 5.14 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Com a frota de veículos ligeiros composta por 100 % de veículos elétricos, verificam-se mudanças bastante significativas. Começando por ser necessário mais 20,5 % de produção de energia elétrica em 2020 do que no cenário sem veículos elétricos, para o mesmo ano. Como não há energia renovável, na ilha, suficiente para conseguir satisfazer este aumento de produção, é necessário fazê-lo a partir de fontes não renováveis, logo existe um grande aumento da produção de energia térmica, aumentando assim 41 % das emissões de CO<sub>2</sub> e da importação de fuel óleo no setor elétrico e 29 % dos custos totais.

Em compensação ao facto de haver um aumento no setor elétrico, o setor automóvel não tem qualquer tipo de importação de combustíveis fósseis nem de emissões de CO<sub>2</sub>, pois os veículos elétricos não têm emissões e as emissões resultantes da geração de energia para o carregamento dos veículos são consideradas no setor elétrico.

Olhando agora para a perspetiva conjunta dos dois setores verifica-se uma redução de 0,1 % de emissões de CO<sub>2</sub>, uma diminuição de importações de combustíveis fósseis de 3,5 % e o mais significativo uma redução nos custos totais de 32,6 %, comparando sempre com o cenário para o mesmo ano sem penetração de veículos elétricos.

Para o ano de 2030, como foi reforçada a instalação de energias renováveis, mesmo existindo um aumento da carga no setor elétrico e do número de veículos no setor automóvel, consegue-se uma redução total na importação de combustíveis fósseis de 5,7 % comparando com o caso de estudo 12 (ano 2030 sem penetração de veículos elétricos).

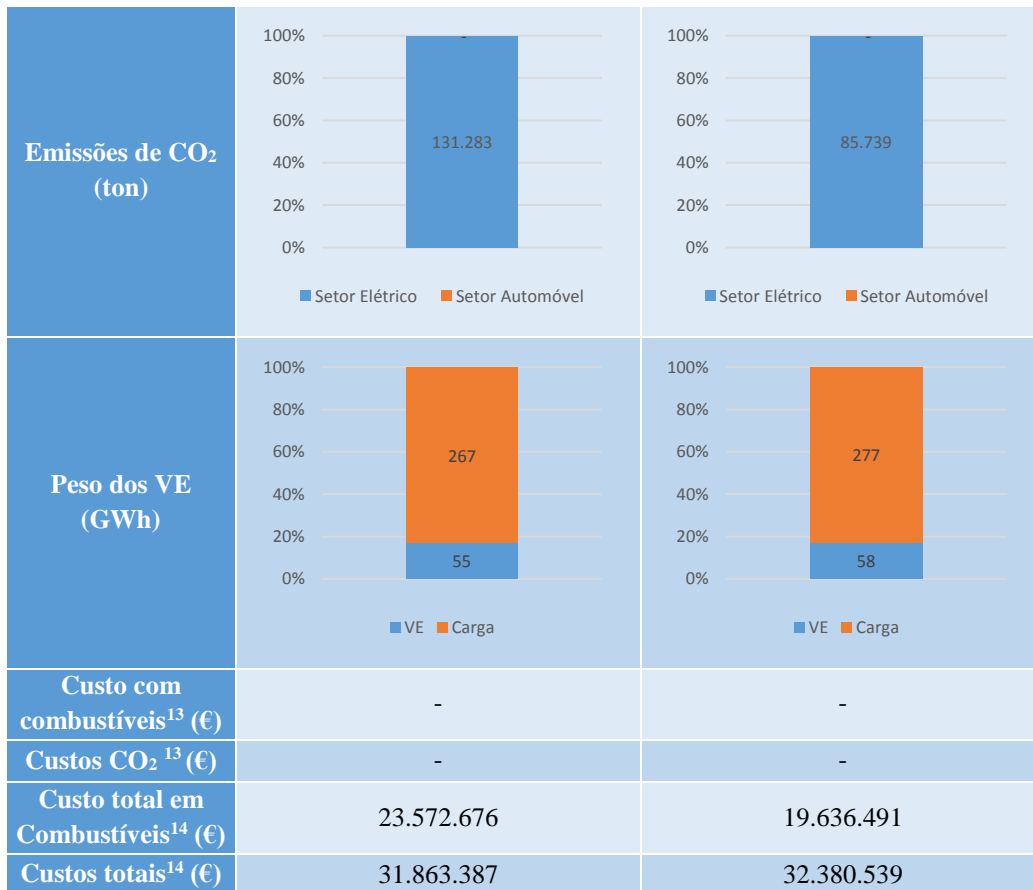
Tabela 5.4 – Resumo dos casos de estudo 7 e 15

Ano	2020	2030
Energia total <sup>12</sup> (GWh)	322,4	334,8
Energia VE (GWh)	55,0	58,3
Energia renovável (%)	41,0%	62,9%
Energia primaria total <sup>12</sup> (GWh)	590,9	510,2
Consumo combustível <sup>12</sup> (ton)	40.090	26.182
Custos em Emissões <sup>12</sup> (€)	1.155.055	1.009.656
Custo com fuelóleo <sup>12</sup> (€)	23.572.676	19.636.491
Custos com energias renováveis (€)	7.135.656	11.734.391

<sup>12</sup> Setor elétrico

Capítulo 5: Casos de Estudo

Custo total <sup>12</sup> (€)	31.863.387	32.380.539
Mix de emissões (g/kWh)	407,2	256,1
Excesso de produção (kWh)	-	-
Mix de produção	<p> <span style="color: blue;">■</span> Hídrica      <span style="color: green;">■</span> Eólica  <span style="color: orange;">■</span> Térmica      <span style="color: red;">■</span> Geotérmica  <span style="color: brown;">■</span> Biomassa      <span style="color: lightgreen;">■</span> Nova eólica  <span style="color: yellow;">■</span> Fotovoltaica         </p>	<p> <span style="color: blue;">■</span> Hídrica      <span style="color: green;">■</span> Eólica  <span style="color: orange;">■</span> Térmica      <span style="color: red;">■</span> Geotérmica  <span style="color: brown;">■</span> Biomassa      <span style="color: lightgreen;">■</span> Nova eólica  <span style="color: yellow;">■</span> Fotovoltaica         </p>
Distribuição da frota de automóveis ligeiros		
Número de veículos por tipo de combustível	<p>28.288</p>	<p>29.955</p>
Importação de combustíveis fósseis (GWh)	<p>459</p>	<p>300</p>



Muito semelhante ao caso de estudo número 7 apresentado neste ponto para o ano 2020 é o caso de estudo número 6, podendo ser observado no apêndice 4.6. Todos os cálculos são semelhantes bem como os seus resultados. A diferença bastante visível é nos diagramas de carga, que em vez de ter carregamento controlado, com alisamento de carga, tem carregamento seguindo a distribuição no horário de vazio. O que em vez de ajudar apenas a preencher as horas de vazio, cria uma hora de ponta superior à já existente, o que não é uma boa solução, por esse motivo nem foi considerado este caso de estudo para o ano de 2030.

<sup>13</sup> Setor automóvel

<sup>14</sup> Setor elétrico e automóvel



# Capítulo 6

---

## Conclusões

*Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas da realização desta dissertação e propostas para desenvolvimento futuro.*



## 6.1. Conclusões

Neste trabalho caracterizou-se o existente e realizaram-se projeções para o setor elétrico, dos transportes e dos preços de eletricidade e combustíveis para a ilha Terceira de 2013 a 2030.

Foram elaborados casos de estudo, tendo em conta essa caracterização e projeções, para ser possível avaliar os impactos económicos, energéticos e ambientais na ilha, tanto de um aumento de produção de fontes renováveis como da penetração de veículos elétricos.

Ao analisar-se o caso de estudo de 2013, e comparando com o existente, verificam-se ligeiras diferenças nos valores mas nada substancial, fato este por serem apenas analisados os dias típicos gerando assim algum erro nos valores anuais.

Começando por analisar a introdução de novas energias renováveis e o reforço da energia eólica já existente, sem penetração de veículos elétricos, para 2020 e com um aumento de energia produzida de 26 % consegue-se reduzir a produção a energia térmica de 85 % para 50 %, resultando assim numa diminuição de importações de fuelóleo de 24,9 % e redução de emissões de gases poluentes na mesma proporção. Obtém-se assim uma redução total de custos de 8,9 %, já com as novas tecnologias, a diferença de custos é relevante mas se olharmos para o impacto ambiental é bastante significativo, pois existe uma redução nas emissões de 24,9 %. Se se fizer mais um reforço de energias renováveis, para 2030, reduz-se a produção de térmica para 24 %, reduzindo assim as importações de fuelóleo e emissões em 63 %, com uma redução nos custos de 16 %. Conclui-se assim que aumentar a percentagem de energias renováveis é benéfico tanto a nível ambiental como a nível económico, tendo apenas que se ter em conta a estabilidade da rede visto que a energia eólica e a solar são energias intermitentes e tem de se assegurar a carga.

Com a introdução de 2000 veículos elétricos até 2020 e 4300 até 2030 são necessário mais 3,9 GWh e 8,4 GWh anuais para o seu carregamento para os anos 2020 e 2030 respetivamente. Em 2020, e comparando com o cenário sem VE são necessários mais 2,9 % de fuelóleo para a produção de eletricidade, para o carregamento dos VE, mas para compensar esse fato é necessário menos 7,1 % de outros derivados de petróleo. O saldo final é positivo, sendo necessário importar menos 0,2 % de combustíveis e a redução nos custos é de 2,3 %, no caso das emissões são basicamente iguais.

No caso de estudo, em que o consumo de eletricidade é pessimista, para 2030, obteve-se uma produção renovável de 85 % um resultado bastante bom, mas com excesso de produção principalmente no outono, a estação onde existe mais produção eólica, necessitando assim uma atenção especial para a segurança da rede nunca estar em causa.

O cenário da substituição total da frota de veículos ligeiros a combustível por veículos elétricos, é algo que possivelmente não acontecerá nos próximos anos, mas olhando para os

resultados pode-se ver que só traria benefícios. Em primeiro lugar os veículos elétricos não têm emissões locais, sendo que será necessário aumentar a produção de eletricidade e conseqüentemente aí terá emissões e necessitará de combustíveis fósseis, pois será necessário sempre recorrer a energia da central térmica. Tendo assim, que em 2020, serão necessários mais 41 % de combustível e de emissões no setor elétrico do que se não houvesse alguma penetração de veículos elétricos. Mas como não é necessário mais nenhum tipo de combustível para os veículos, tem-se que as emissões são basicamente as mesmas, há uma redução de 3,5 % na importação de combustíveis e uma redução nos custos de 32,6 % que já é bastante significativo.

Para 2030, será necessário importar menos 5,7 % do que na situação sem veículos elétricos e terá menos 0,3 % de emissões mas com um custo total de menos 37,5 %.

É do conhecimento geral que o investimento num carro elétrico não é propriamente barato, mas se se tiver em conta o que se gasta em abastecimentos por ano é bastante aliciante. Comparando com os carros ditos tradicionais, é cerca de 60 % e 46 % mais barato do que carros a gasolina e a gasóleo respetivamente.

## **6.2. Desenvolvimentos futuros**

Como futuros desenvolvimentos seria interessante averiguar os limites de penetração de energias renováveis para conseguir manter a estabilidade da rede na ilha terceira, bem como, aprofundar o tema de uma rede inteligente para o carregamento dos veículos elétricos.

# Bibliografia

---

*No presente capítulo estão indicadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração desta dissertação.*



# Bibliografia

- [1] C. Furtado e T. Braga, “Energias Renováveis nos Açores,” ARENA - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma dos Açores, 2007.
- [2] N. Duic, M. Lerer e M. G. Carvalho, “INCREASING THE SUPPLY OF RENEWABLE ENERGY,” *International Journal of Sustainable*, pp. 177-186, 4 12 2003.
- [3] J. Merino, C. Veganzones, J. A. Sanchez, S. Martinez e C. A. Platero, “Power System Stability of a Small Sized Isolated Network Supplied by a Combined Wind-Pumped Storage Generation System: A Case Study in the Canary Islands,” *energies*, pp. 2351-2369, 5 2012.
- [4] Azorina, “Plano de ação para a energia sustentável - Arquipélago dos Açores,” Março de 2012.
- [5] F. Chen, N. Duic, L. M. Alves e M. d. G. Carvalho, “Renewislands—Renewable energy solutions for islands,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1888-1902, 2007.
- [6] T. L. Jensen e Forum for Energy and Development, *Renewable Energy on Small Islands*. 2nd, 2000.
- [7] N. Duic, G. Krajacic e M. d. G. Carvalho, “RenewIslands methodology for sustainable energy and resource planning for islands,” *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, p. 1032–1062, 13 10 2006.
- [8] P. Kadurek, C. Ioakimidis e P. Ferrão, “Electric Vehicles and their Impact to the Electric Grid in isolated systems,” *POWERENG - IEEE*, 2009.
- [9] J. Larminie e J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, Wiley, 2012.
- [10] J. Martins e F. Brito, *Carros Electricos*, Publindústria, 2012.
- [11] “Quarterly Journal of Science, Literature and the Arts,” 1822. [Online]. Available: <http://www.archive.org/stream/quarterlyjournal12jour#page/n485/mode/1up>. [Acedido em 20 3 2014].
- [12] “Tesla Motors,” [Online]. Available: <http://www.teslamotors.com/roadster/gallery/view/5118>. [Acedido em 21 3 2014].
- [13] “Toyota,” [Online]. Available: [http://www.toyota.pt/cars/new\\_cars/prius/index.tmex](http://www.toyota.pt/cars/new_cars/prius/index.tmex). [Acedido em 21 3 2014].
- [14] “chevrolet,” [Online]. Available: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car/exterior-pictures.html>. [Acedido em 21 3 2014].

- [15] “Honda,” [Online]. Available: <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/exterior-photos.aspx>. [Acedido em 21 3 2014].
- [16] New Generation Electric Vehicles, Zoran Stević, 2012.
- [17] S. S. Williamson, Energy Management Strategies For Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Springer, 2013.
- [18] “Impacts of Electric Vehicles,” 4 2011. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/d1\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/d1_en.pdf). [Acedido em 9 4 2014].
- [19] “IMT,” [Online]. Available: <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/VeiculosEletricos/Paginas/IncentivosAquisicaoVeiculosElectricosporparticulares.aspx>. [Acedido em 10 4 2014].
- [20] “Mobilidade Eléctrica,” [Online]. Available: <http://www.mobie.pt/veiculos;jsessionid=FA9B20E4D16A697A9F17EC6FD0B1A770.jvm1>. [Acedido em 10 4 2014].
- [21] “Produção de energia eléctrica ( kWh), nos Açores, por Ilha e por ano,” 1991-2001. [Online]. Available: <http://estatistica.azores.gov.pt/upl/%7B6b3a4d1b-d43f-487a-b147-4bc937f6085b%7D.pdf>. [Acedido em 13 3 2014].
- [22] “Produção de energia eléctrica ( kWh), nos Açores, por Ilha e por ano,” 2001-2011. [Online]. Available: <http://estatistica.azores.gov.pt/upl/%7Bb3e08b88-6d1c-43fc-806b-76ac1ddbc201%7D.pdf>. [Acedido em 13 3 2014].
- [23] “Direcção-Geral de Energia e Geologia,” [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>. [Acedido em 24 3 2014].
- [24] “Governo dos Açores,” 15 05 2014. [Online]. Available: [http://www.azores.gov.pt/PortalAzoresGov/external/portal/comparativo\\_combustiveis/comparativo\\_combustiveis\\_01\\_11\\_2012.pdf](http://www.azores.gov.pt/PortalAzoresGov/external/portal/comparativo_combustiveis/comparativo_combustiveis_01_11_2012.pdf).
- [25] “DGEG - Preço dos Combustiveis,” 15 05 2014. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt?cr=7809>.
- [26] “Sende - A bolsa de CO2,” [Online]. Available: [http://www.sendeco2.com/pt/precio\\_co2.asp?ssidi=6](http://www.sendeco2.com/pt/precio_co2.asp?ssidi=6). [Acedido em 21 05 2014].
- [27] “Caracterização das Redes de Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica da Região Autónoma dos Açores,” Electricidade dos Açores - EDA, S.A., 2013.
- [28] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energetico, “COMÉRCIO EUROPEU DE LICENÇAS DE EMISSÃO DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA - ANÁLISE PARA PORTUGAL DO PERÍODO 2005-2010,” [Online]. Available:

- [http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/Documents/Caracterizacao%20CELE%202005-2010\\_vf.pdf](http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/Documents/Caracterizacao%20CELE%202005-2010_vf.pdf). [Acedido em 06 05 2014].
- [29] “central termoeétrica. In Infopédia,” [Online]. Available: [http://www.infopedia.pt/\\$central-termoelectrica](http://www.infopedia.pt/$central-termoelectrica). [Acedido em 17 3 2014].
- [30] “Resumo não tecnico para os grupos 5, 6, 9 e 10 da Central Termoelectrica do Belo Jardim,” EDA - Electricidade dos Açores, SA.
- [31] “central hidroelétrica. In Infopédia,” [Online]. Available: [http://www.infopedia.pt/\\$central-hidroelectrica](http://www.infopedia.pt/$central-hidroelectrica). [Acedido em 17 3 2014].
- [32] “Central Hídricas – Terceira,” [Online]. Available: <http://www.eda.pt/EDA/DocsProducao/Centrais%20H%C3%ADdricas%20-%20Terceira.pdf>. [Acedido em 17 03 2014].
- [33] “energia eólica. In Infopédia,” [Online]. Available: [http://www.infopedia.pt/\\$energia-eolica](http://www.infopedia.pt/$energia-eolica). [Acedido em 17 3 2014].
- [34] “Parque Eólico Serra do Cume – Terceira,” [Online]. Available: <http://www.eda.pt/EDA/DocsProducao/Parque%20E%C3%B3lico%20Serra%20do%20Cume%20-%20Terceira.pdf>. [Acedido em 17 3 2014].
- [35] “EDA informa nº 144,” [Online]. Available: [http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Lists/EDAINFORMA/Attachments/1401/EDA\\_INFORMA\\_144\\_JAN\\_FEV\\_MAR%202012.pdf](http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Lists/EDAINFORMA/Attachments/1401/EDA_INFORMA_144_JAN_FEV_MAR%202012.pdf). [Acedido em 21 4 3 214].
- [36] “Energias Endogñas em Portugal - Parques Eólicos,” 2013. [Online]. Available: [http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal\\_Parques\\_Eolicos\\_201312.pdf](http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal_Parques_Eolicos_201312.pdf). [Acedido em 18 3 2014].
- [37] “EDA - Electricidade dos Açores,” [Online]. Available: <http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Rotulagem/Paginas/default.aspx>. [Acedido em 06 05 2014].
- [38] “Preços da electricidade para utilizadores domésticos,” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Quadro+Resumo/Portugal-4418>. [Acedido em 11 06 2014].
- [39] *Parque Automóvel em portugal Automóveis Ligeiros de Passageiros, Veículos Comerciais Ligeiros e Pesados*, ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2013.
- [40] *Vendas de Veículos Automóveis em Portual (por tipo de combustíveis)*, ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2013.
- [41] *Parque Automóvel Seguro*, Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões , 2013.

- [42] V. M. B. Nunes, “Química dos Biocombustíveis - Poder calorífico dos Combustíveis,” [Online]. Available: [www.docentes.ipt.pt/valentim/ensino/QB\\_poder\\_calorifico.ppt](http://www.docentes.ipt.pt/valentim/ensino/QB_poder_calorifico.ppt). [Acedido em 06 05 2014].
- [43] “Sun Earth Tools - Ferramentas para designers e consumidores de energia solar,” [Online]. Available: [http://www.sunearthtools.com/pt/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2\\_7](http://www.sunearthtools.com/pt/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_7). [Acedido em 05 05 2014].
- [44] A. Rocha, R. Aguiar e R. Coelho, “Solar Climate of Azores: results of monitoring at Faial and Terceira islands,” INETI, Department of Renewable Energies, Lisbon, Portugal.
- [45] R. Cabeças, J. M. Carvalho e J. C. Nunes, “Portugal Country Geothermal Update 2010,” *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, 25-29 Abril 2010.
- [46] “Energia Geotérmica,” [Online]. Available: <http://www.siam.azores.gov.pt/>. [Acedido em 7 4 2014].
- [47] Azorina, “Tecnologias Suscetíveis de ser utilizadas em ilhas,” Julho de 2012.
- [48] INE - Instituto Nacional de Estatísticas, “Estatísticas Demográficas - 2012,” [Online]. Available: [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=151772777&PUBLICACOESstema=55466&PUBLICACOESmodo=2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=151772777&PUBLICACOESstema=55466&PUBLICACOESmodo=2). [Acedido em 20 05 2014].
- [49] INE - Instituto Nacional de Estatísticas, “Projeções de população residente 2012-2060,” [Online]. Available: [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_destaques&DESTAQUESdest\\_boui=208819970&DESTAQUESmodo=2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=208819970&DESTAQUESmodo=2). [Acedido em 28 05 2014].
- [50] E. - U. E. I. Administration, “AEO2014 Early Release Overview,” [Online]. Available: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er(2014).pdf). [Acedido em 06 06 2014].
- [51] “Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866,” Maio 2013. [Online]. Available: [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social\\_cost\\_of\\_carbon\\_for\\_ria\\_2013\\_update.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social_cost_of_carbon_for_ria_2013_update.pdf). [Acedido em 12 06 2014].
- [52] C. Camus, J. Esteves e T. Farias, “Integration of Electric Vehicles in the Electric Utility Systems”.
- [53] K. Parks, P. Denholm e T. Markel, “Costs and Emissions Associated with Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging in the Xcel Energy Colorado Service Territory,” 05 2007.
- [54] E. - E. R. d. S. Energéticos, “Ciclo Horário,” [Online]. Available:

- [http://www.erse.pt/consumidor/electricidade/querosercliente/tenholigacaoarede/Documents/Documento\\_CiclosHor%C3%A1rios\\_Electricidade.pdf](http://www.erse.pt/consumidor/electricidade/querosercliente/tenholigacaoarede/Documents/Documento_CiclosHor%C3%A1rios_Electricidade.pdf). [Acedido em 03 06 2014].
- [55] “Auto Portal,” [Online]. Available: <http://www.autoportal.iol.pt/noticias/geral/bmw-i3-e-o-eletrico-mais-vendido-em-portugal>. [Acedido em 03 06 2014].
- [56] “BMW,” [Online]. Available: [http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/i/i3/2013/showroom/technical\\_data.html](http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/i/i3/2013/showroom/technical_data.html). [Acedido em 25 05 2014].
- [57] [Online].
- [58] “Nissan,” [Online]. Available: <http://www.nissanusa.com/ev/media/pdf/specs/FeaturesAndSpecs.pdf>. [Acedido em 25 05 2014].
- [59] “Renault,” [Online]. Available: [http://multimedia.ekstrabladet.dk/archive/00901/20130130\\_TS\\_Renault\\_901266a.pdf](http://multimedia.ekstrabladet.dk/archive/00901/20130130_TS_Renault_901266a.pdf). [Acedido em 25 05 2014].
- [60] F. Hacker, R. Harthan, F. Matthes e W. Zimmer, “Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in europe,” 07 2009. [Online]. Available: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573930397/>. [Acedido em 03 06 2014].
- [61] C. Camus, T. Farias e J. Esteves, “Potential impacts assessment of plug-in electric vehicles on the Portuguese energy market,” *Energy Policy* 39, pp. 5883-5897, 2011.
- [62] DGEG, “Produção e consumos,” [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt?cr=13917>. [Acedido em 05 06 2014].
- [63] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS),” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>. [Acedido em 15 05 2014].
- [64] “REORDENAMENTO DO ATERRO INTERMUNICIPAL DA ILHA TERCEIRA E VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO GRUPO CENTRAL E OCIDENTAL,” [Online]. Available: <http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/214229A6-98CB-4F68-8803-EDA4E928913E/612802/PFAterroIntTerceiravf.pdf>. [Acedido em 25 06 2014].
- [65] R. -. R. E. Nacionais, “A ENERGIA EÓLICA EM PORTUGAL 2012,” [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/EnergiaEolica/A%20Energia%20E%20C3%B3lica%20em%20Portugal%20-%202012.pdf>. [Acedido em 17 06 2014].
- [66] P. Lako, “Technical and economic features of renewable electricity technologies,”

- [Online]. Available: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2010/e10034.pdf>. [Acedido em 07 05 2014].
- [67] “Banco de Portugal,” [Online]. Available: <http://www.bportugal.pt/Mobile/BPStat/Forms/SeriesEstatisticas.aspx?IndID=P6COONOUdPI=&SerID=BRRBt06Tkaw=&&View=graph&SW=1349&lng=pt&sr=>. [Acedido em 15 05 2014].
- [68] Department of Energy & Climate Change, “Electricity Generation Costs,” [Online]. Available: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/65713/6883-electricity-generation-costs.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65713/6883-electricity-generation-costs.pdf). [Acedido em 05 05 2014].
- [69] “eia - U.S. Energy Information Administration,” [Online]. Available: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/tbla12.pdf>. [Acedido em 15 05 2014].
- [70] “Smart,” [Online]. Available: <http://www.smart.pt/pt/pt/index/smart-fortwo-electric-drive/electric-drive.html>. [Acedido em 25 05 2014].

# Apêndices

---

*Neste apêndice são apresentados todos os casos de estudo efetuados com relevância que não foram mostrados anteriormente, bem como custos nivelados de todas as centrais renováveis necessárias e todos os passos para o cálculo da frota de veículos ligeiros e ainda os perfis de carregamento dos veículos elétricos.*



## Apêndice 1: Custos nivelados de centrais renováveis

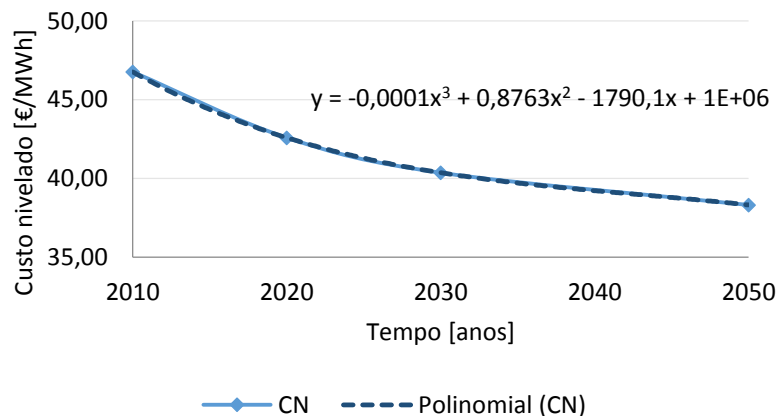


Figura do Apêndice 1.1 - Custo Nivelado para a Eólica em terra entre 2010 e 2050

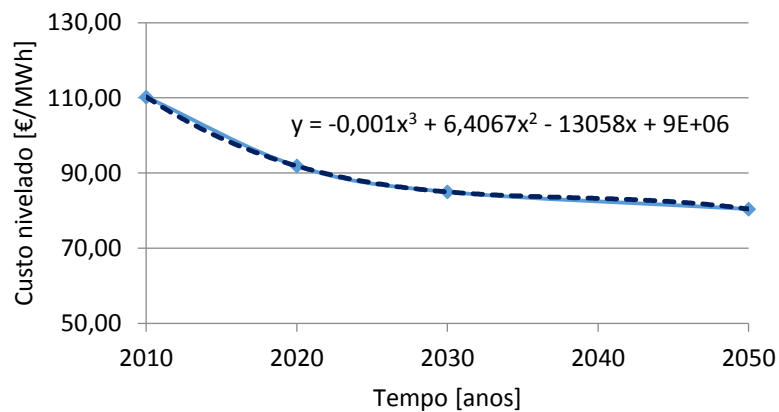


Figura do Apêndice 1.2 - Custo Nivelado para a Eólica no mar entre 2010 e 2050

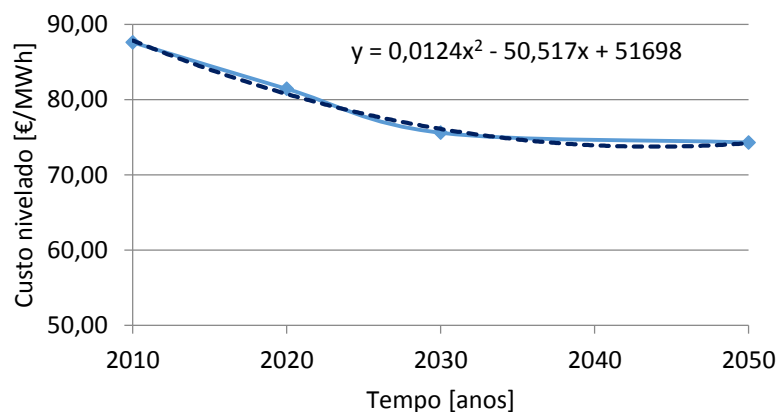


Figura do Apêndice 1.3 - Custo Nivelado para Geotérmica entre 2010 e 2050

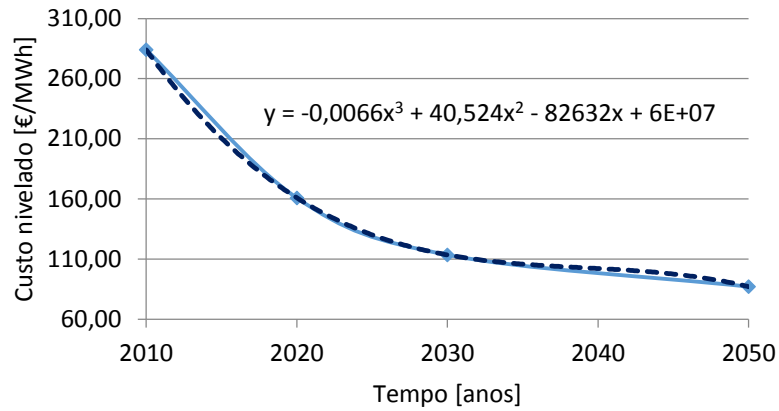


Figura do Apêndice 1.4 - Custo Nivelado para a solar PV entre 2010 e 2050

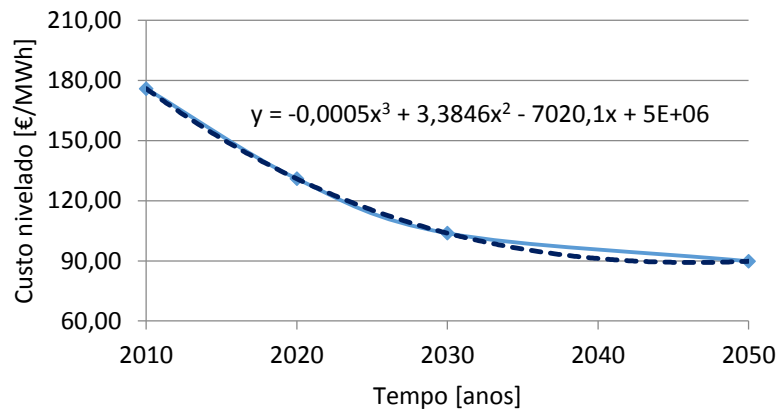


Figura do Apêndice 1.5 - Custo Nivelado para a solar térmica entre 2010 e 2050

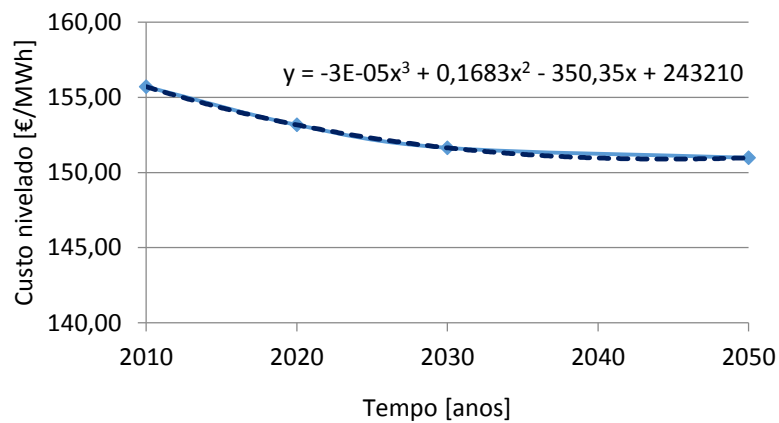


Figura do Apêndice 1.6 - Custo Nivelado para a mini hídrica 2010 e 2050

## Apêndices

Tabela do Apêndice 1.1 - Custos nivelados para diferentes tecnologias entre 2010 e 2050

	Eólica em terra	Eólica no mar	Geotérmica	Solar PV	Solar térmica	Pequena hídrica
2010	46,76	110,24	87,89	284,02	175,93	155,71
2011	46,24	107,71	87,06	267,16	170,54	155,40
2012	45,73	105,35	86,26	251,42	165,36	155,11
2013	45,26	103,16	85,49	236,75	160,38	154,83
2014	44,81	101,12	84,74	223,12	155,60	154,56
2015	44,38	99,24	84,02	210,49	151,02	154,30
2016	43,98	97,50	83,32	198,81	146,64	154,05
2017	43,60	95,90	82,64	188,05	142,44	153,82
2018	43,24	94,44	81,99	178,17	138,44	153,59
2019	42,91	93,10	81,36	169,12	134,61	153,37
2020	42,59	91,88	80,76	160,87	130,97	153,17
2021	42,30	90,78	80,19	153,38	127,51	152,97
2022	42,02	89,79	79,64	146,60	124,22	152,79
2023	41,76	88,90	79,11	140,51	121,10	152,61
2024	41,52	88,10	78,61	135,05	118,16	152,45
2025	41,29	87,39	78,13	130,19	115,37	152,29
2026	41,08	86,77	77,68	125,89	112,75	152,14
2027	40,88	86,22	77,25	122,11	110,28	152,00
2028	40,70	85,75	76,84	118,81	107,97	151,87
2029	40,53	85,34	76,47	115,95	105,82	151,75
2030	40,37	84,98	76,11	113,49	103,81	151,64



## Apêndice 2: Veículos

### 2.1. Penetração de veículos

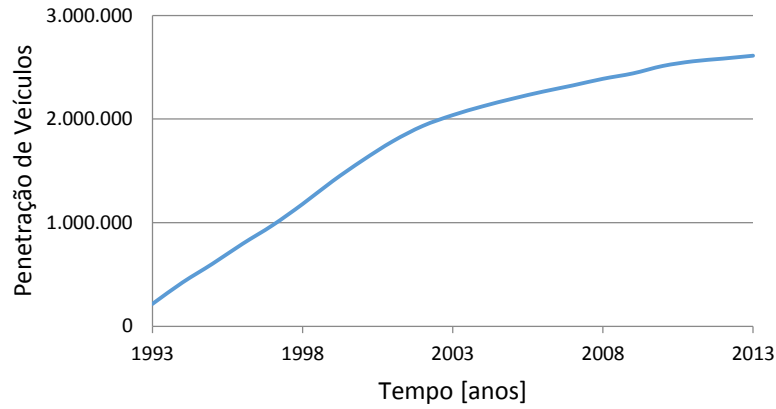


Figura do Apêndice 2.1 - Penetração de veículos a gasolina

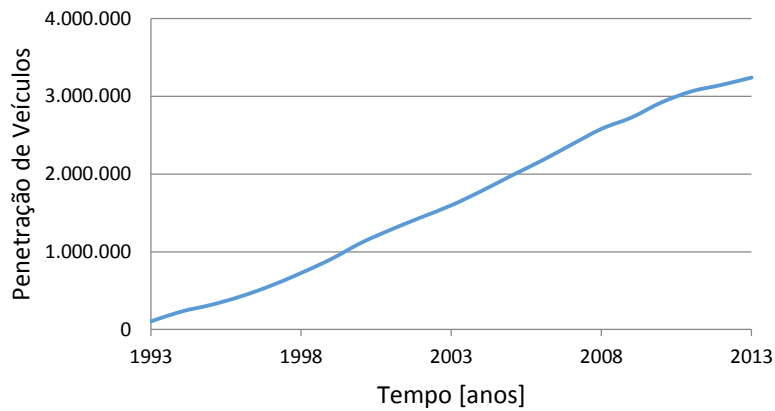


Figura do Apêndice 2.2 - Penetração de veículos a gásóleo

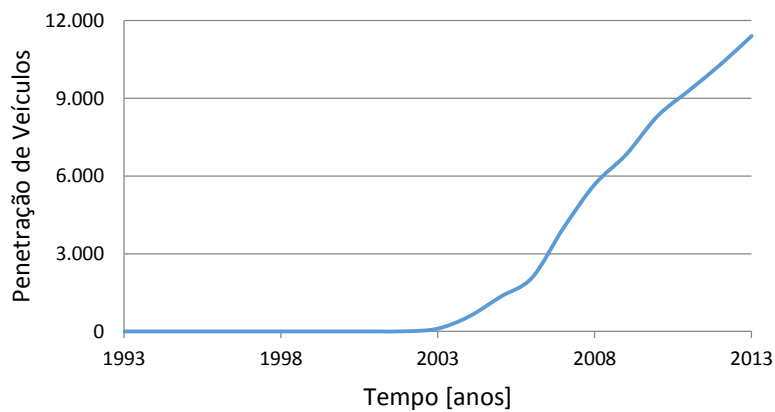


Figura do Apêndice 2.3 - Penetração de veículos Híbridos

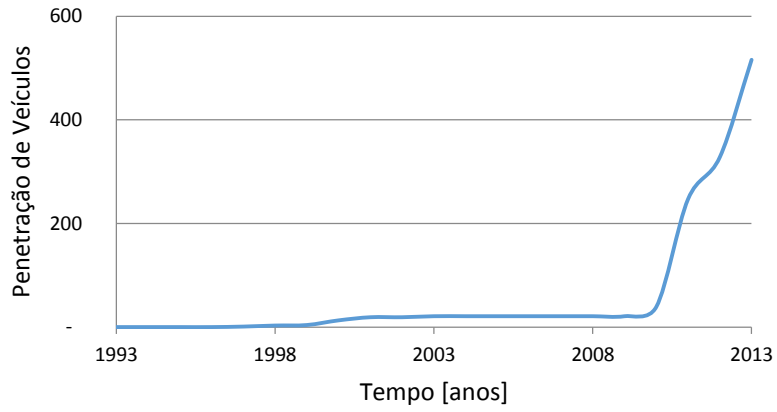


Figura do Apêndice 2.4 - Penetração de veículos Elétricos

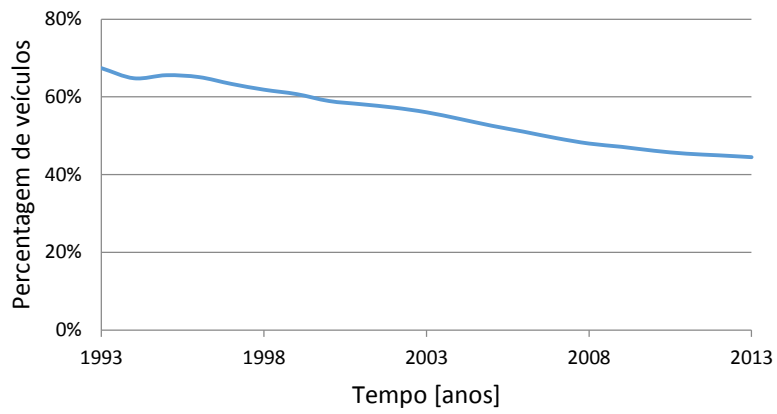


Figura do Apêndice 2.5 - Percentagem de veículos a gasolina

## 2.2. Percentagem de veículos

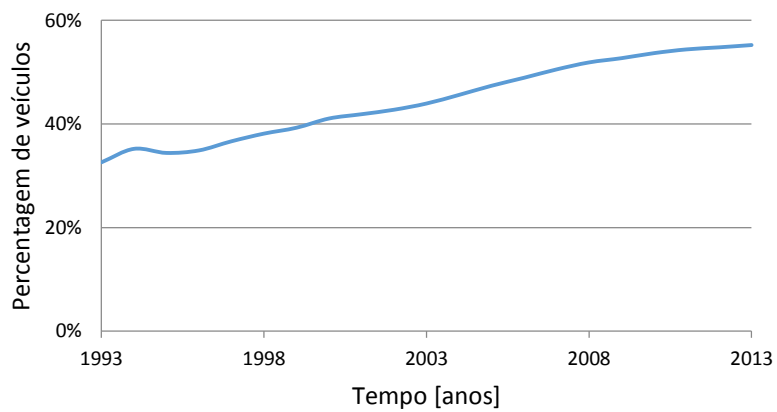


Figura do Apêndice 2.6 - Percentagem de veículos a gasóleo

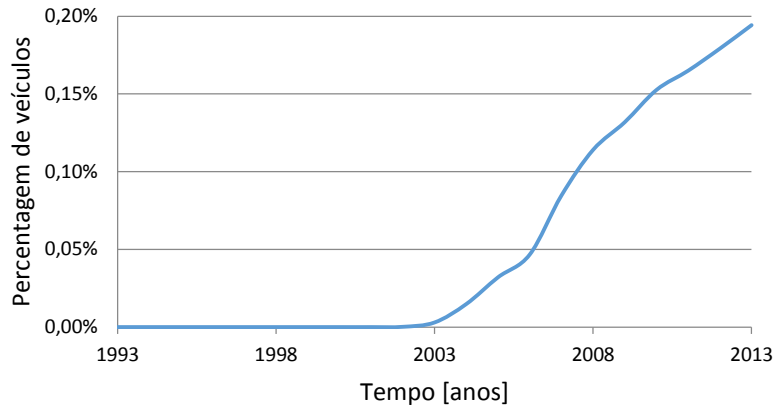


Figura do Apêndice 2.7 - Percentagem de veículos híbridos

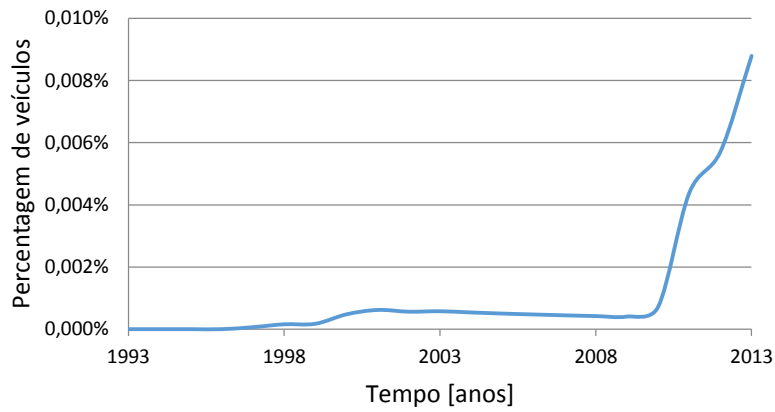


Figura do Apêndice 2.8 - Percentagem de veículos elétricos

### 2.3. Função de Gompertz para a penetração de veículos

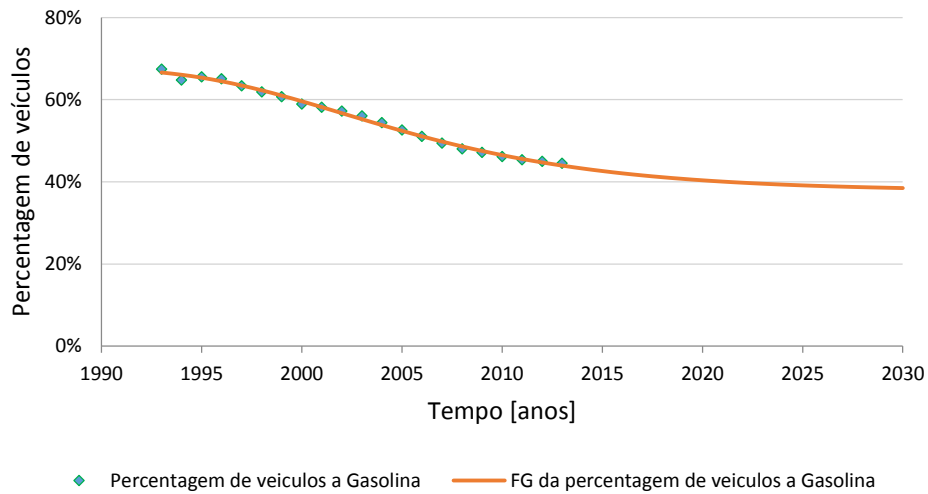


Figura do Apêndice 2.9 - Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasolina

Apêndices

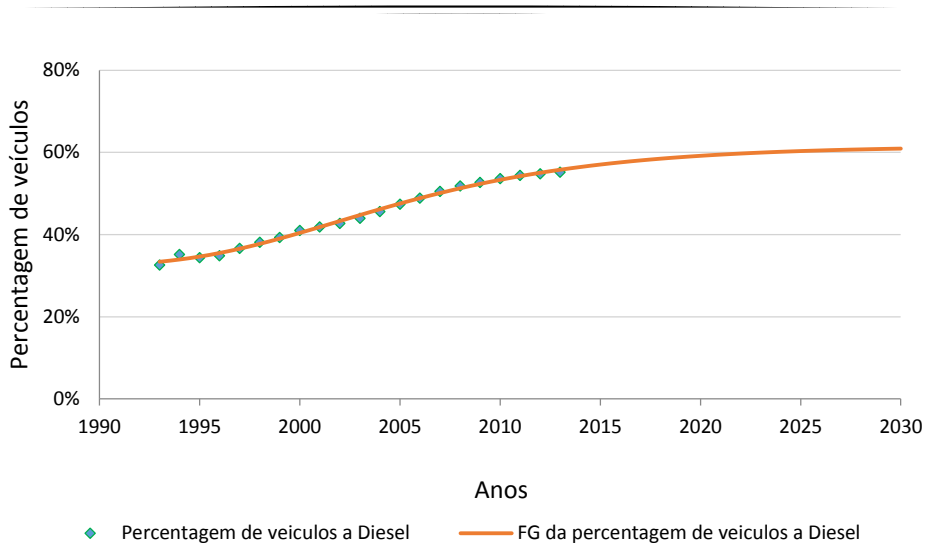


Figura do Apêndice 2.10 - Percentagem e função Gompertz para os de veículos a gasóleo

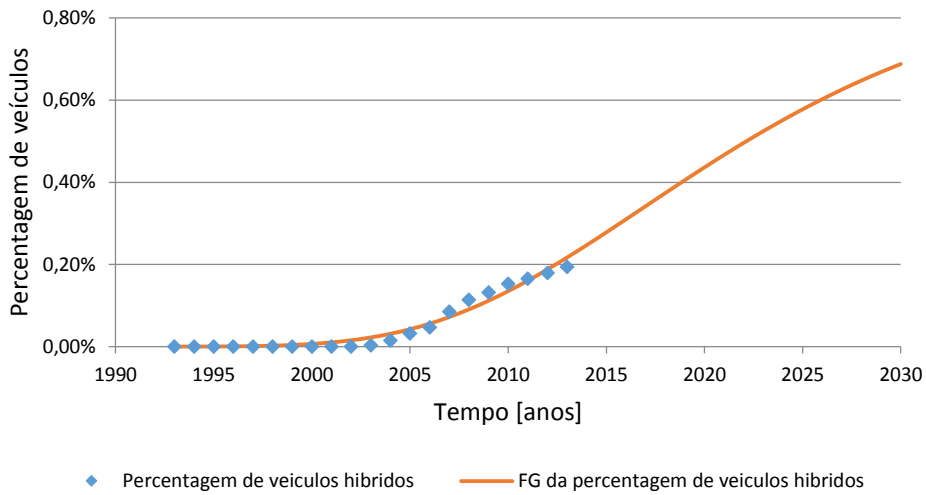


Figura do Apêndice 2.11 - Percentagem e função Gompertz para os de veículos híbridos

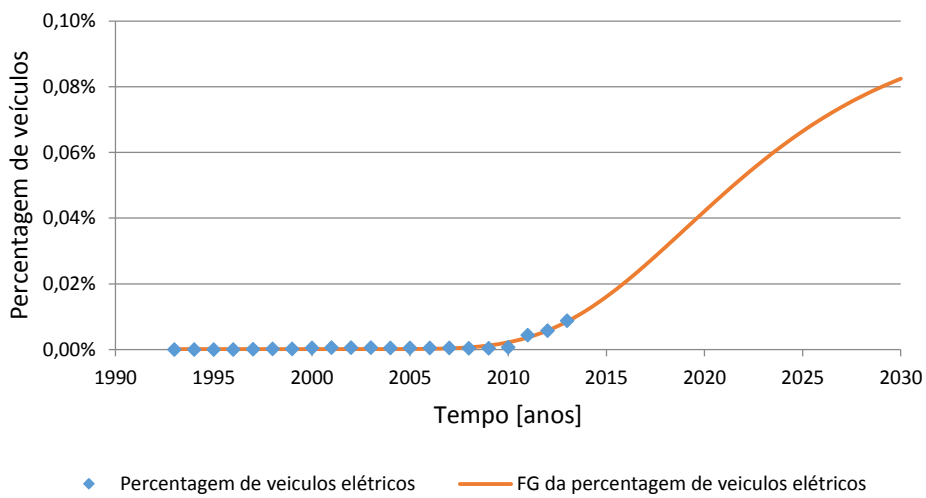


Figura do Apêndice 2.12 - Percentagem e função Gompertz para os de veículos elétricos

## 2.4. Cenários do parque automóvel

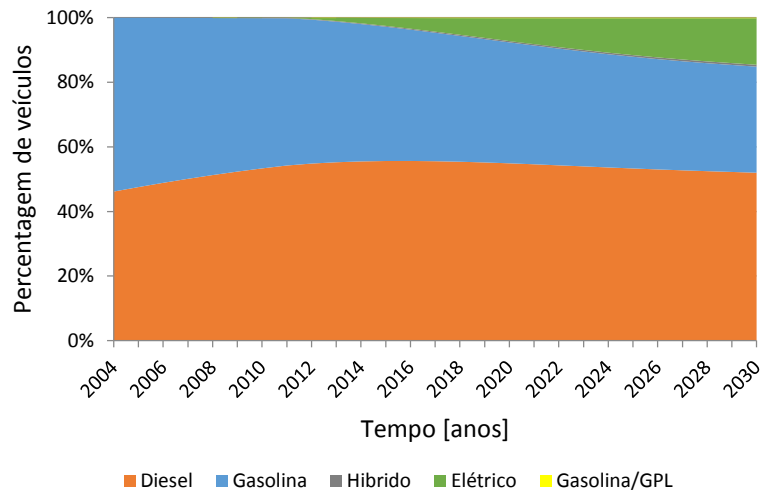


Figura do Apêndice 2.13 - Cenário referência para a frota de veículos ligeiros da ilha Terceira

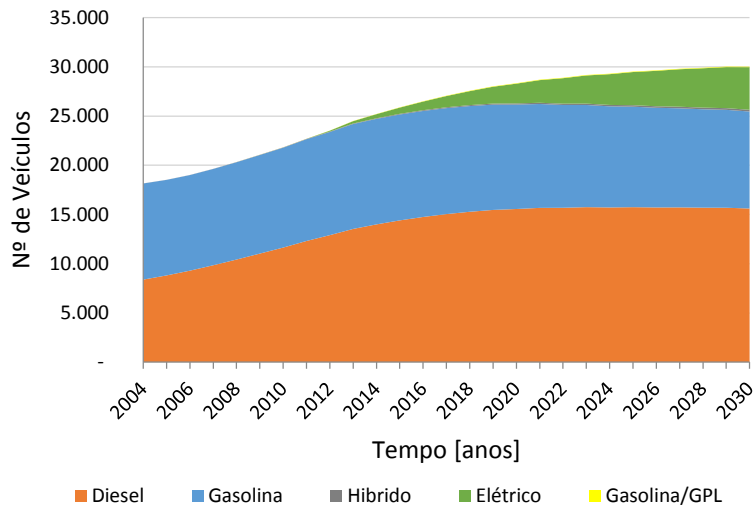


Figura do Apêndice 2.14 - Parque de automóveis ligeiros do cenário referência para ilha Terceira

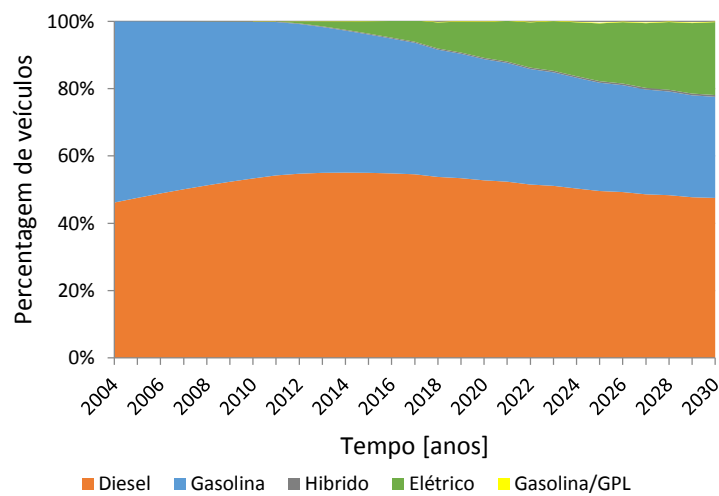


Figura do Apêndice 2.15 - Cenário otimista para a frota de veículos ligeiros da ilha Terceira

Apêndices

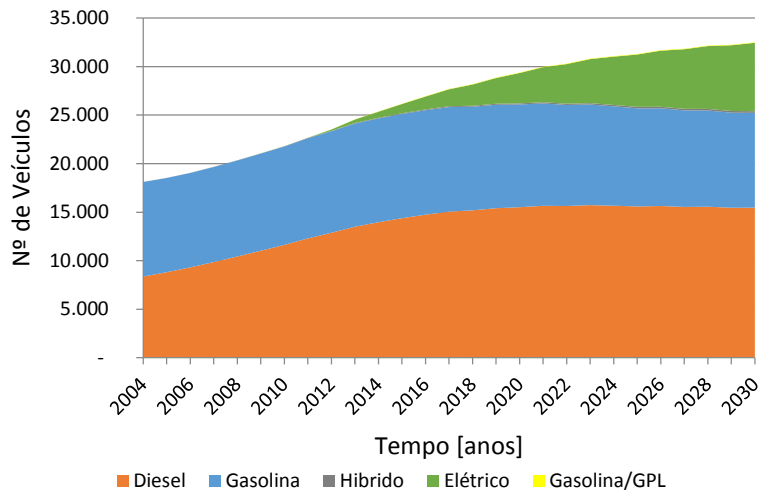


Figura do Apêndice 2.16 - Parque de automóveis ligeiros do cenário otimista para ilha Terceira

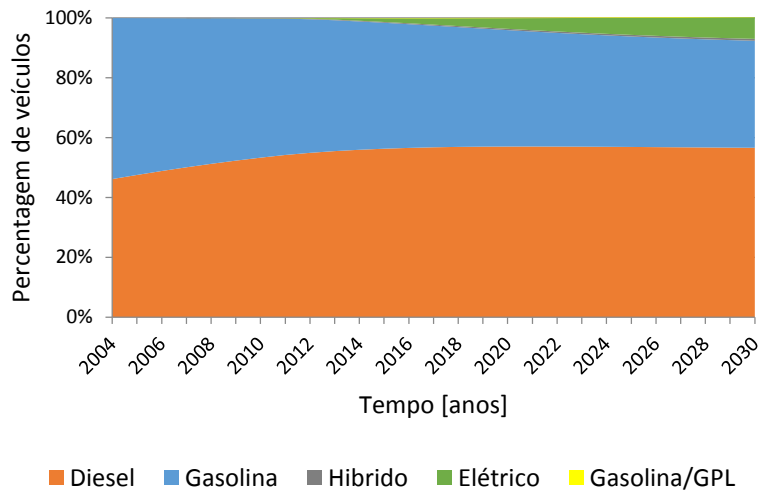


Figura do Apêndice 2.17 - Cenário pessimista para a frota de veículos ligeiros da ilha Terceira

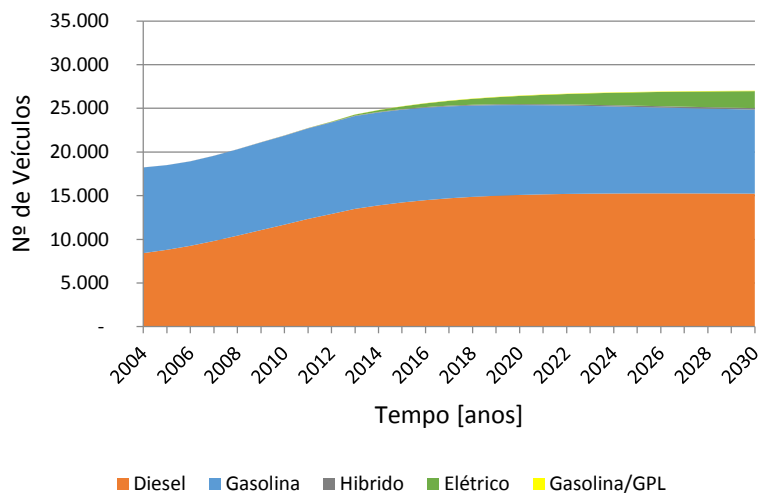


Figura do Apêndice 2.18 - Parque de automóveis ligeiros do cenário pessimista para ilha Terceira

## Apêndice 3: diagramas de carregamentos de VE

### 3.1. Carregamento não controlado

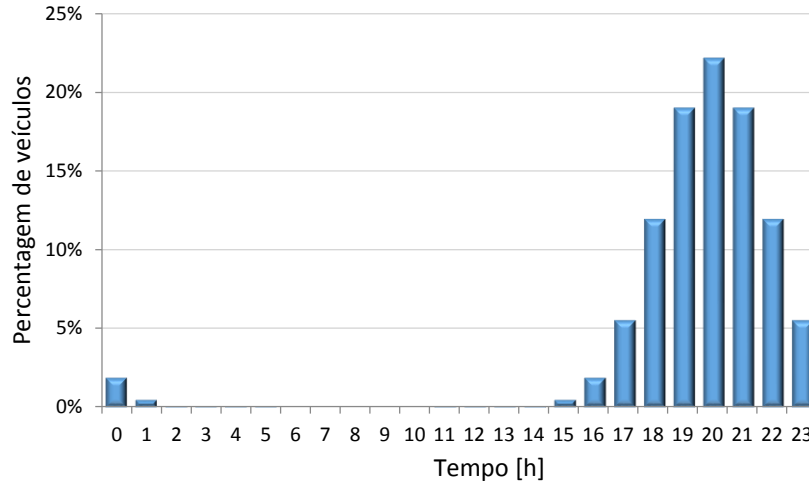


Figura do Apêndice 3.1 – Carregamento não controlado, com  $\mu = 20h$  e  $\sigma = 1,8$

### 3.2. Carregamento no vazio

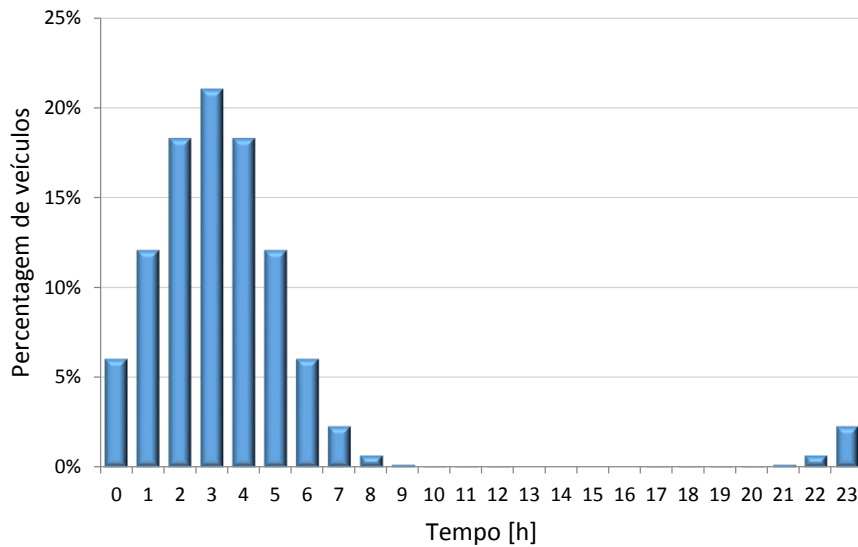


Figura do Apêndice 3.2 – Carregamento no vazio, com  $\mu = 3h$  e  $\sigma = 1,9$

### 3.3. Carregamento controlado

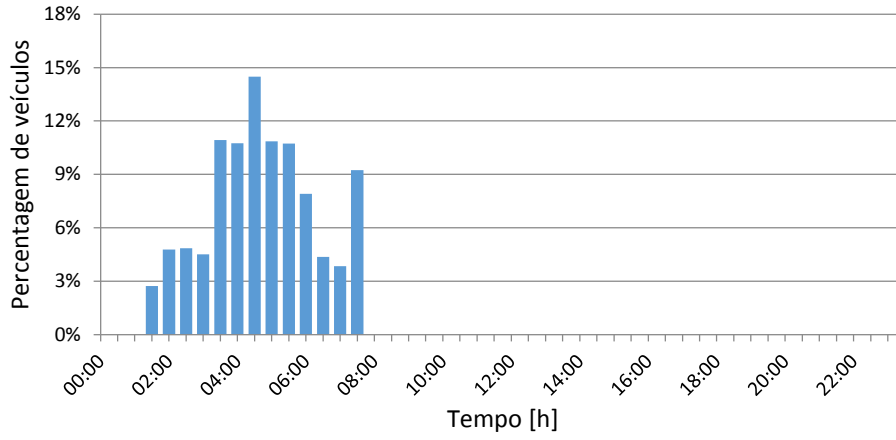


Figura do Apêndice 3.3 – Carregamento controlado, Primavera

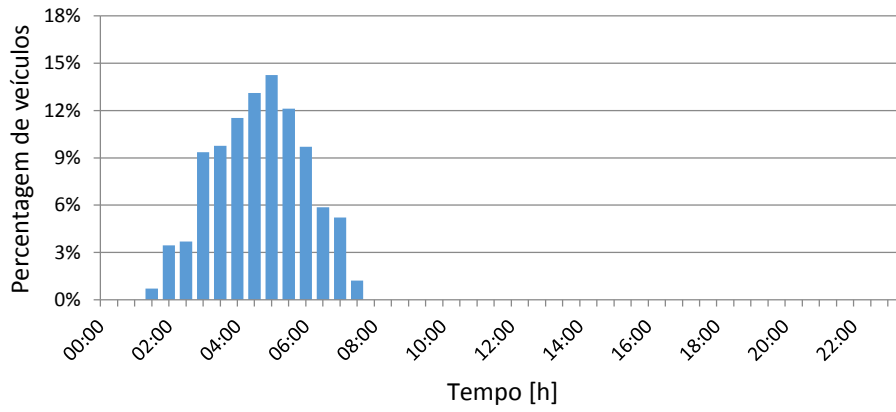


Figura do Apêndice 3.4 – Carregamento controlado, Verão

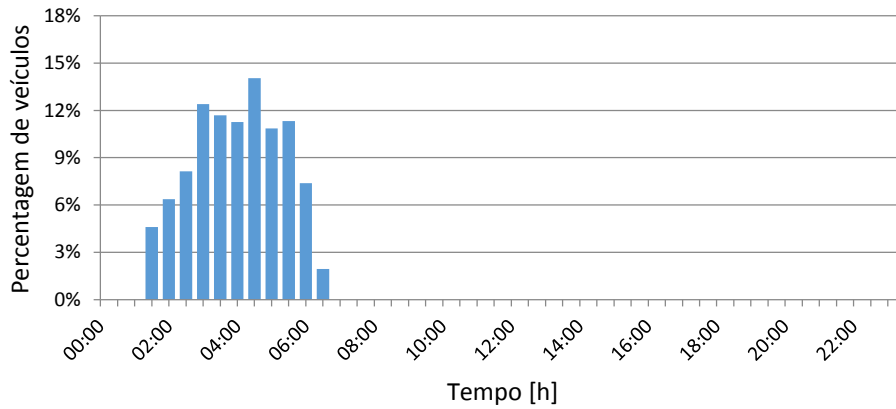


Figura do Apêndice 3.5 – Carregamento controlado, Outono

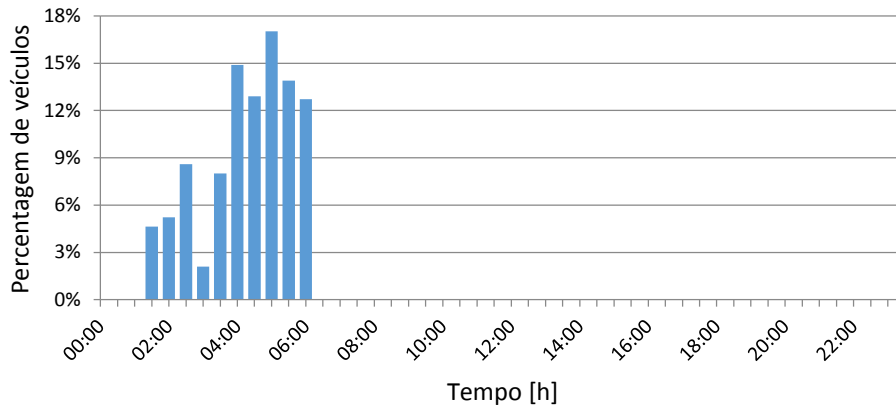


Figura do Apêndice 3.6 – Carregamento controlado, Inverno

### 3.4. Carregamento controlado com 100% de VE

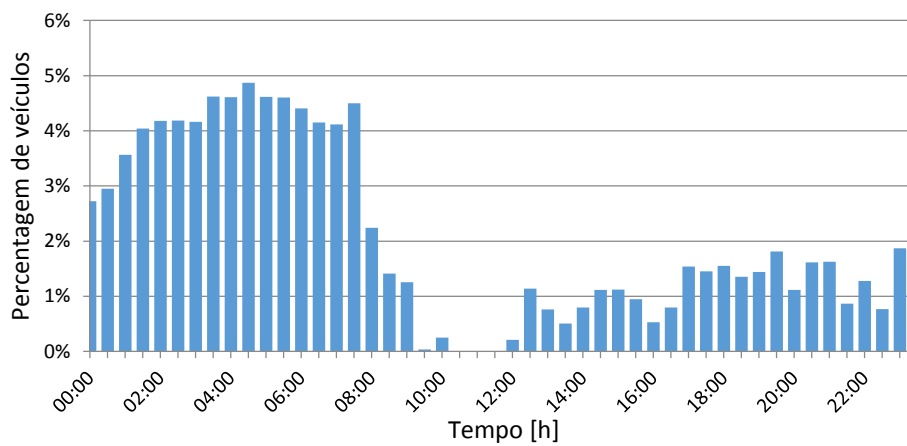


Figura do Apêndice 3.7 – Carregamento controlado 100% de VE, Primavera

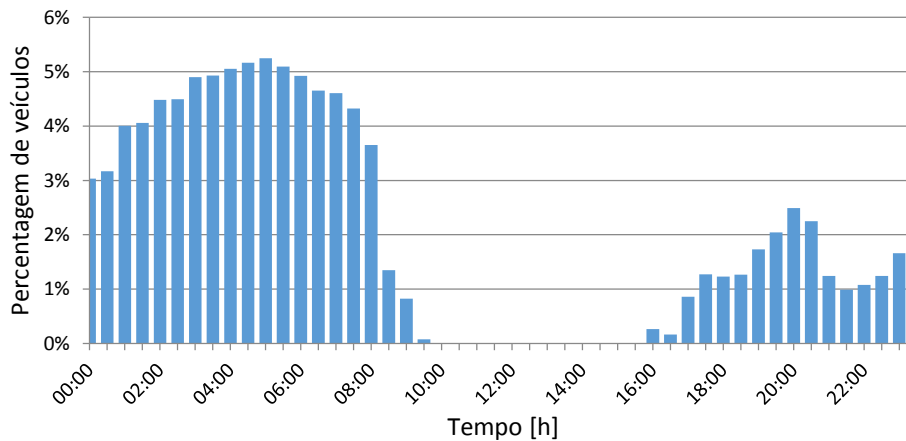


Figura do Apêndice 3.8 – Carregamento controlado 100% de VE, Verão

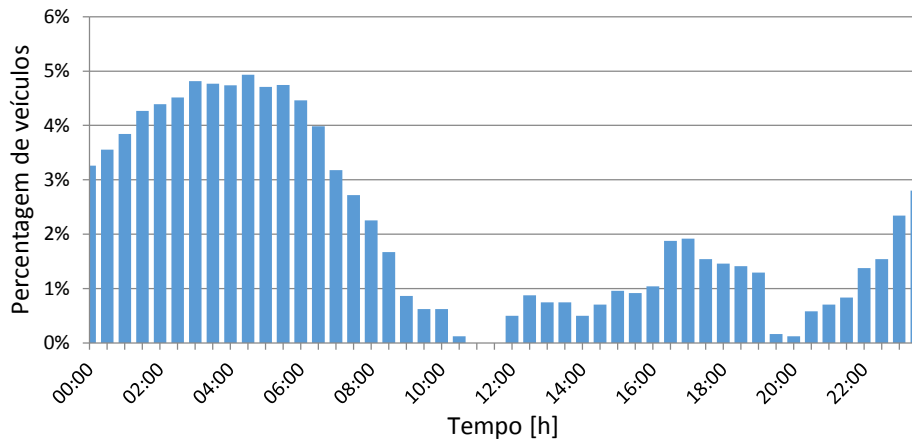


Figura do Apêndice 3.9 – Carregamento controlado 100% de VE, Outono

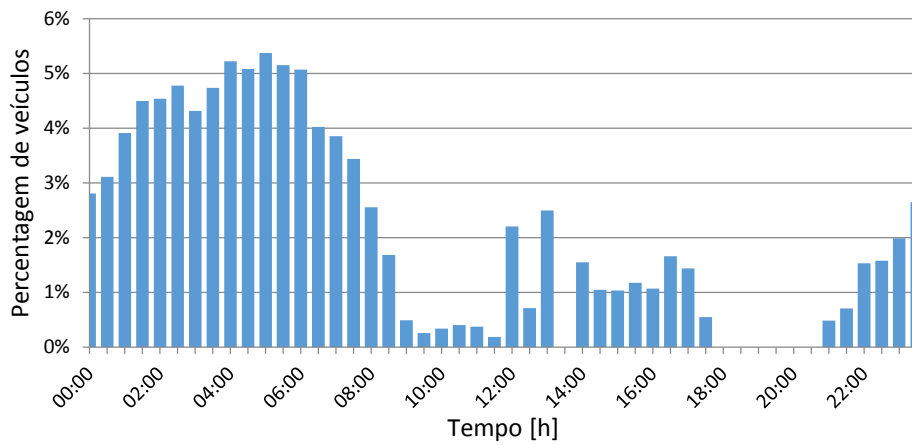


Figura do Apêndice 3.10 – Carregamento controlado 100% de VE, Inverno

## Apêndice 4: Casos de estudo

### 4.1. Caso 1

#### 4.1.1. Setor elétrico

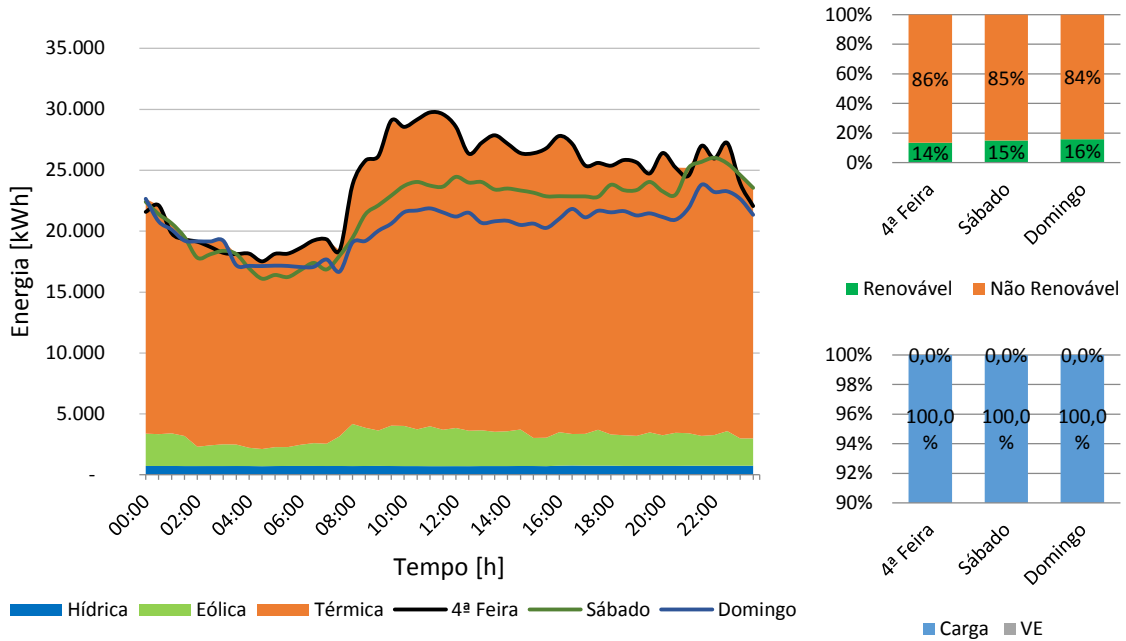


Figura do Apêndice 4.1 – Diagrama de carga característico da Primavera 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

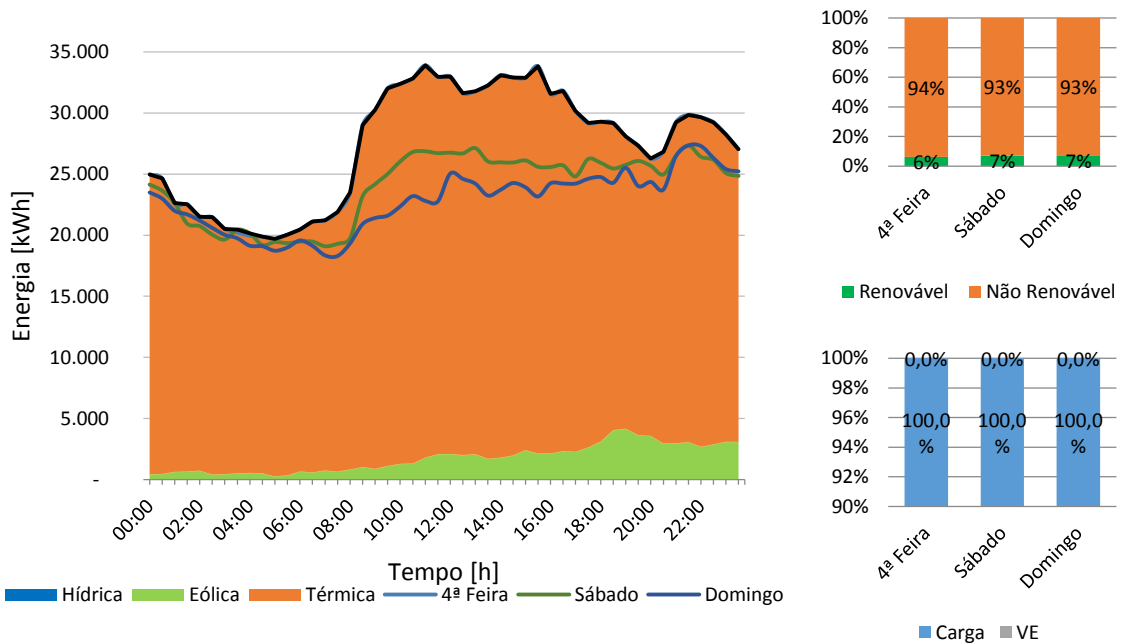


Figura do Apêndice 4.2 – Diagrama de carga característico do Verão 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

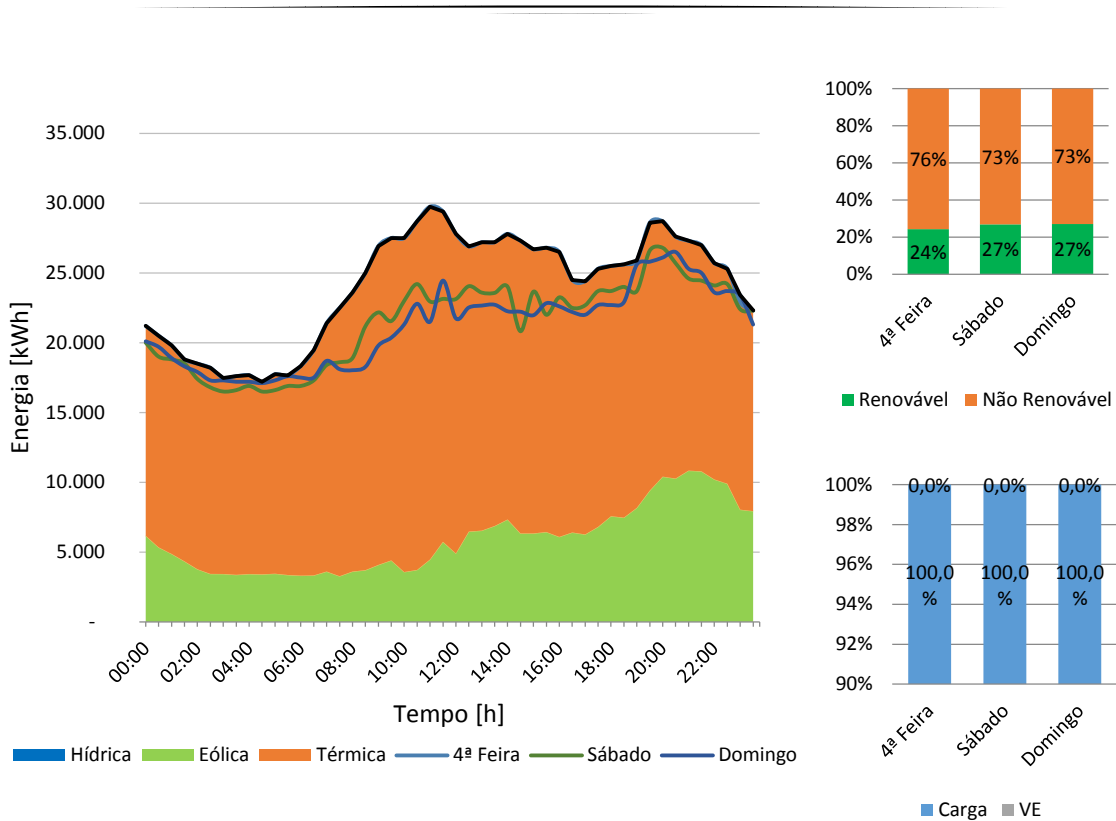


Figura do Apêndice 4.3 – Diagrama de carga característico do Outono 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

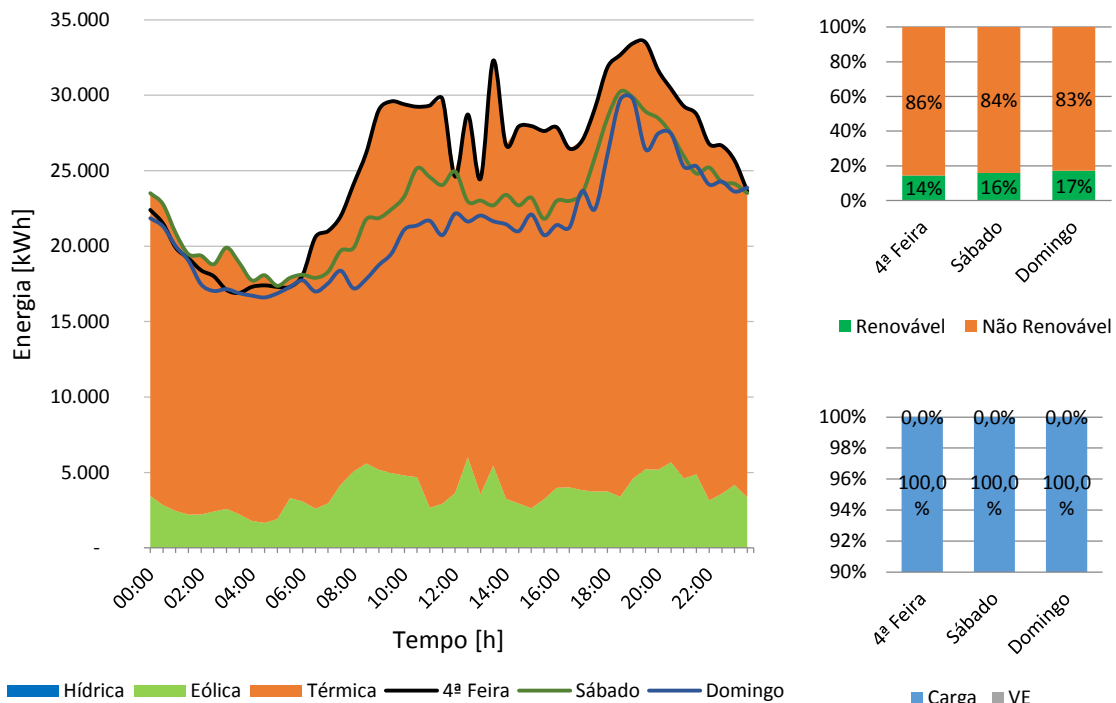


Figura do Apêndice 4.4 – Diagrama de carga característico do Inverno 2013 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.1.2. Setor automóvel

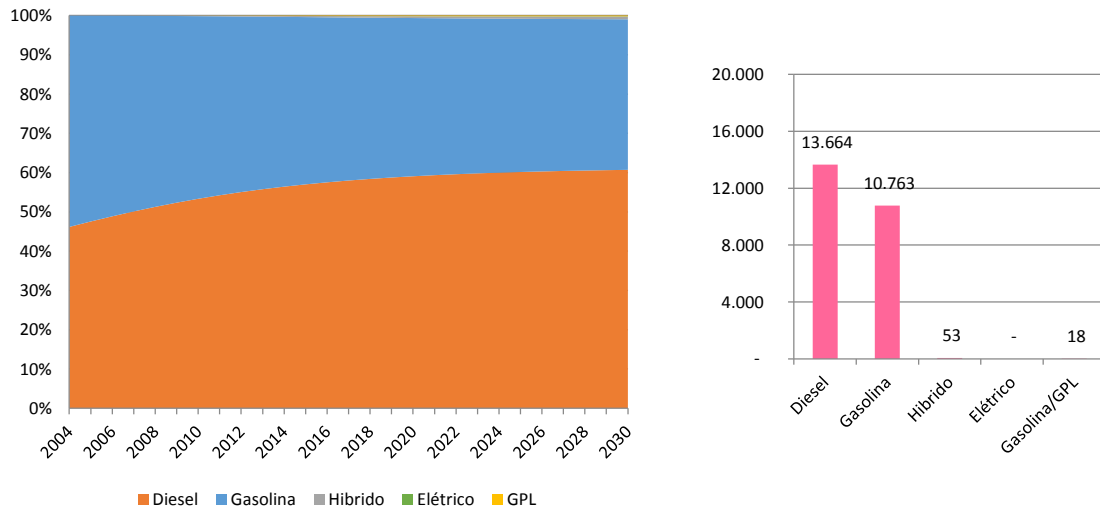


Figura do Apêndice 4.5 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.2. Caso 2

### 4.2.1. Setor elétrico

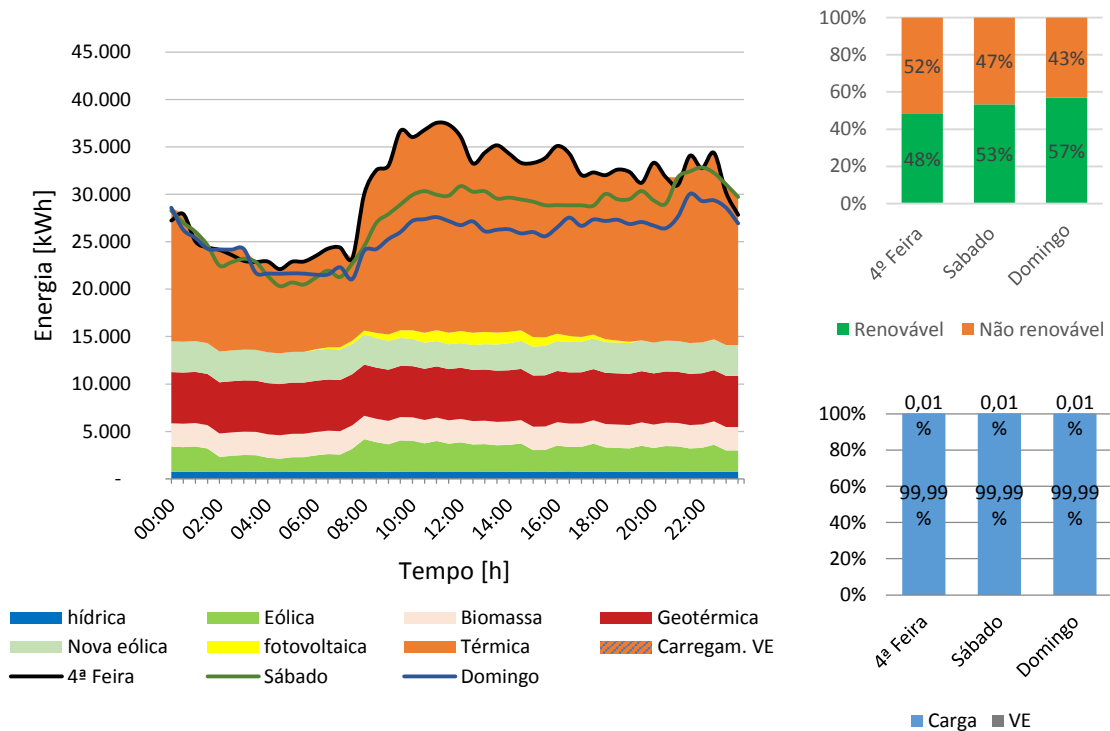


Figura do Apêndice 4.6 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

## Apêndices

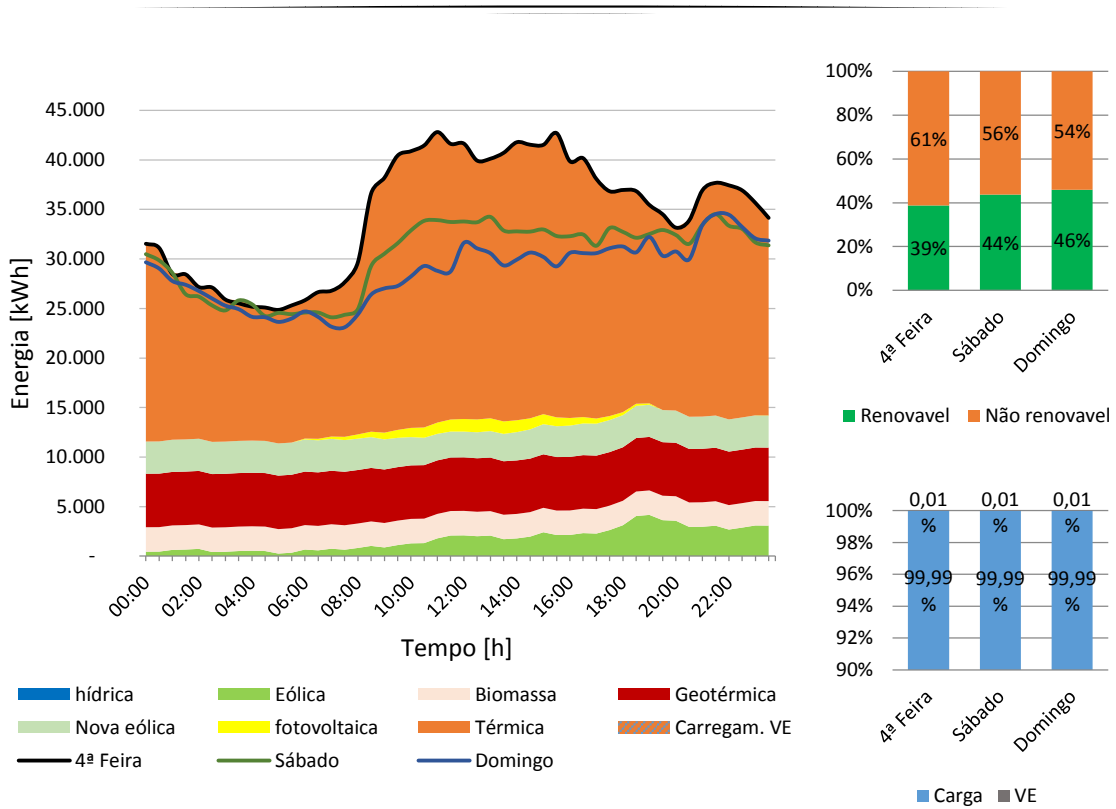


Figura do Apêndice 4.7 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

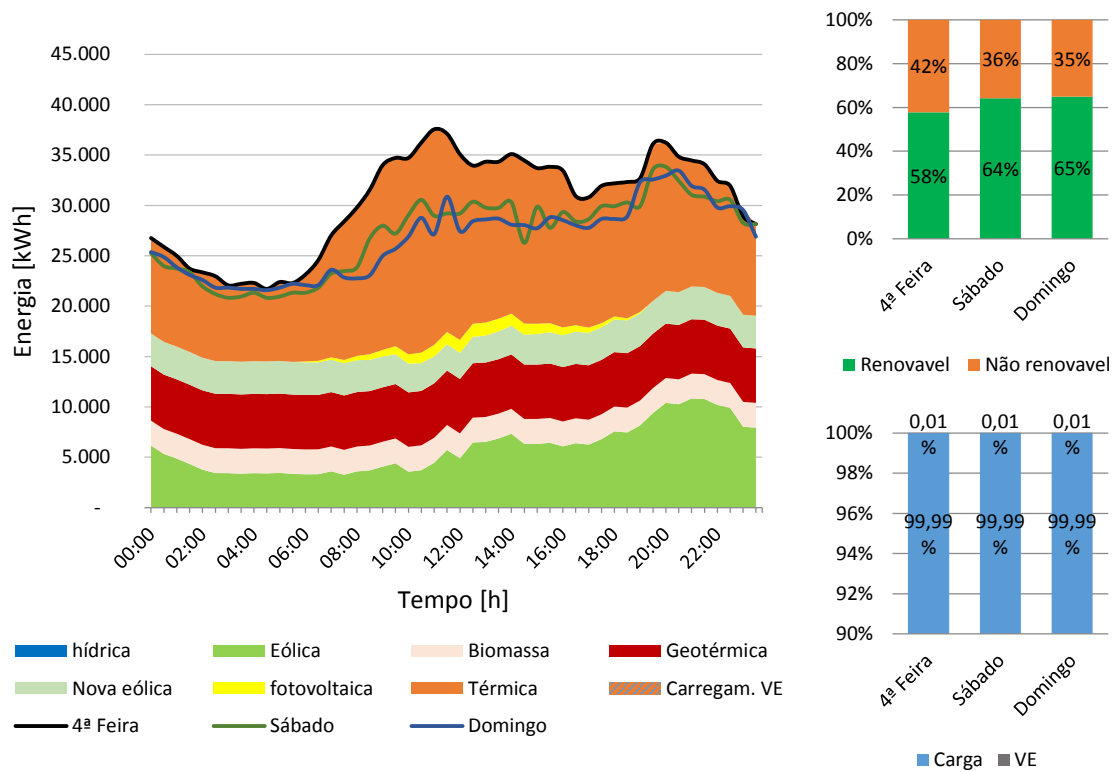


Figura do Apêndice 4.8 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

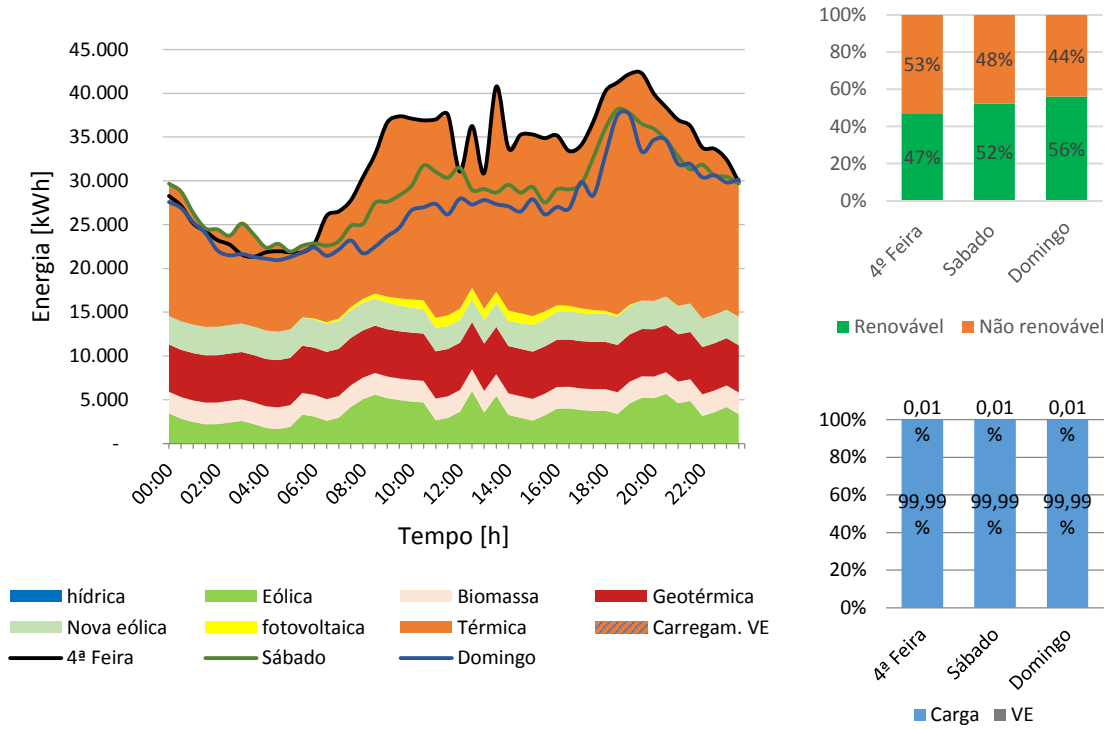


Figura do Apêndice 4.9 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.2.2. Setor automóvel

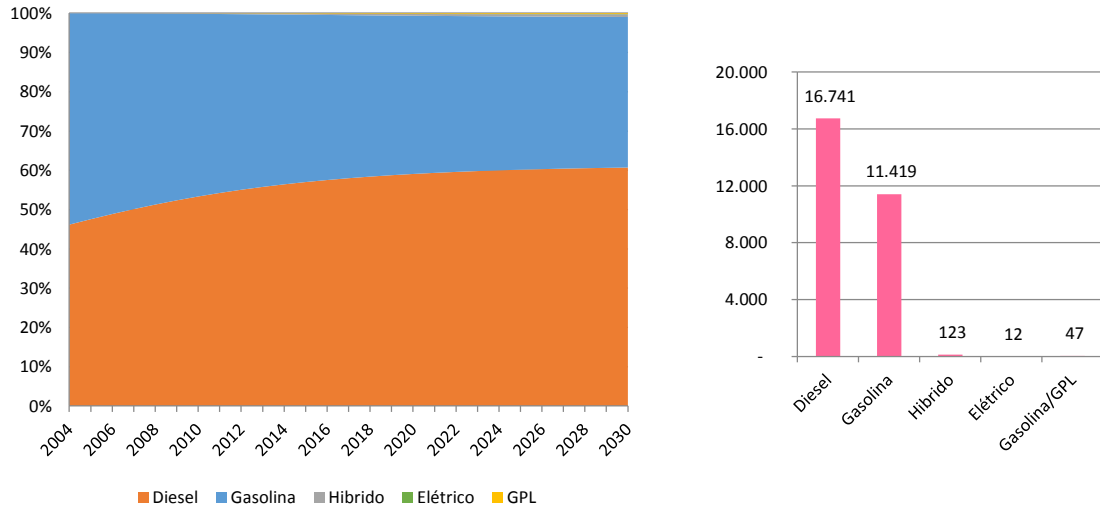


Figura do Apêndice 4.10 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.3. Caso 3

#### 4.3.1. Setor elétrico

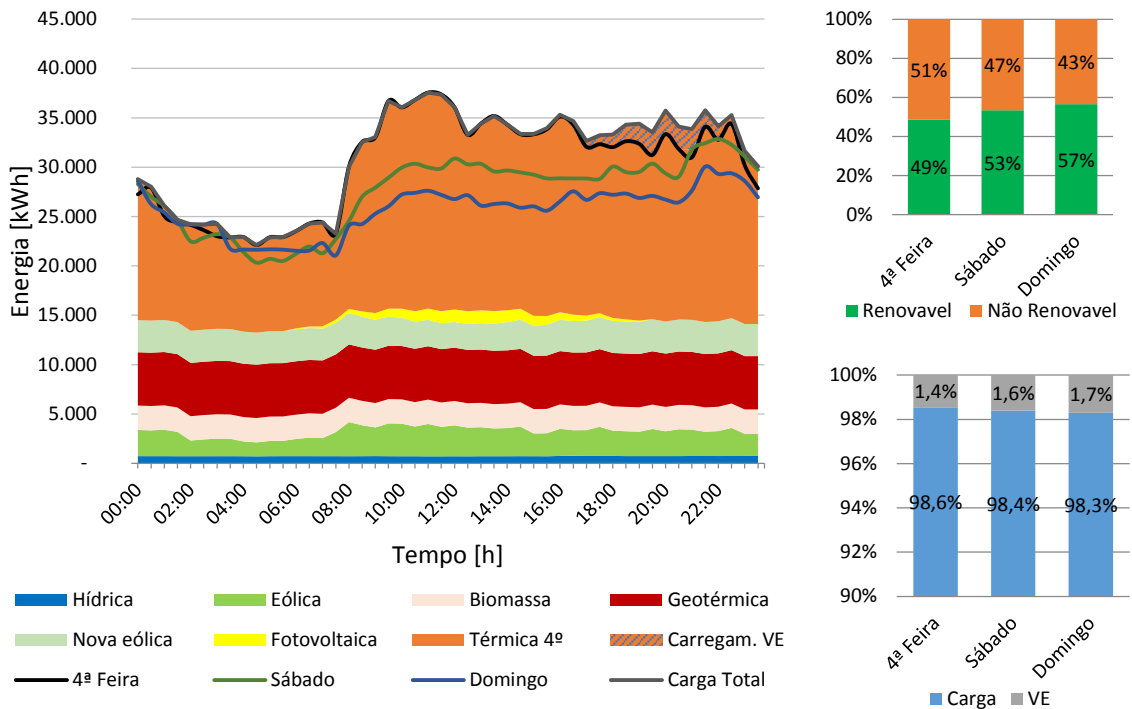


Figura do Apêndice 4.11 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

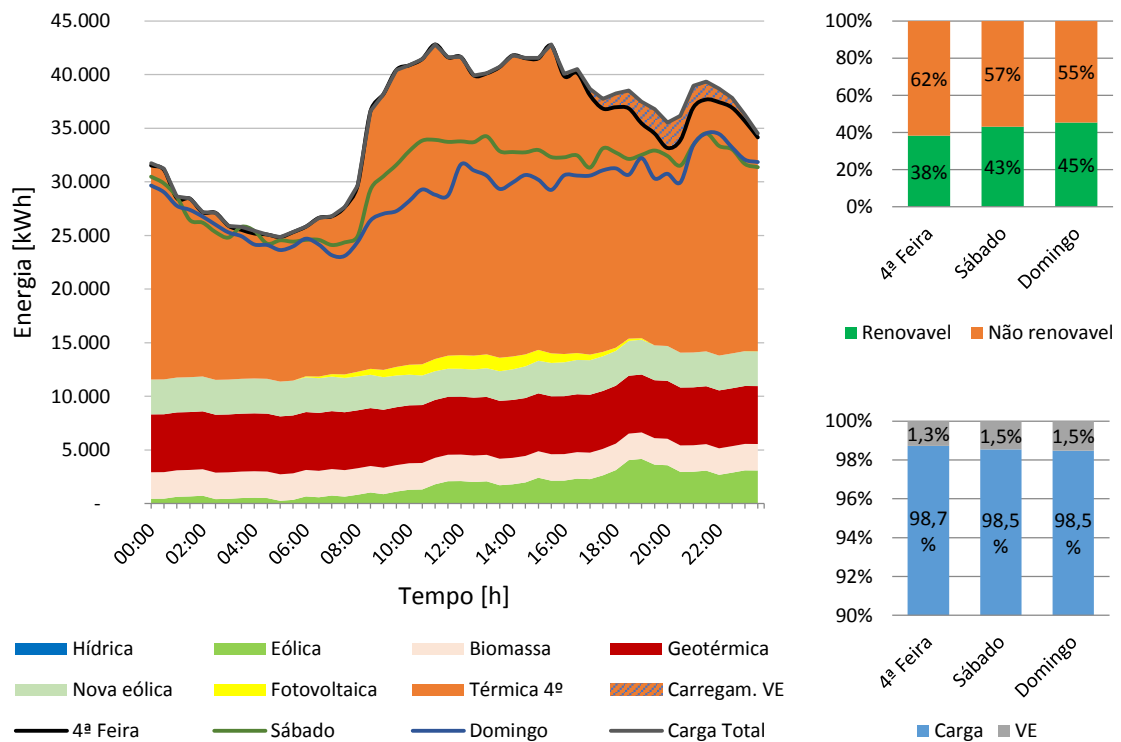


Figura do Apêndice 4.12 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

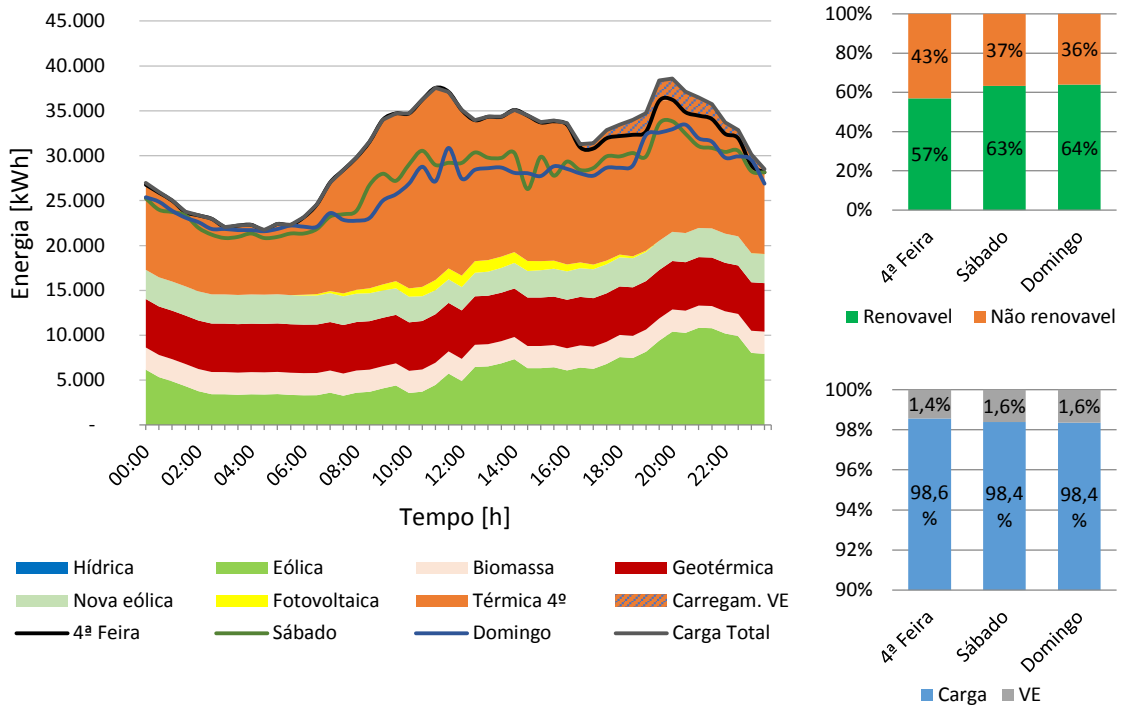


Figura do Apêndice 4.13 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

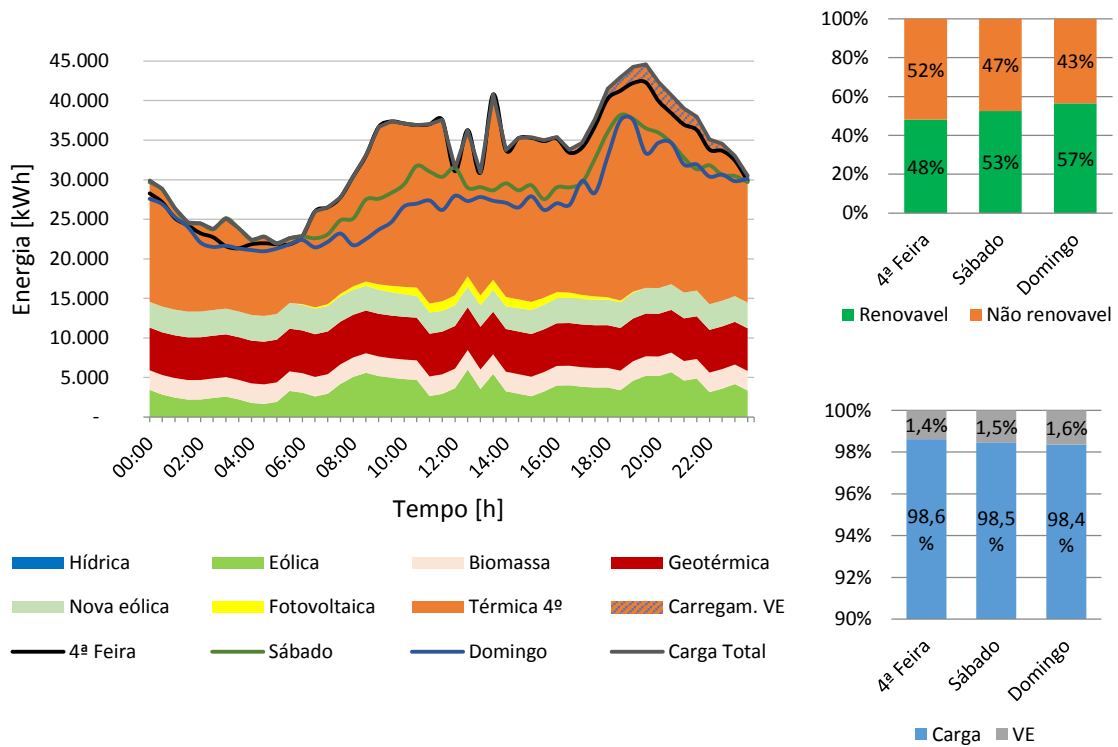


Figura do Apêndice 4.14 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.3.2. Setor automóvel

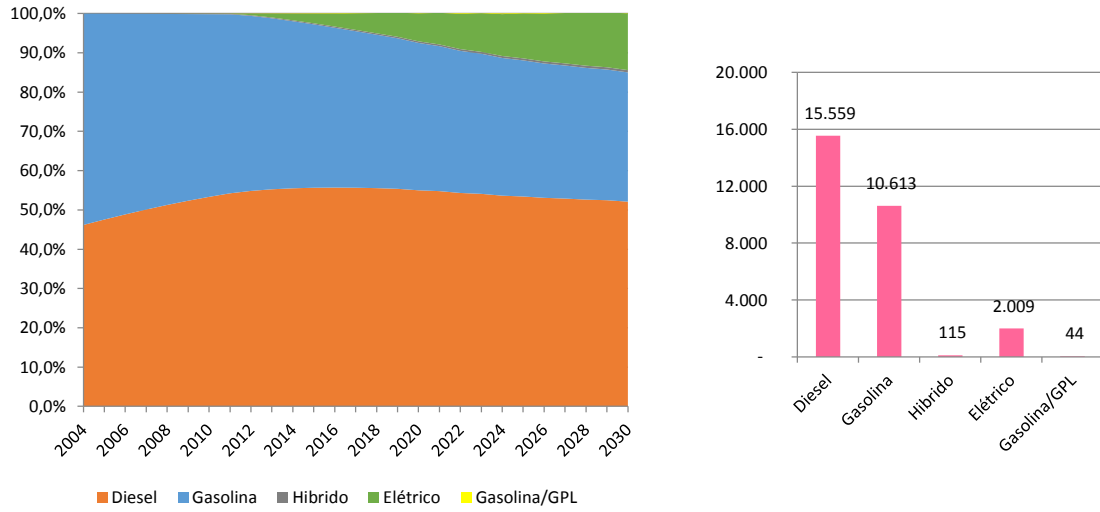


Figura do Apêndice 4.15 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.4. Caso 4

### 4.4.1. Setor elétrico

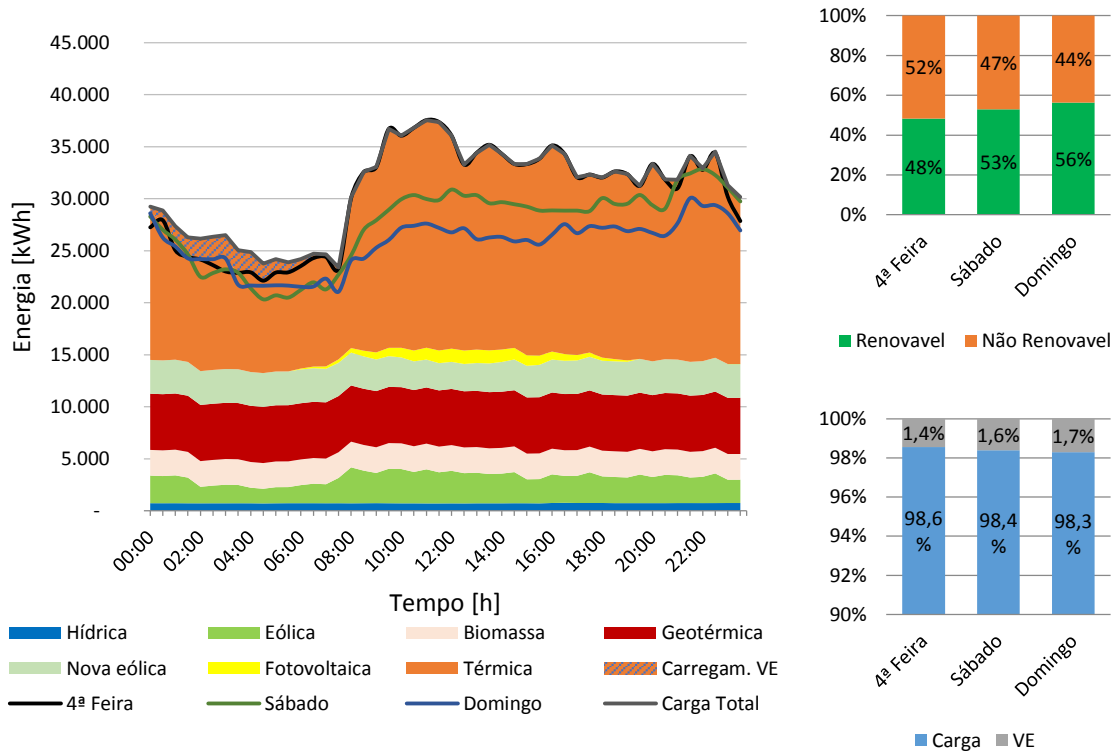


Figura do Apêndice 4.16 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

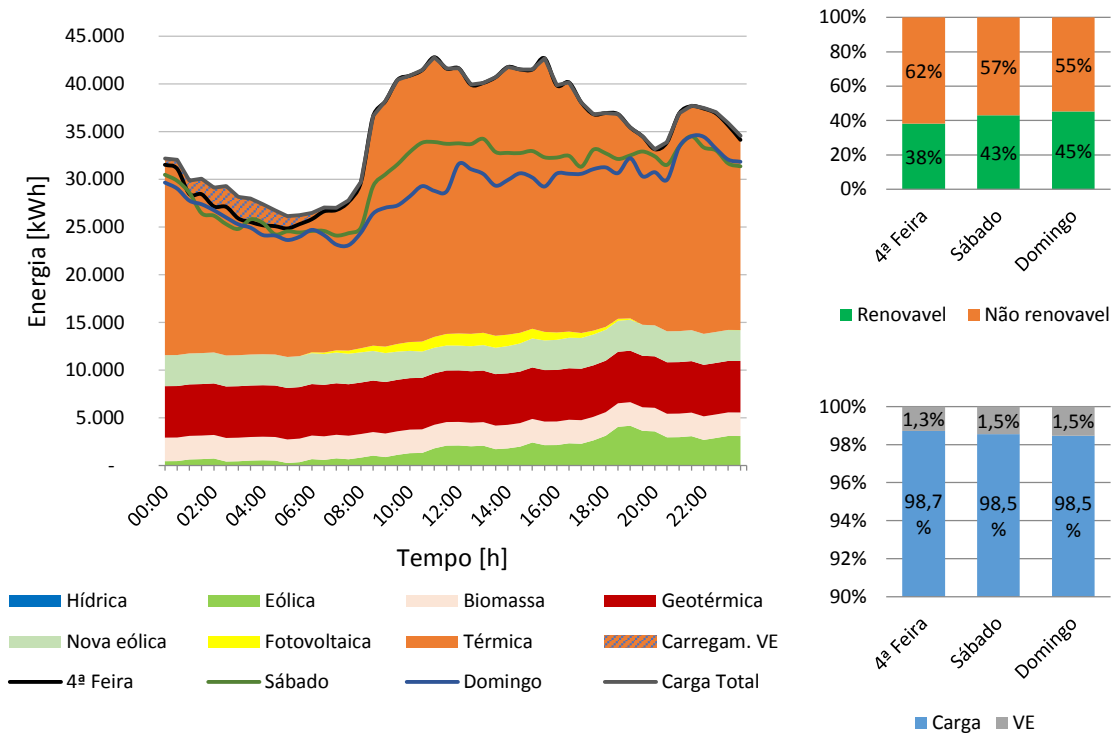


Figura do Apêndice 4.17 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

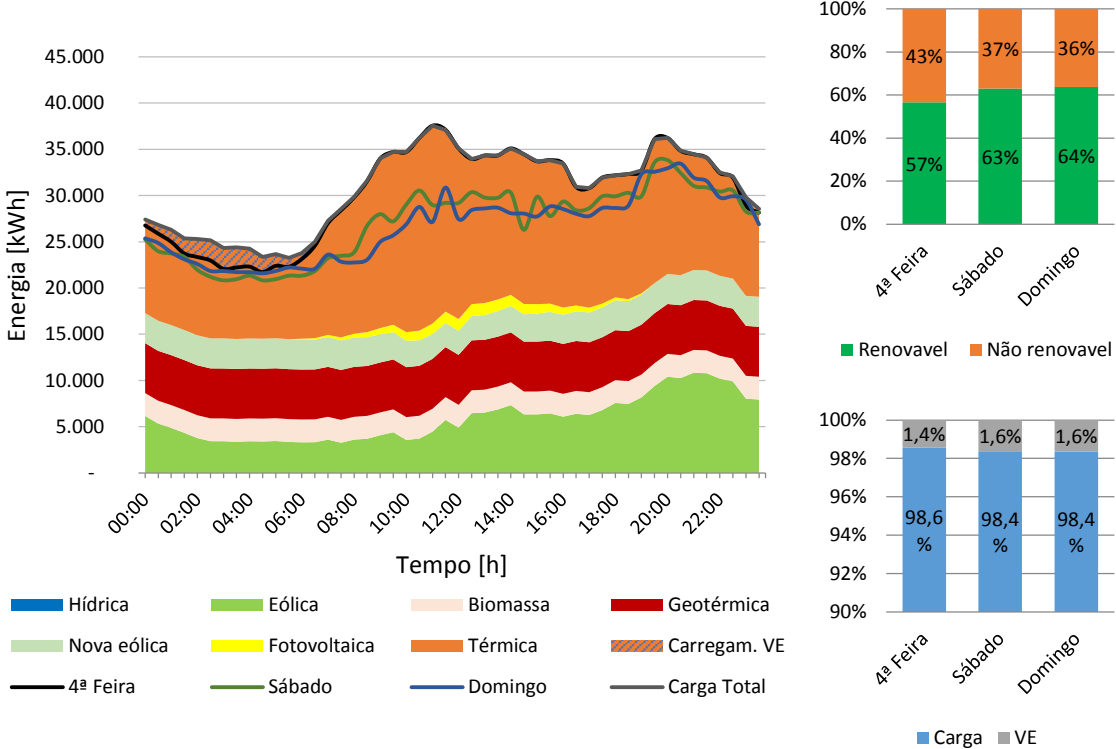


Figura do Apêndice 4.18 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

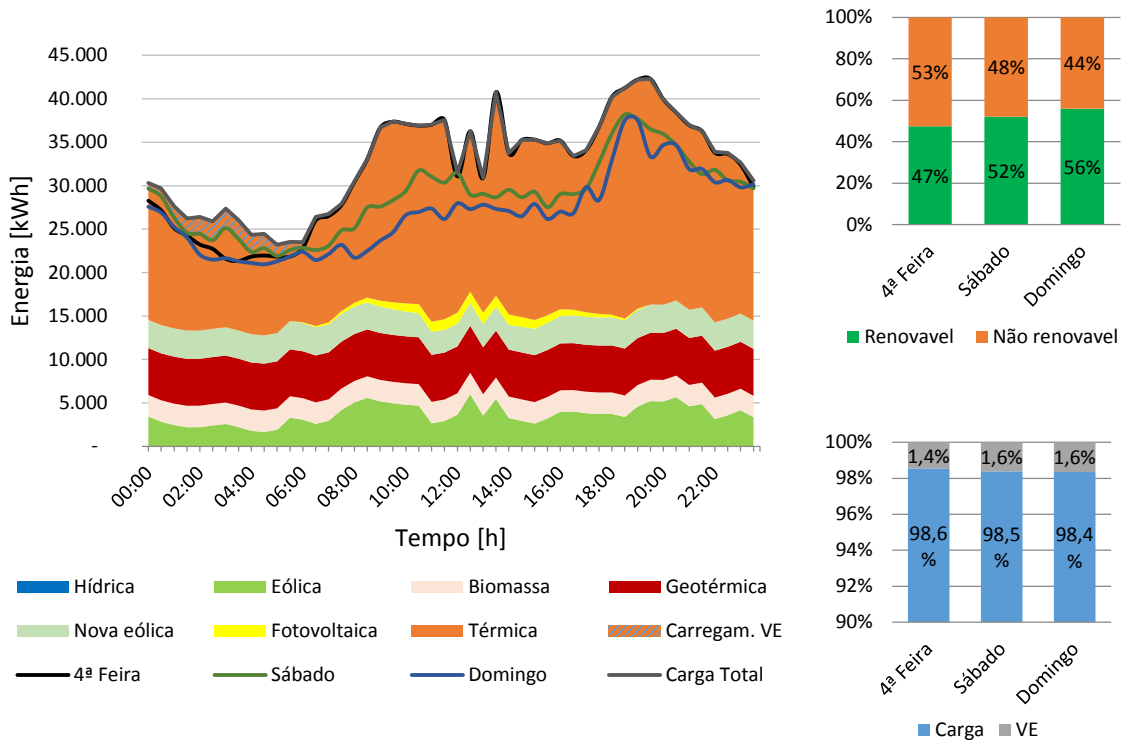


Figura do Apêndice 4.19 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

#### 4.4.2. Setor automóvel

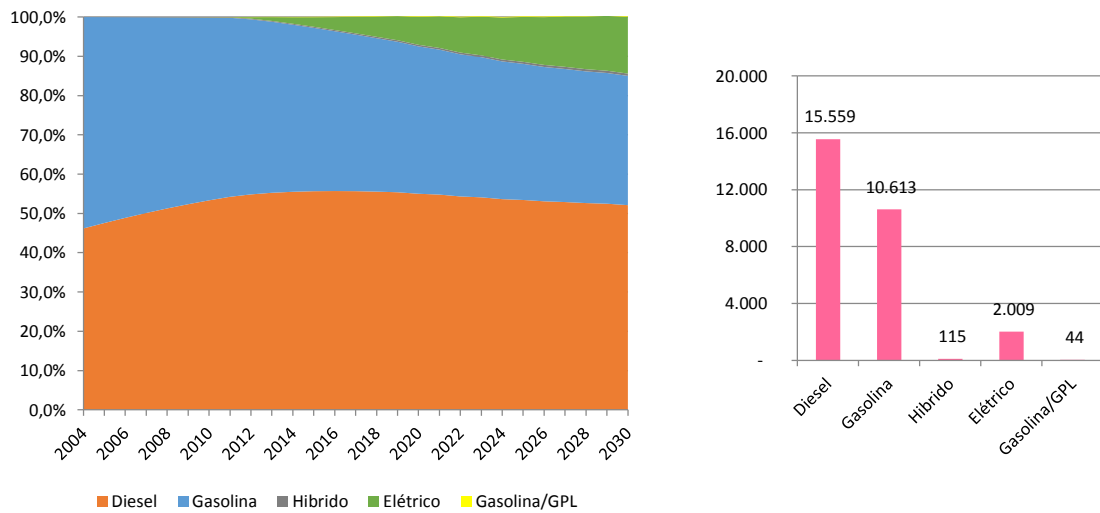


Figura do Apêndice 4.20 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.5. Caso 5

### 4.5.1. Setor elétrico

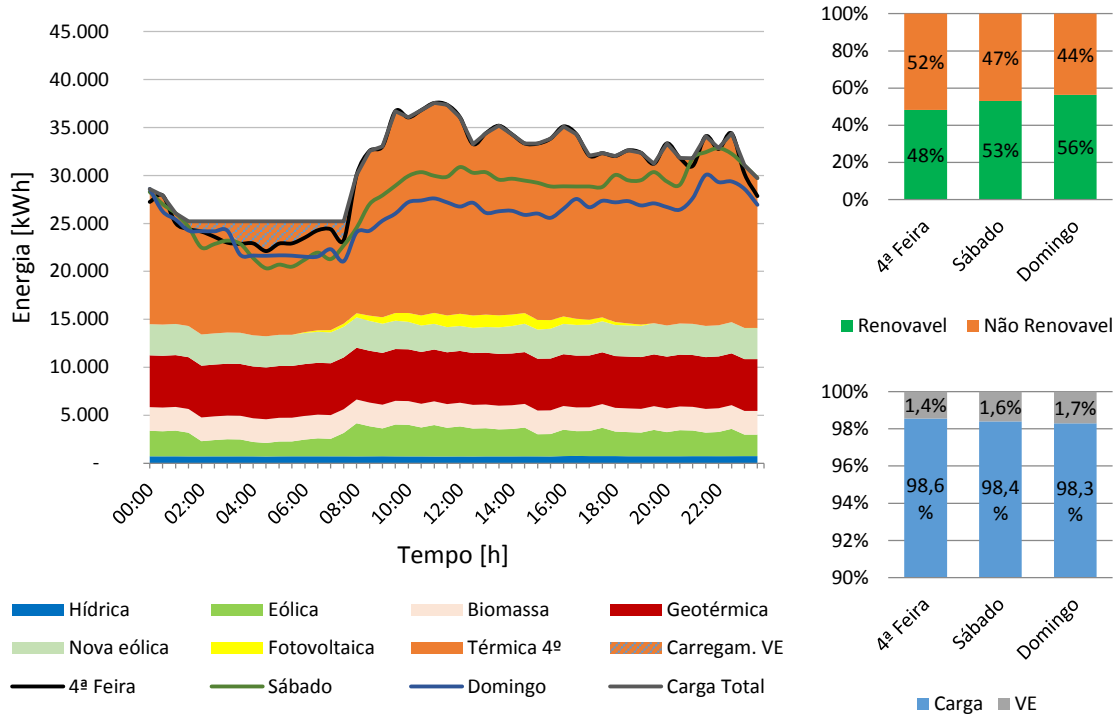


Figura do Apêndice 4.21 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

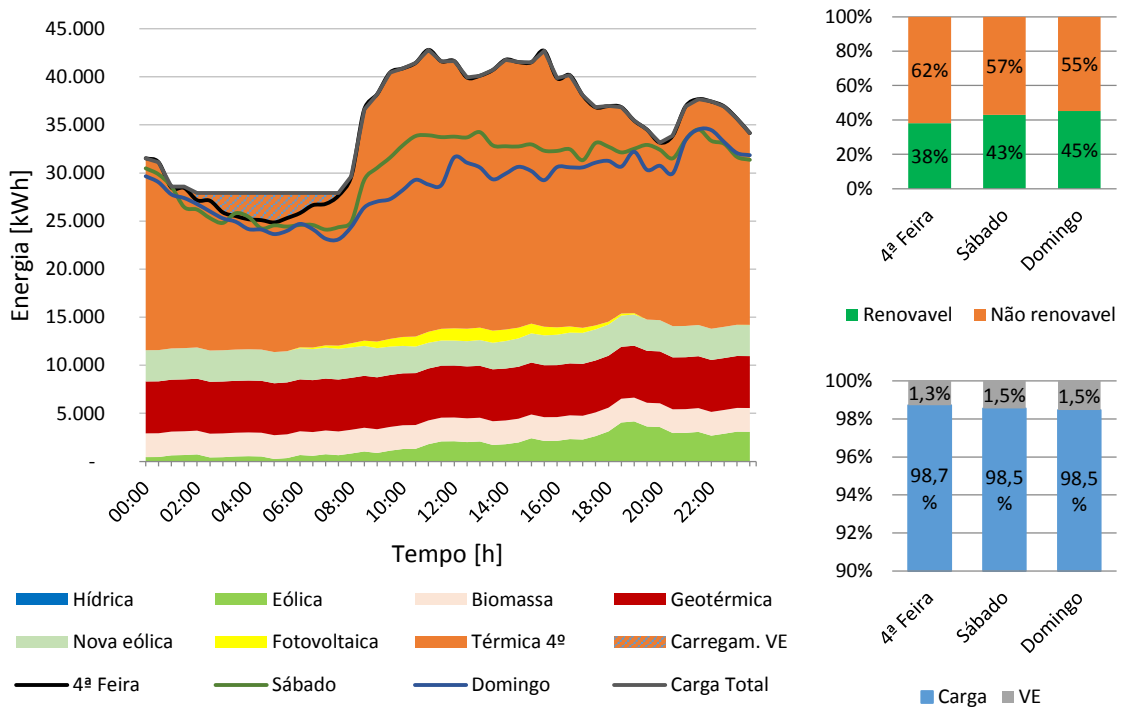


Figura do Apêndice 4.22 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

## Apêndices

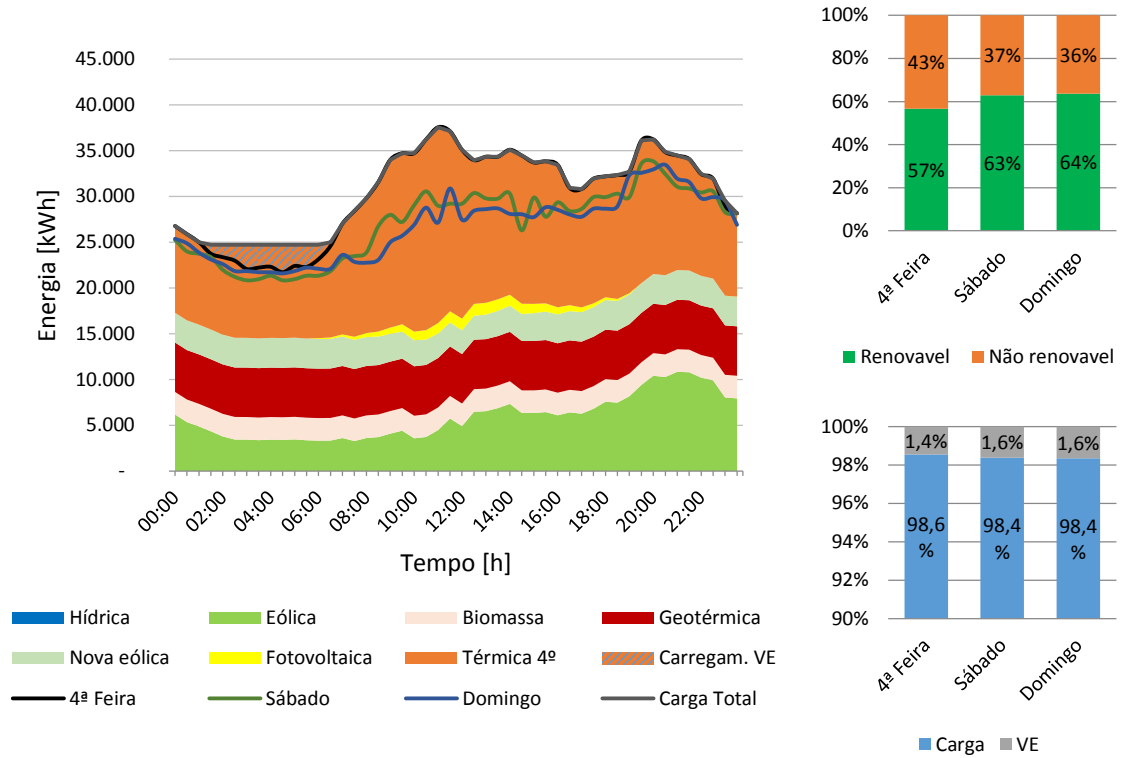


Figura do Apêndice 4.23 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

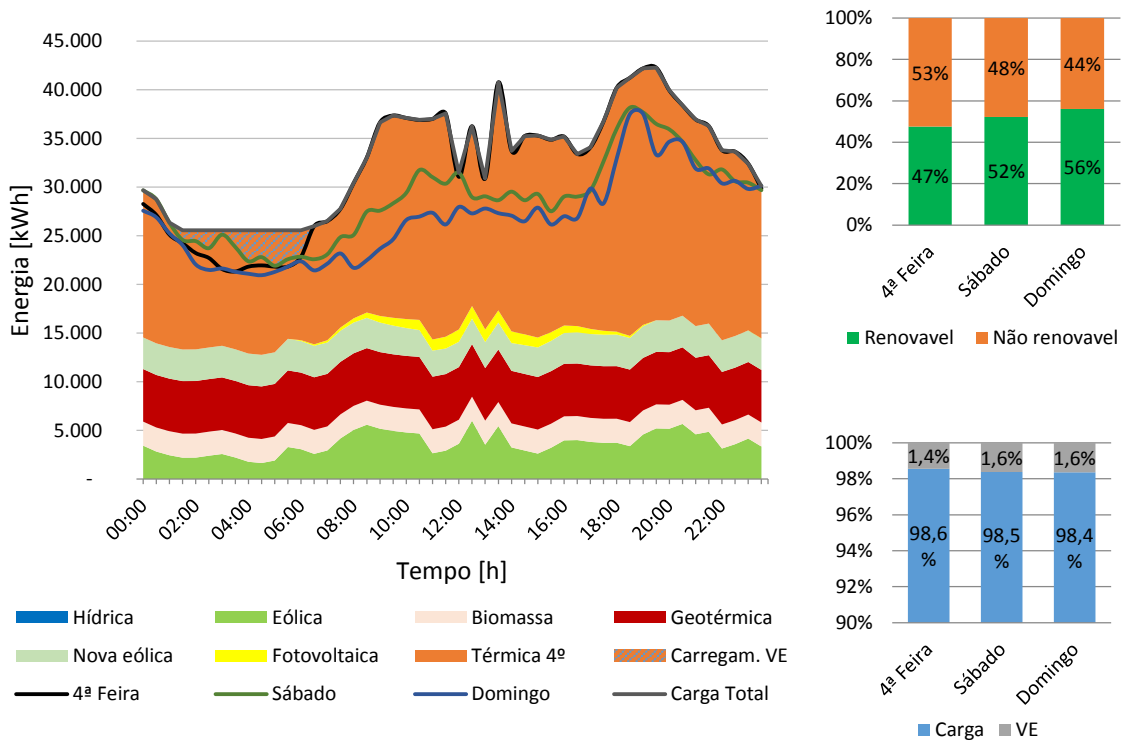


Figura do Apêndice 4.24 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.5.2. Setor automóvel

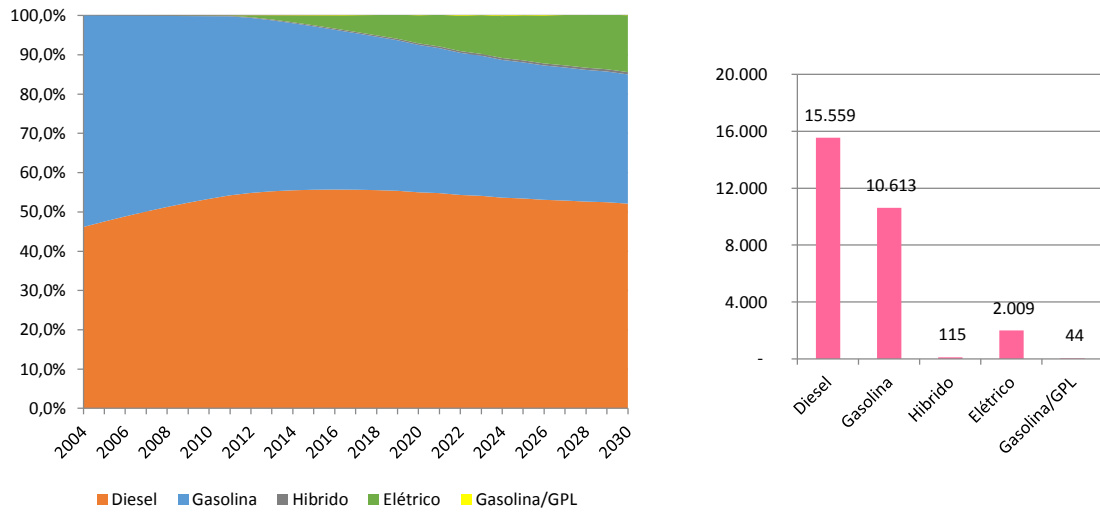


Figura do Apêndice 4.25 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.6. Caso 6

### 4.6.1. Setor elétrico

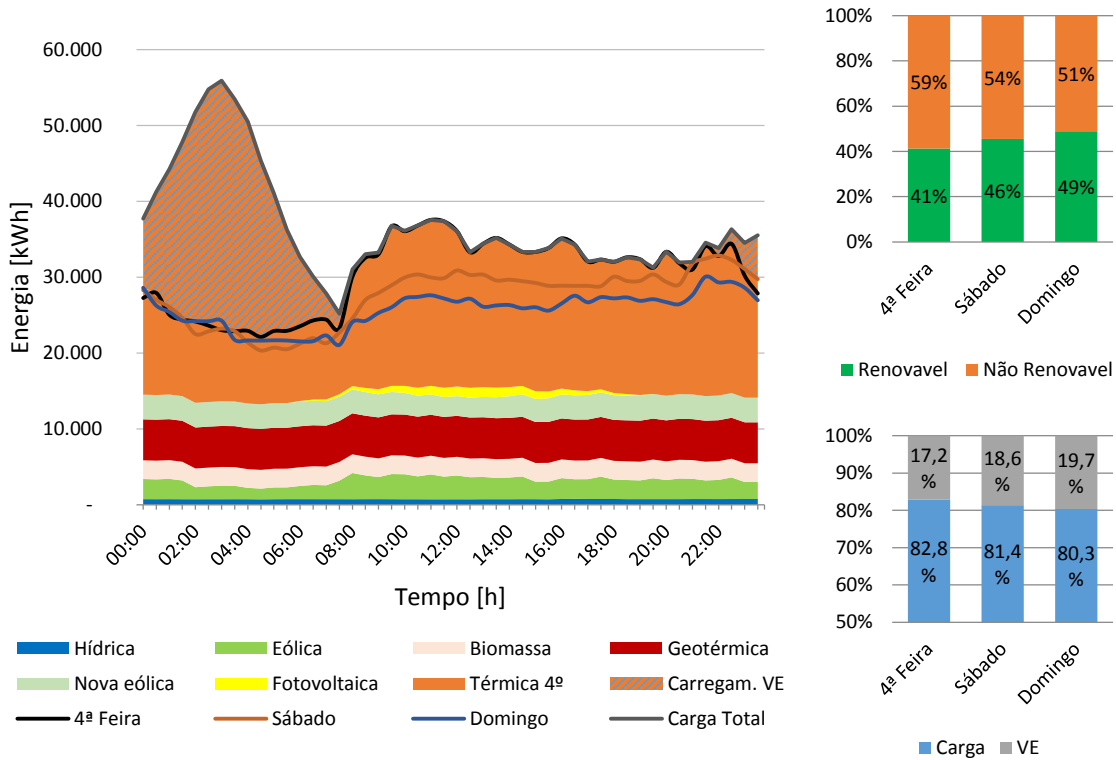


Figura do Apêndice 4.26 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

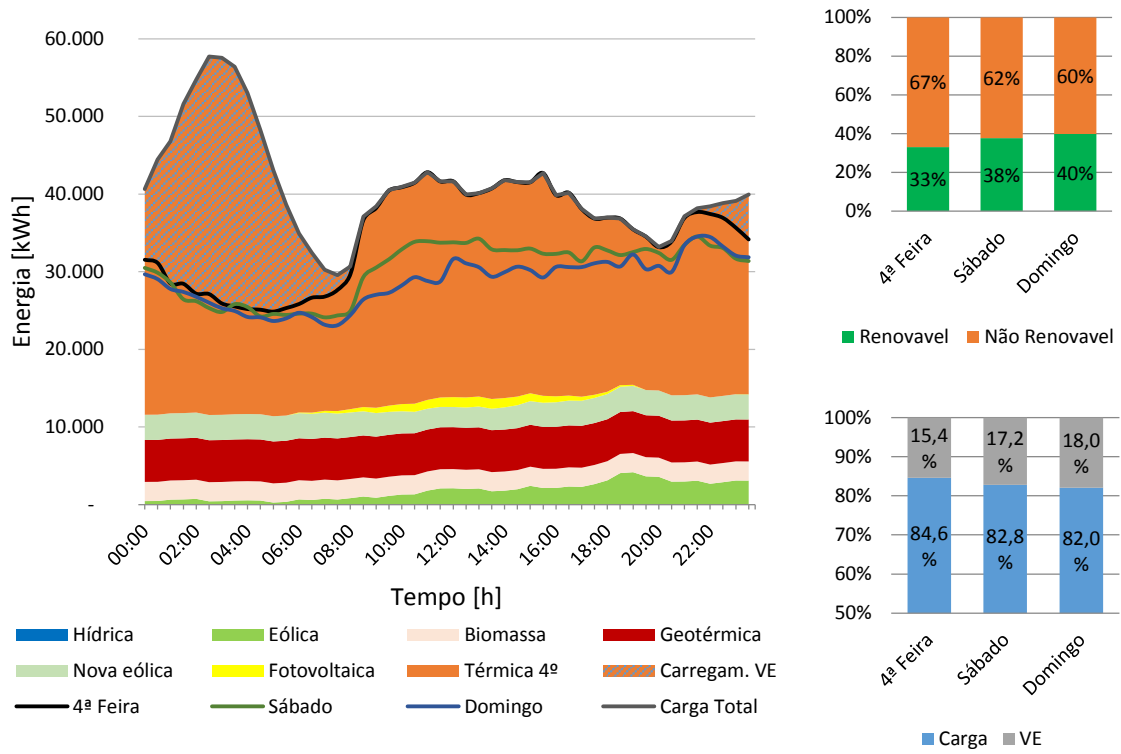


Figura do Apêndice 4.27 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

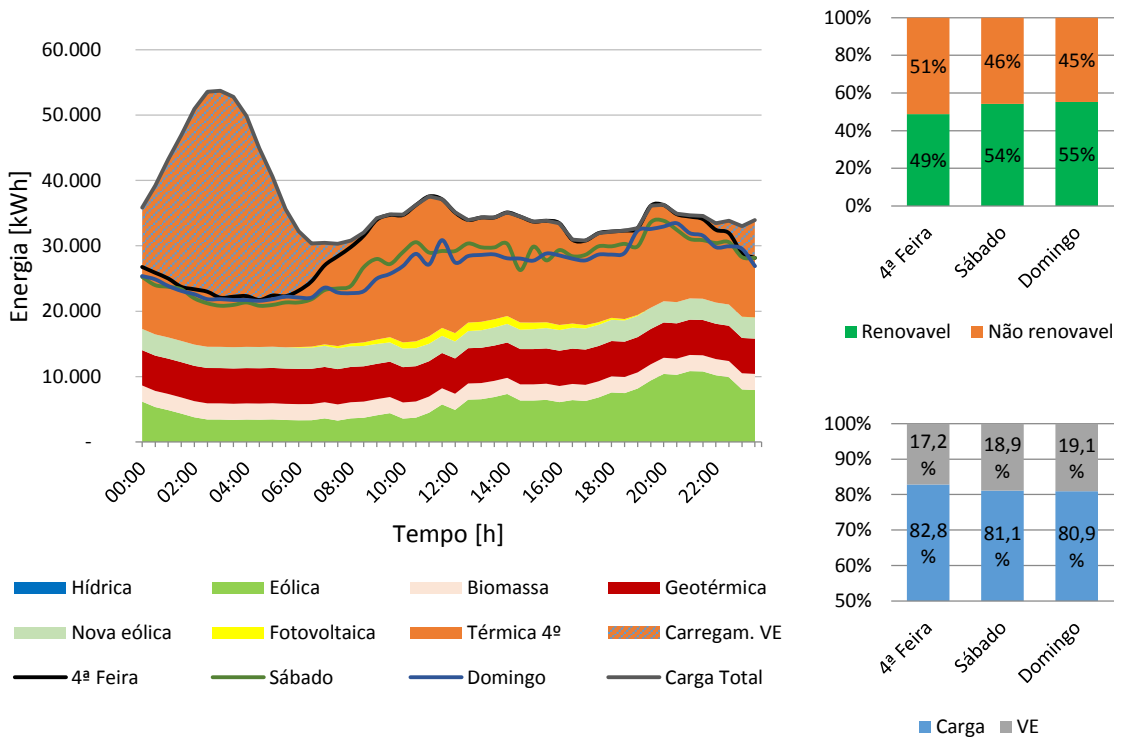


Figura do Apêndice 4.28 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

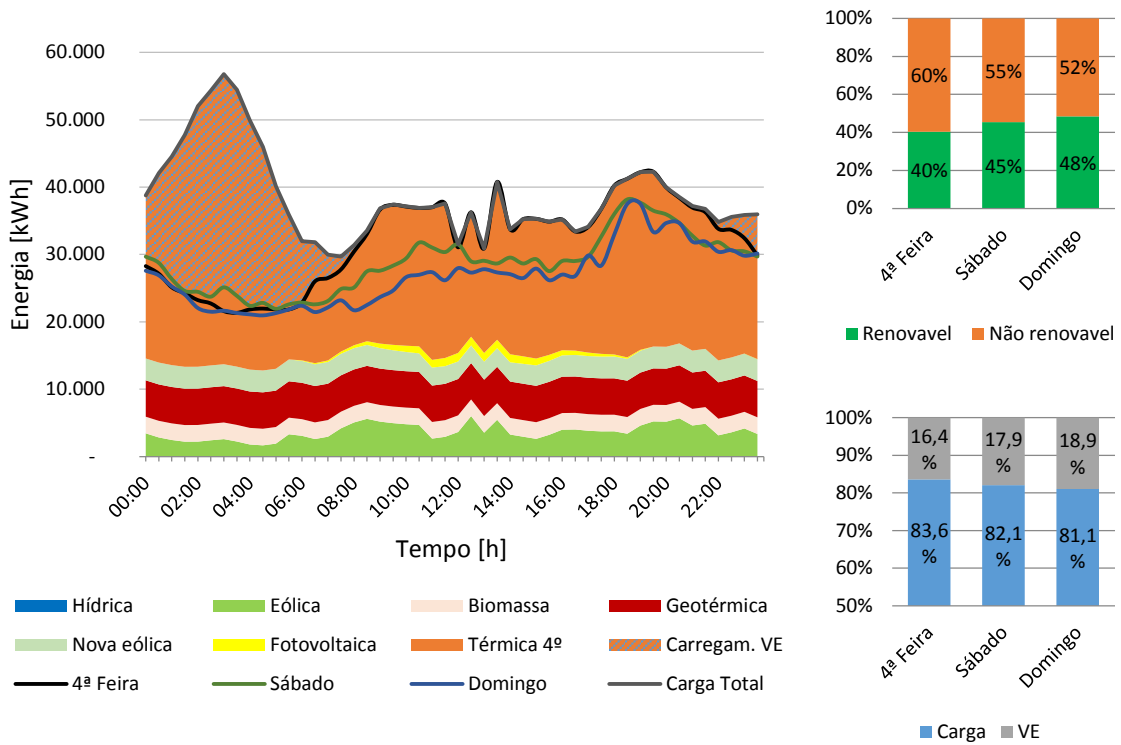


Figura do Apêndice 4.29 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.6.2. Setor automóvel

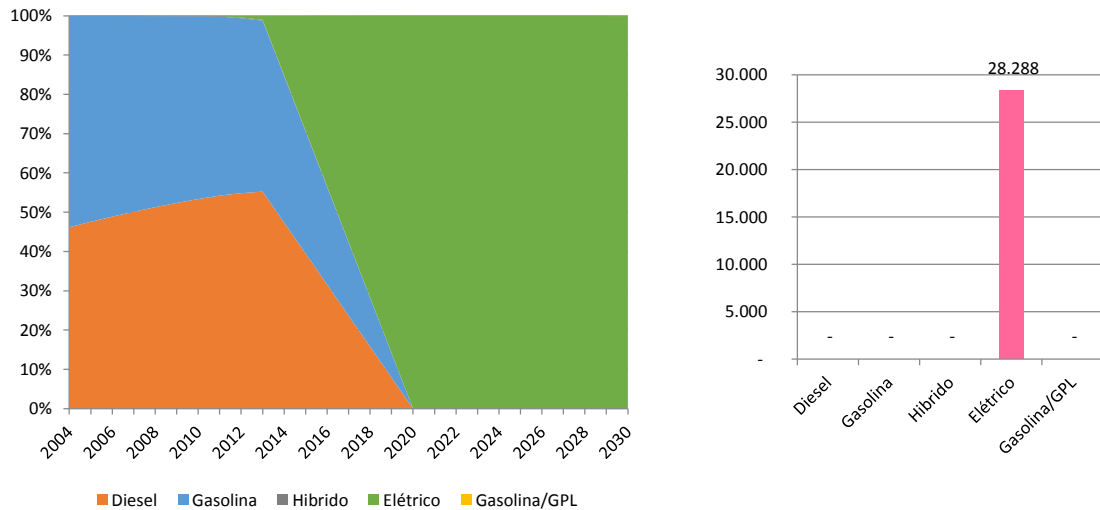


Figura do Apêndice 4.30 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.7. Caso 7

### 4.7.1. Setor elétrico

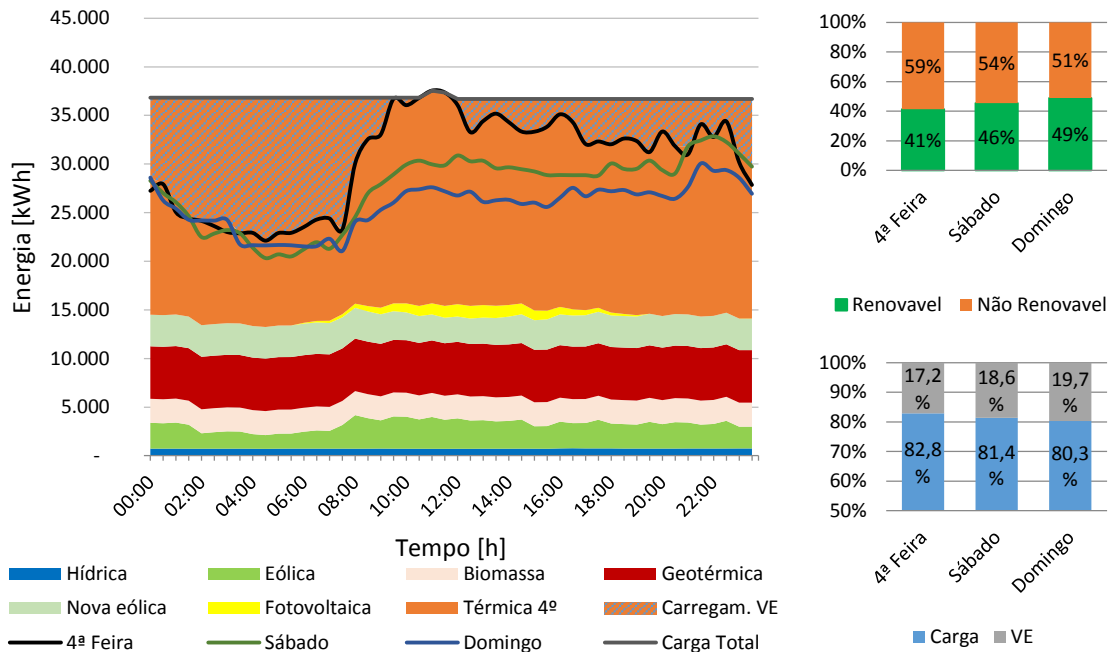


Figura do Apêndice 4.31 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

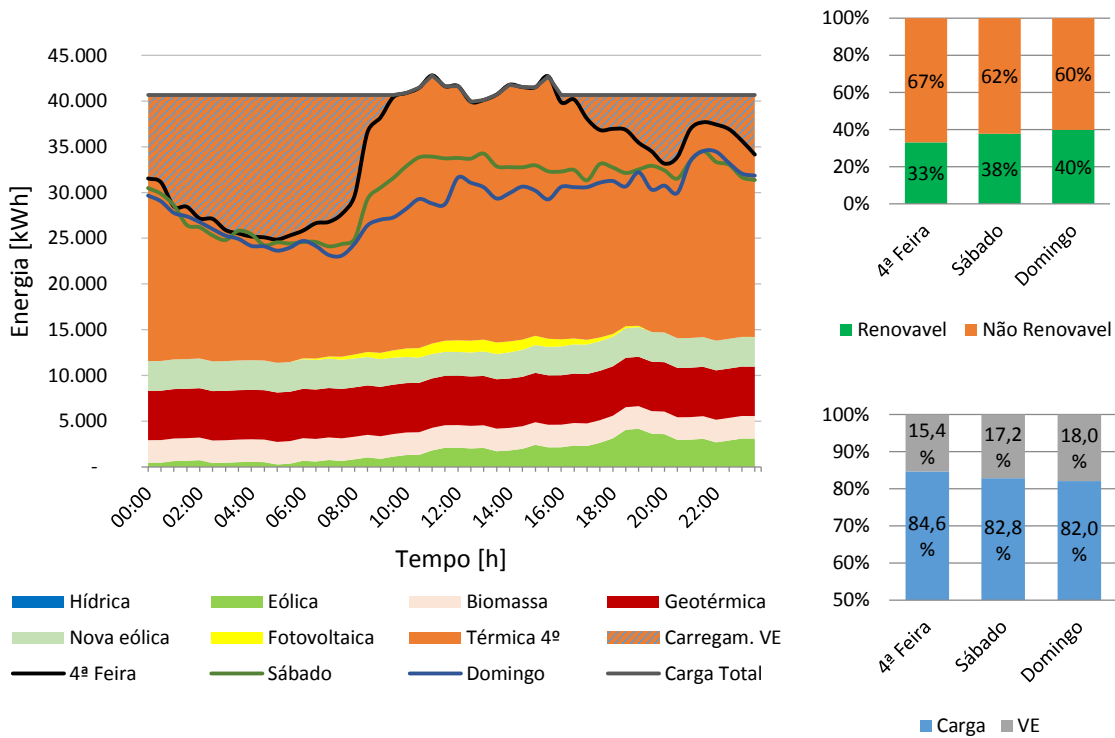


Figura do Apêndice 4.32 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

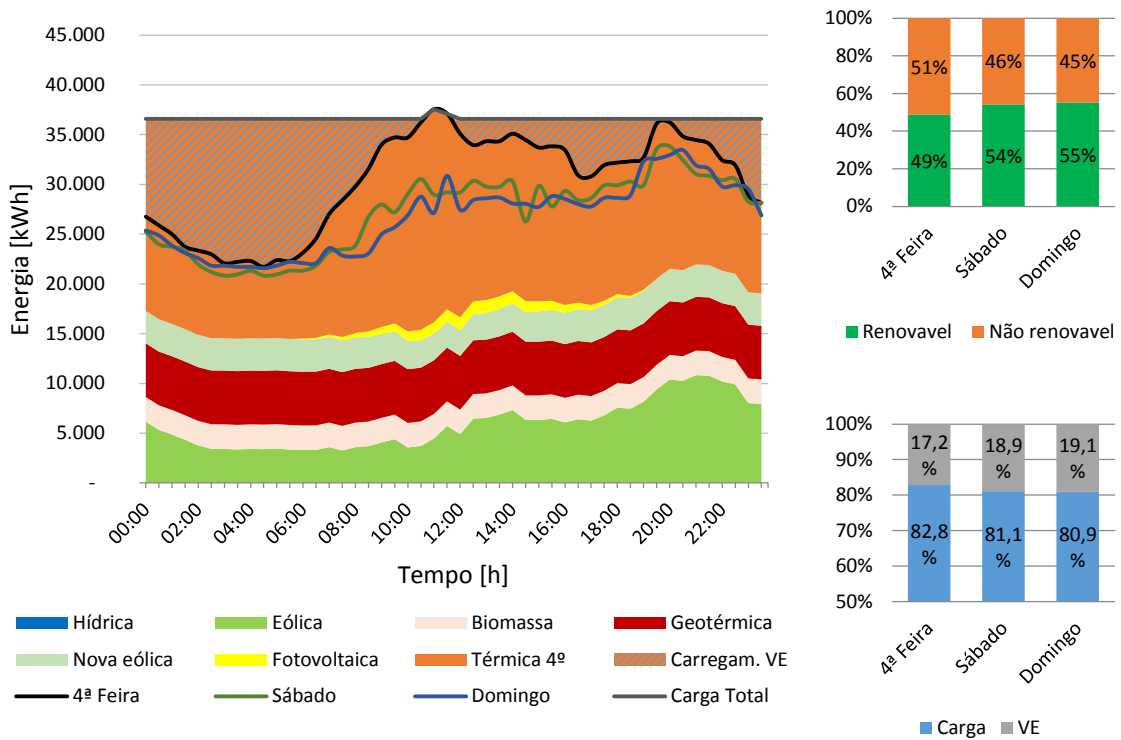


Figura do Apêndice 4.33 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

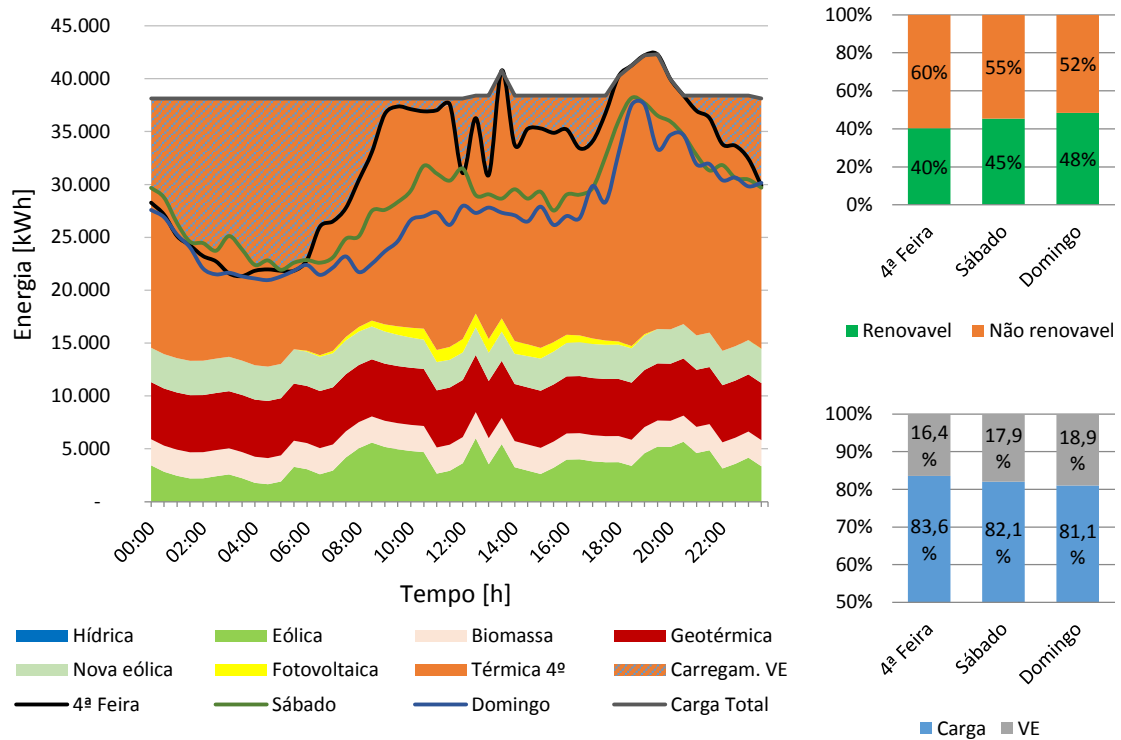


Figura do Apêndice 4.34 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.7.2. Setor automóvel

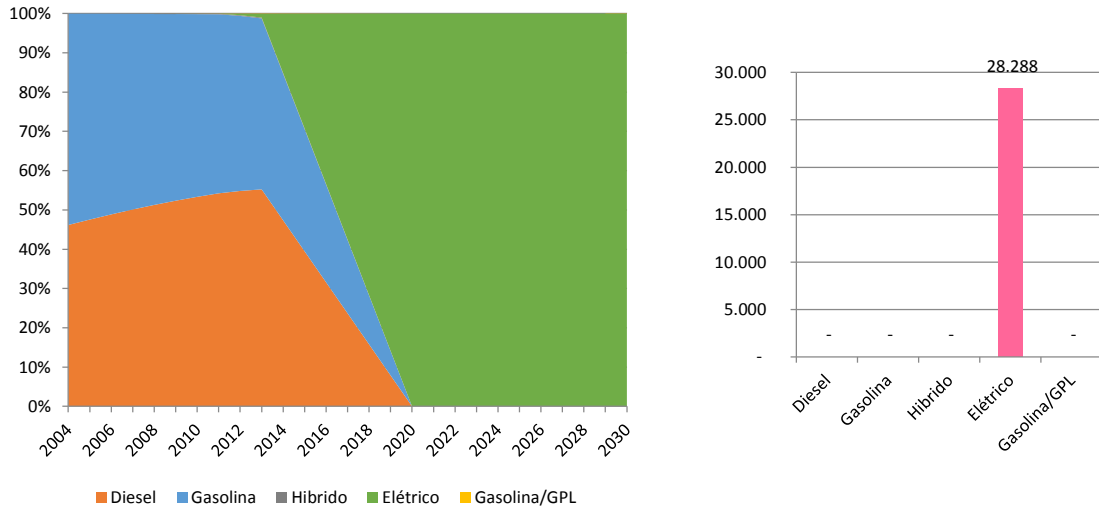


Figura do Apêndice 4.35 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.8. Caso 8

### 4.8.1. Setor elétrico

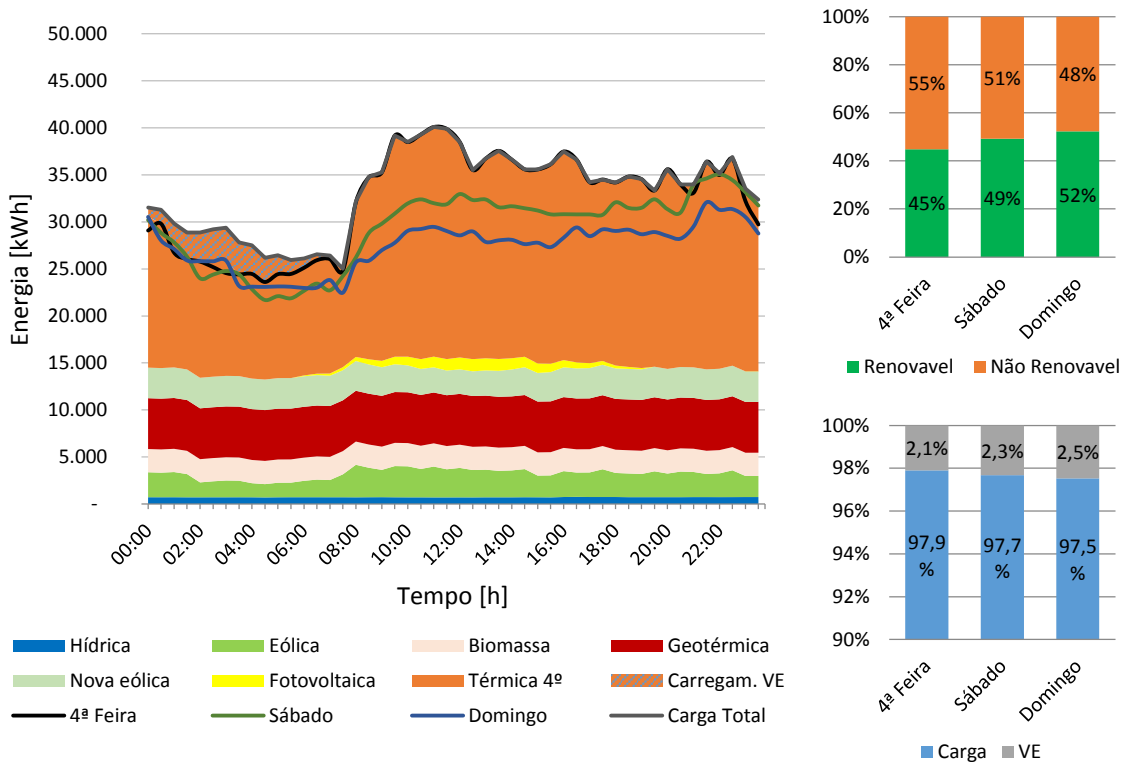


Figura do Apêndice 4.36 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

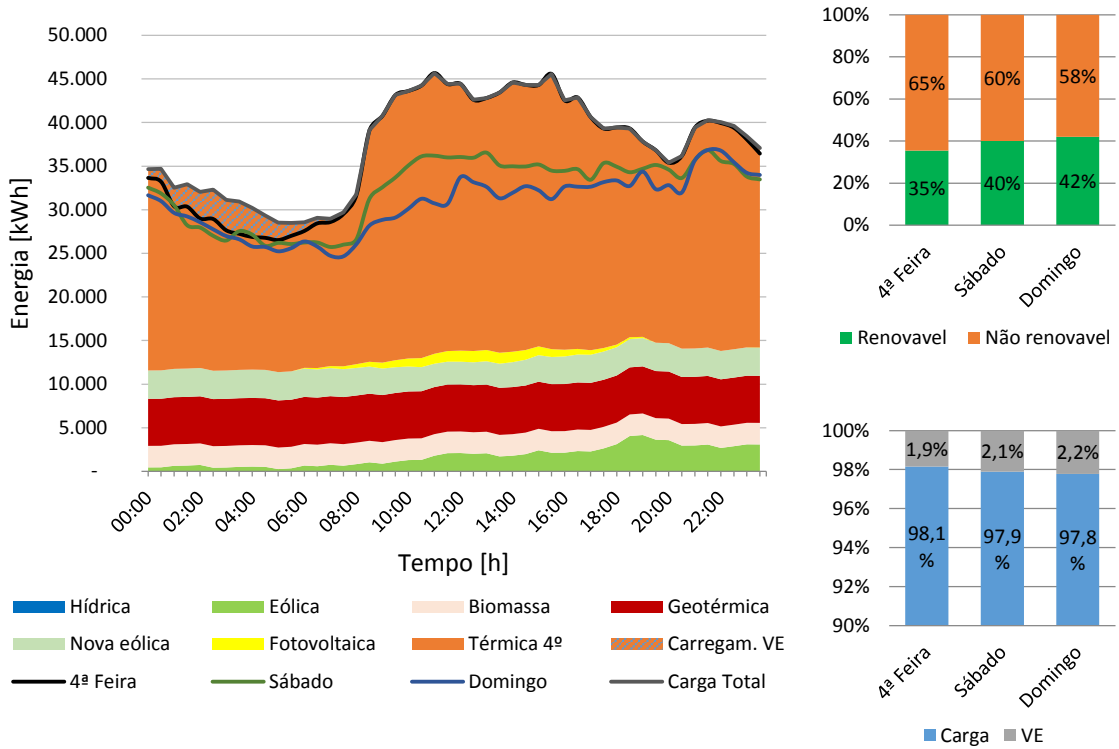


Figura do Apêndice 4.37 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

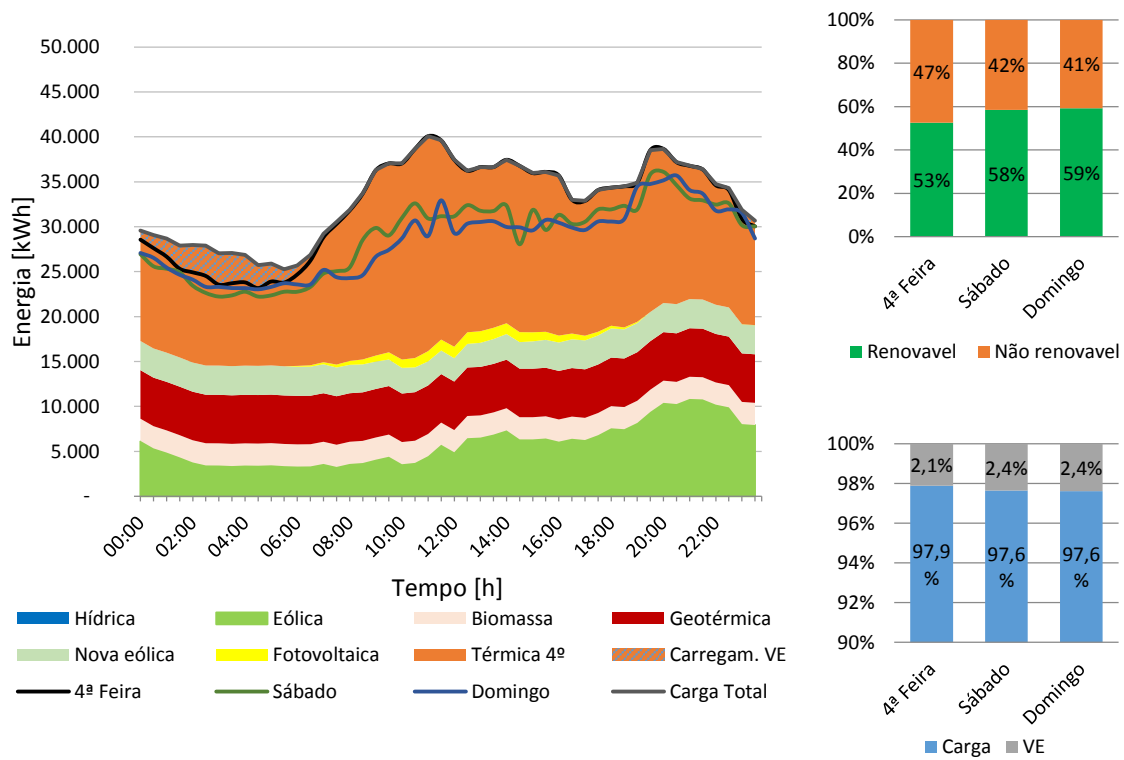


Figura do Apêndice 4.38 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

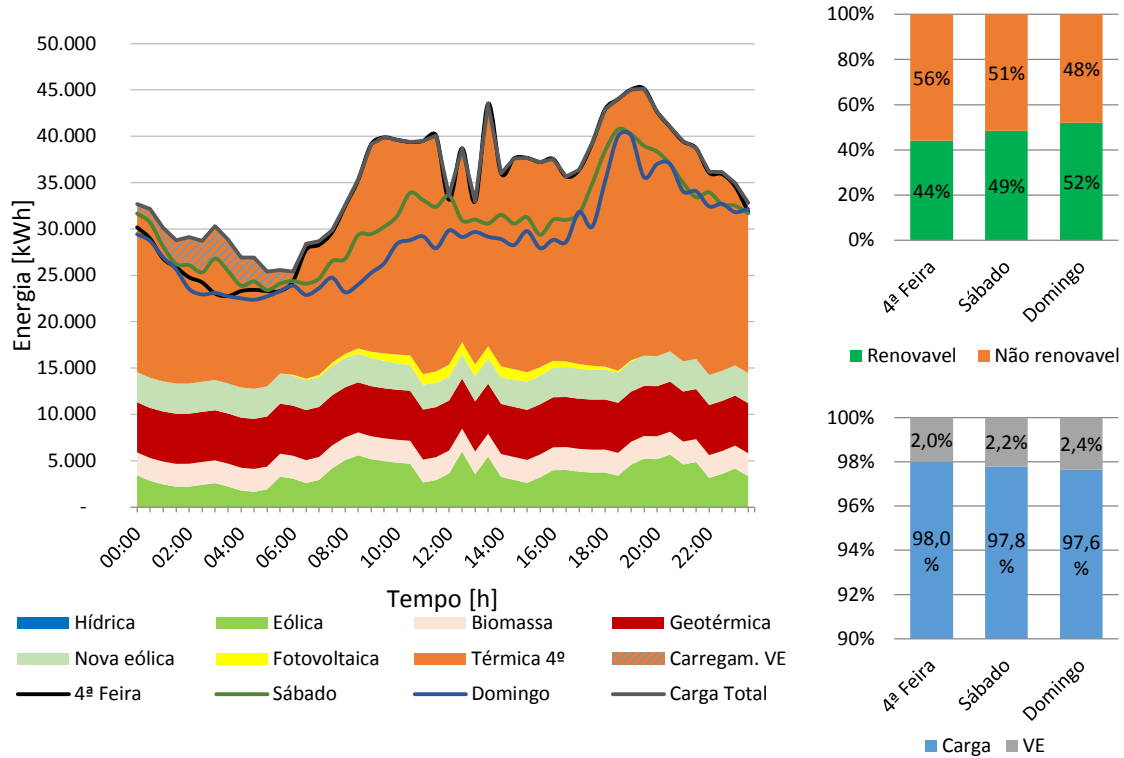


Figura do Apêndice 4.39 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.8.2. Setor automóvel

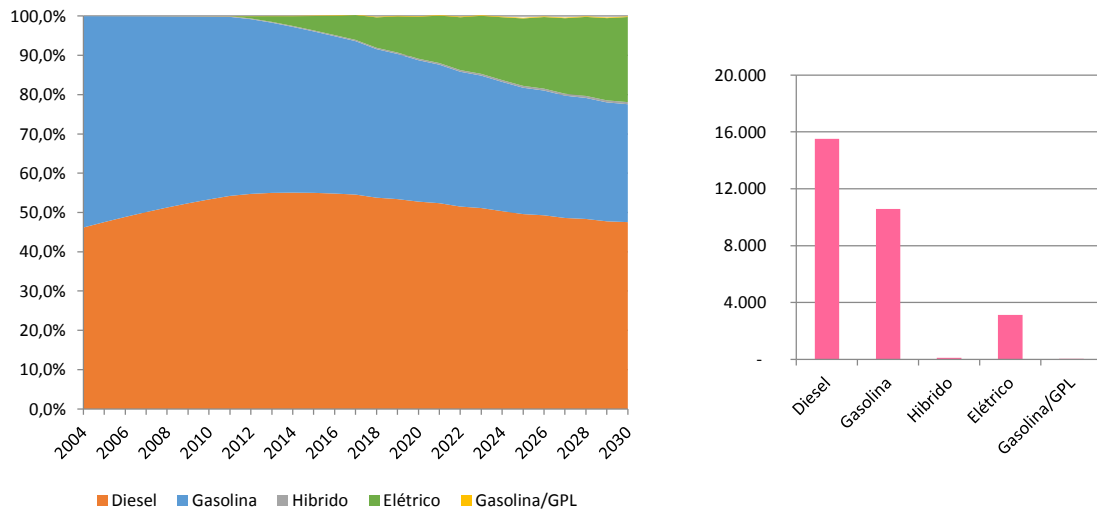


Figura do Apêndice 4.40 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.9. Caso 9

### 4.9.1. Setor elétrico

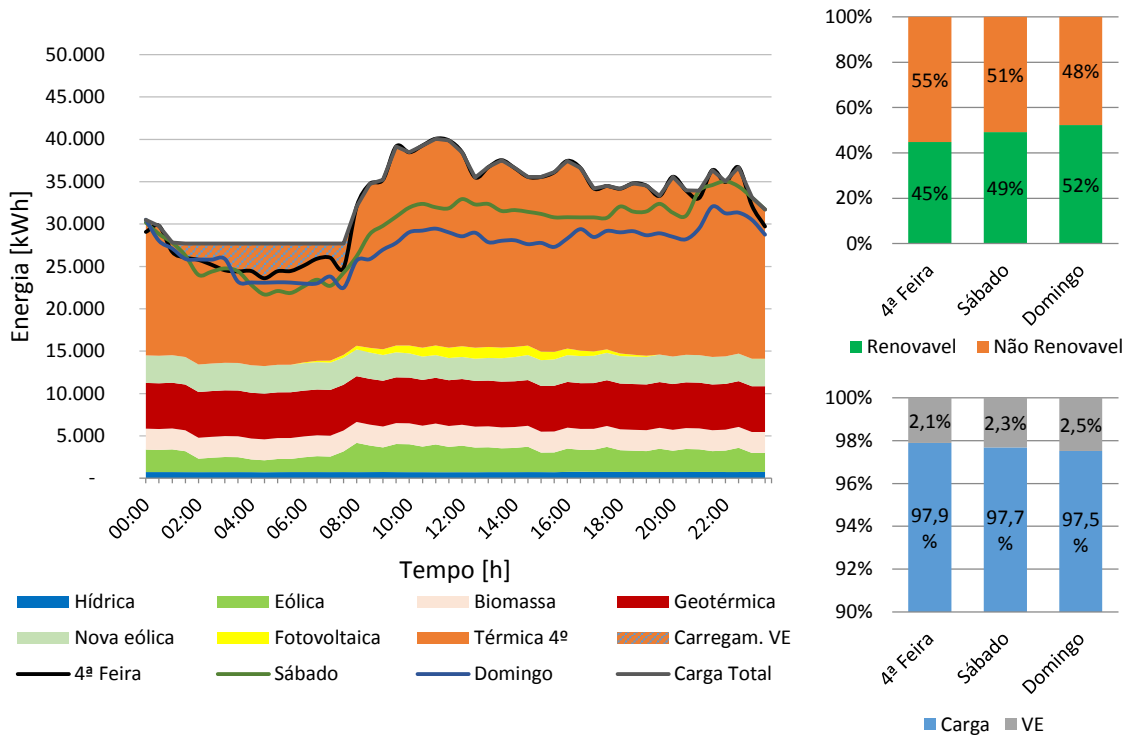


Figura do Apêndice 4.41 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

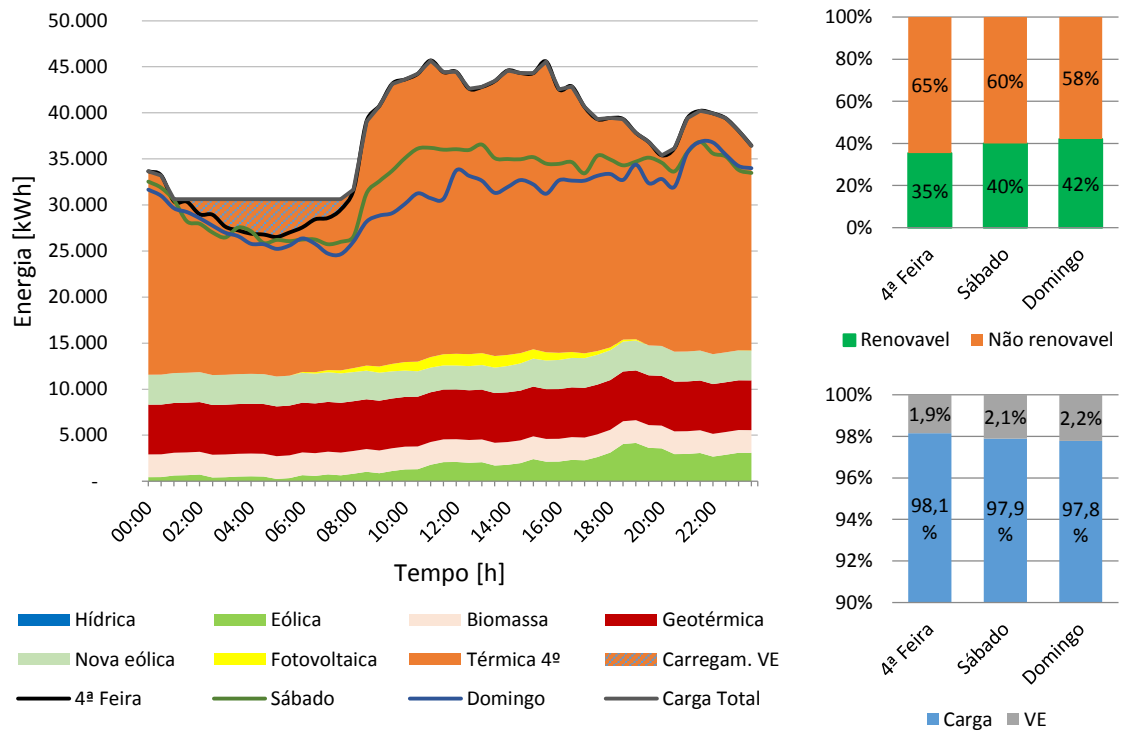


Figura do Apêndice 4.42 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

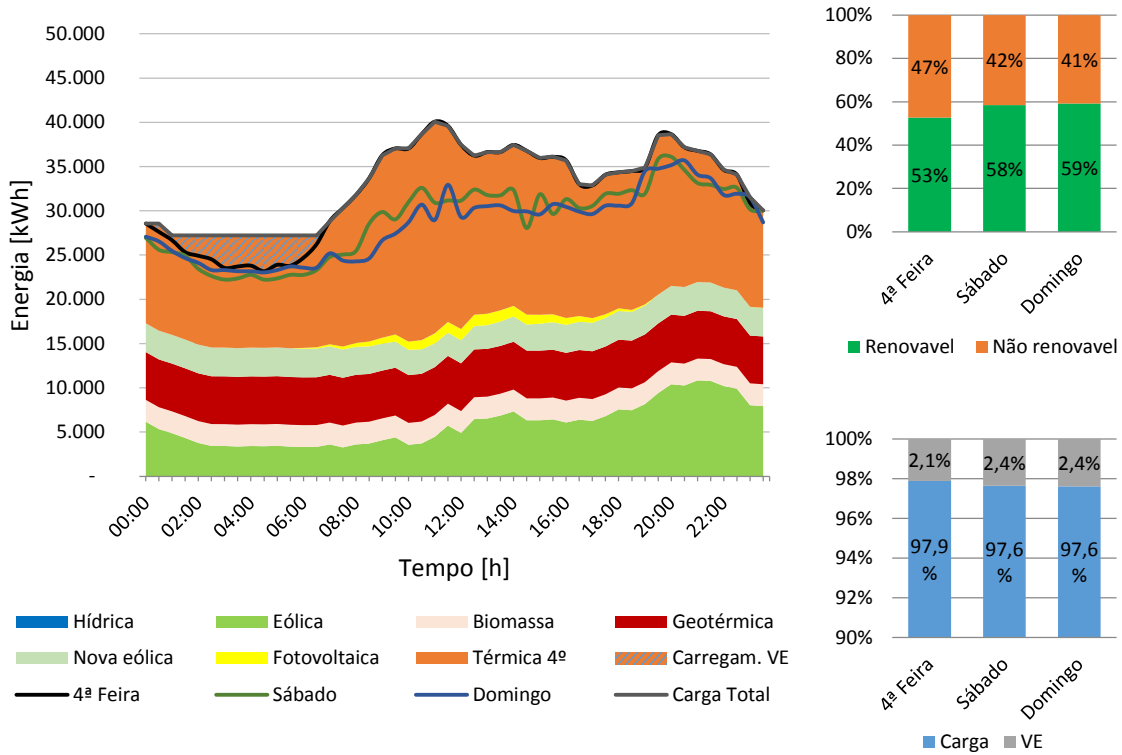


Figura do Apêndice 4.43 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

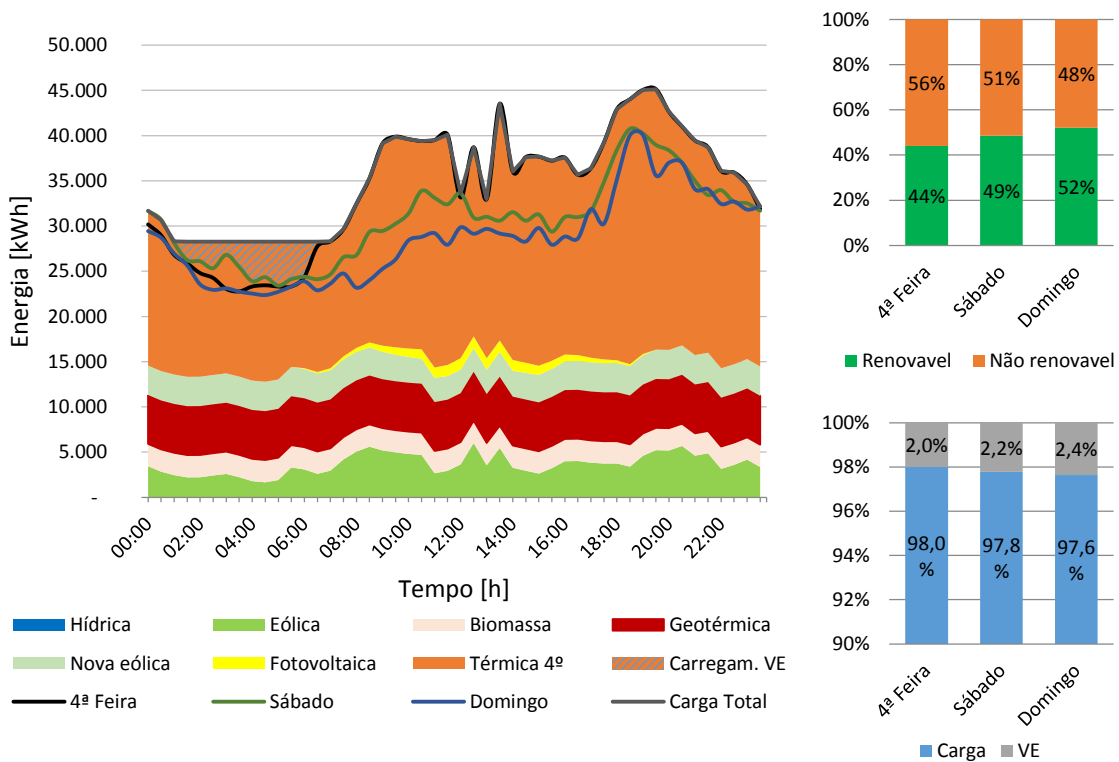


Figura do Apêndice 4.44 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.9.2. Setor automóvel

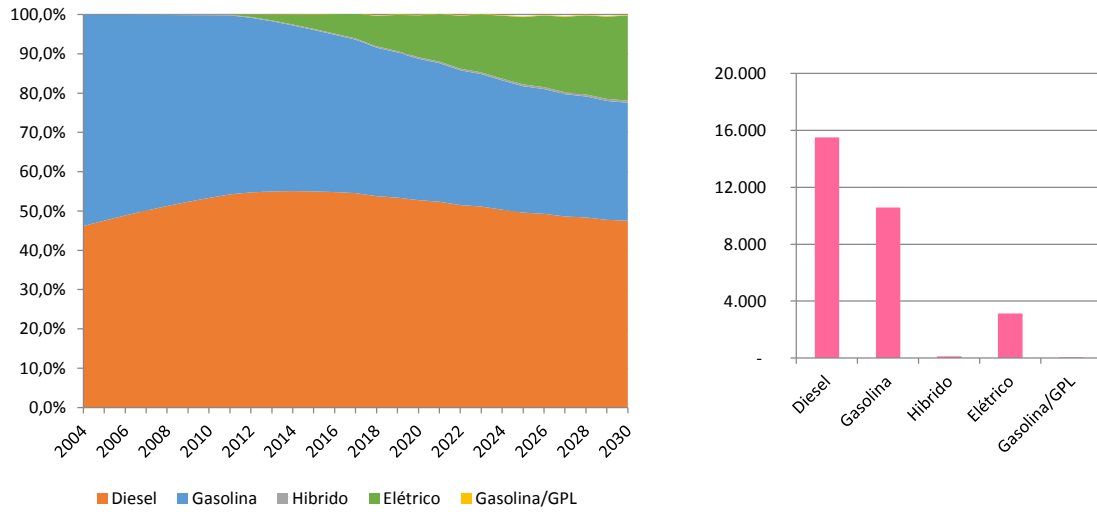


Figura do Apêndice 4.45 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.10. Caso 10

### 4.10.1. Setor elétrico

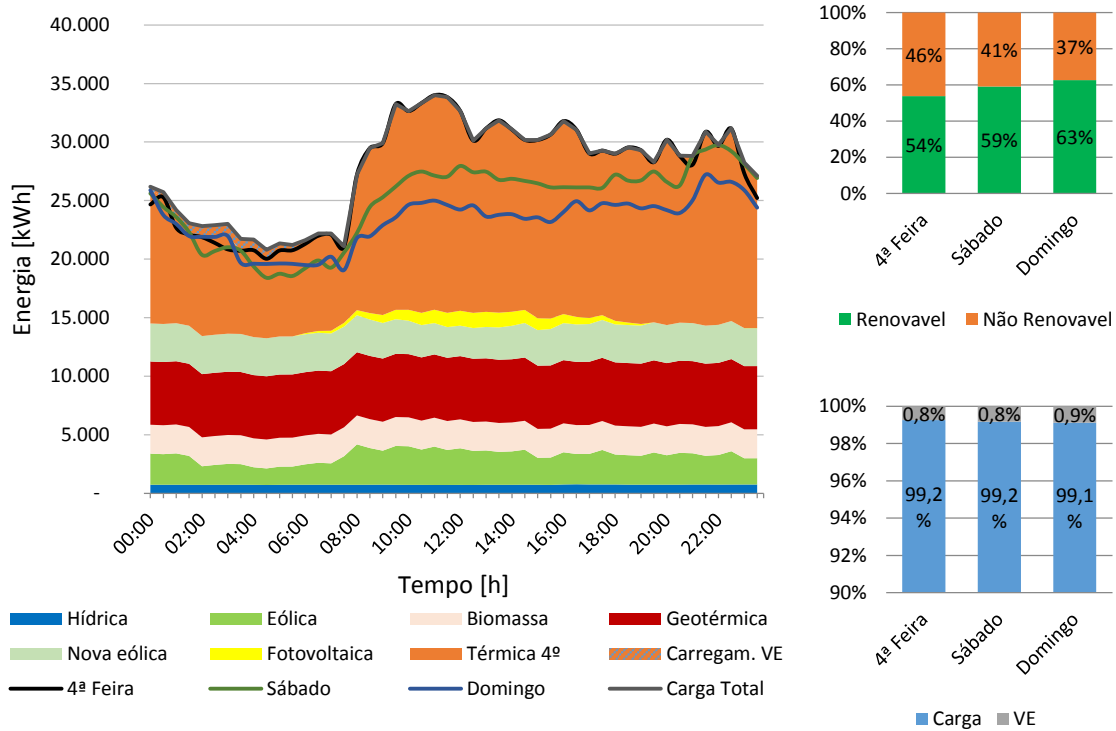


Figura do Apêndice 4.46 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

## Apêndices

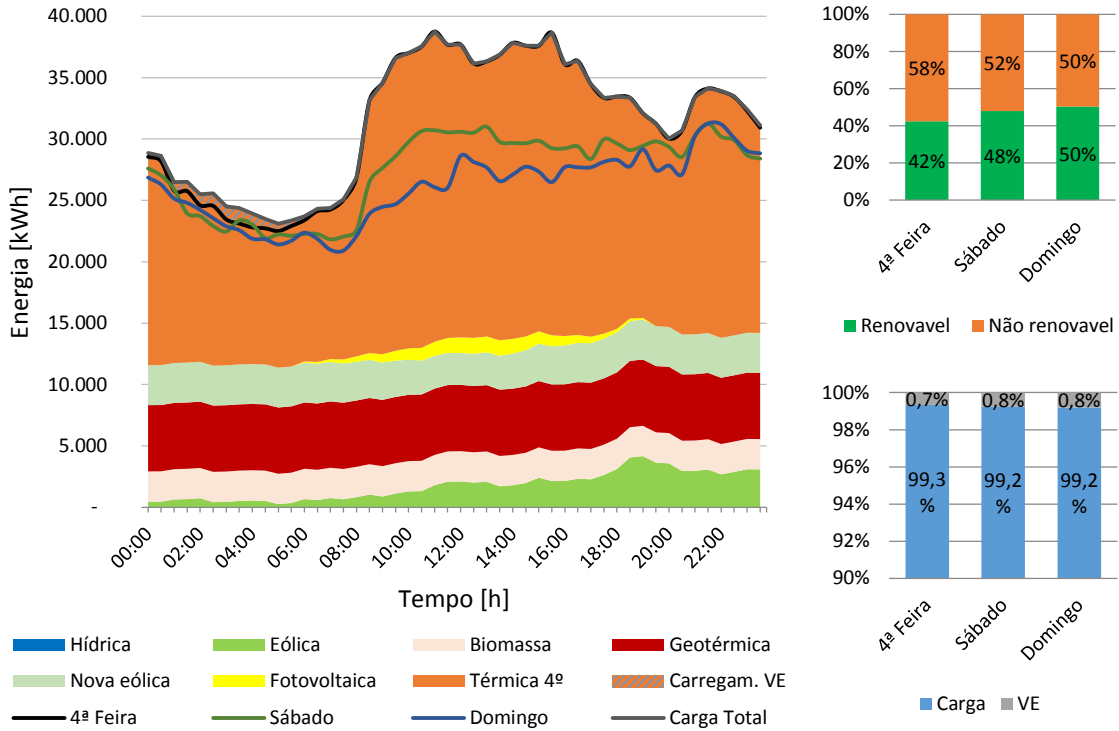


Figura do Apêndice 4.47 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

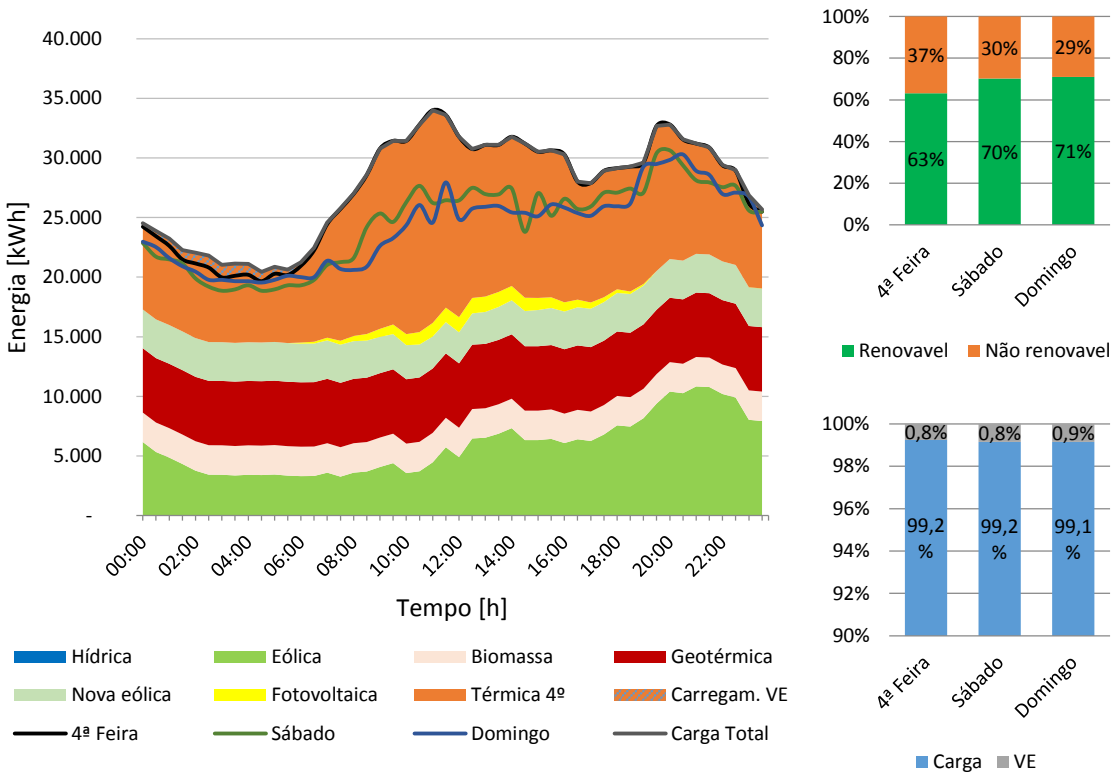


Figura do Apêndice 4.48 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

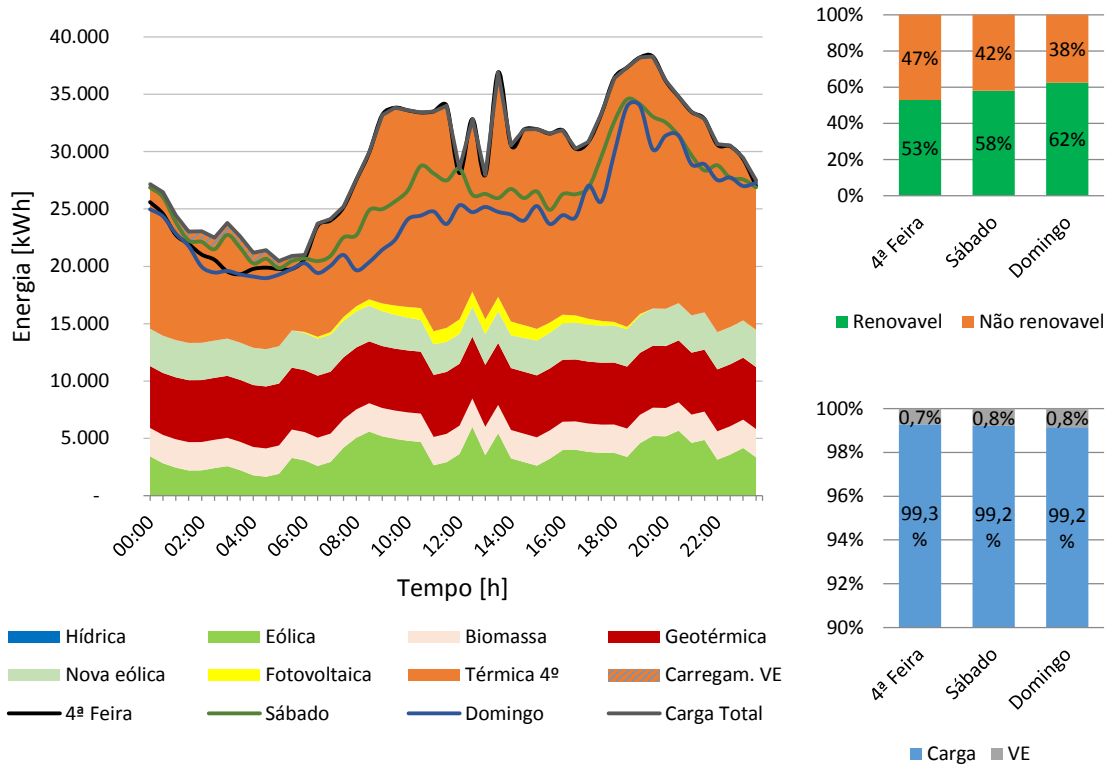


Figura do Apêndice 4.49 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.10.2. Setor automóvel

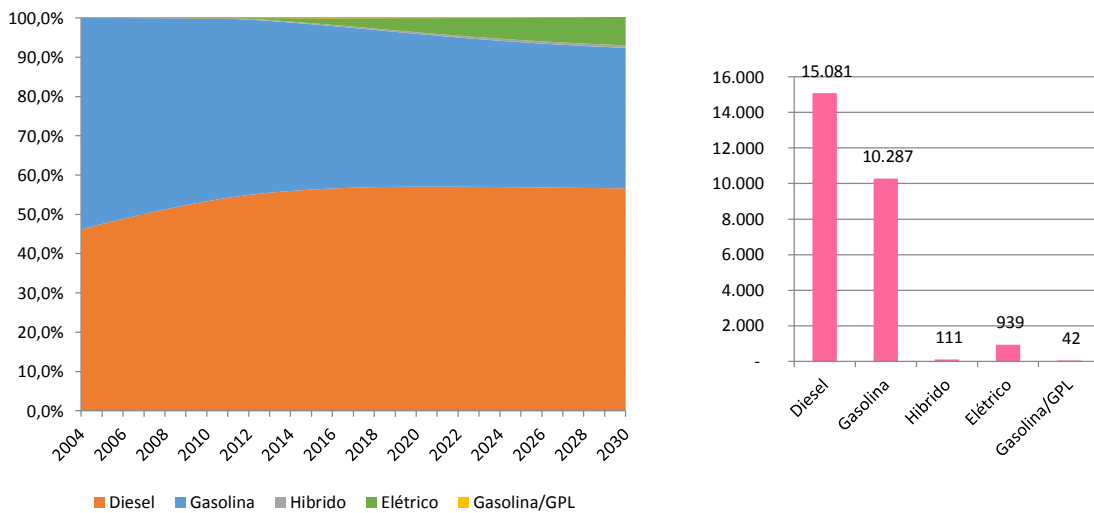


Figura do Apêndice 4.50 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.11. Caso 11

#### 4.11.1. Setor elétrico

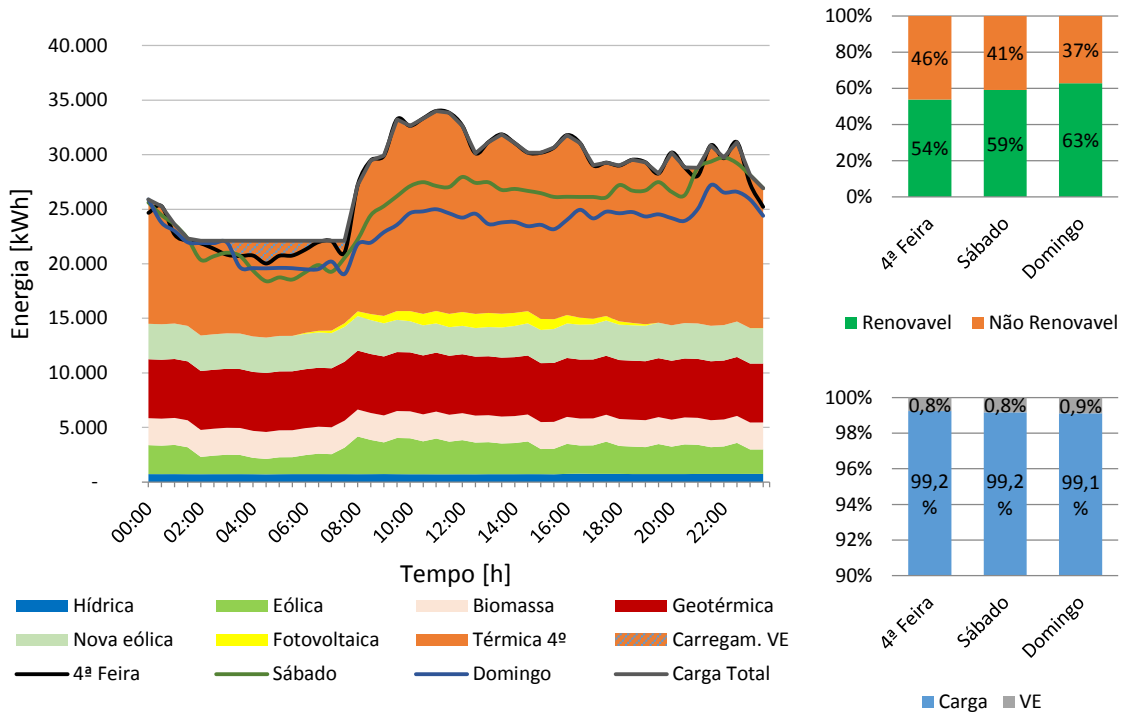


Figura do Apêndice 4.51 – Diagrama de carga característico da Primavera 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

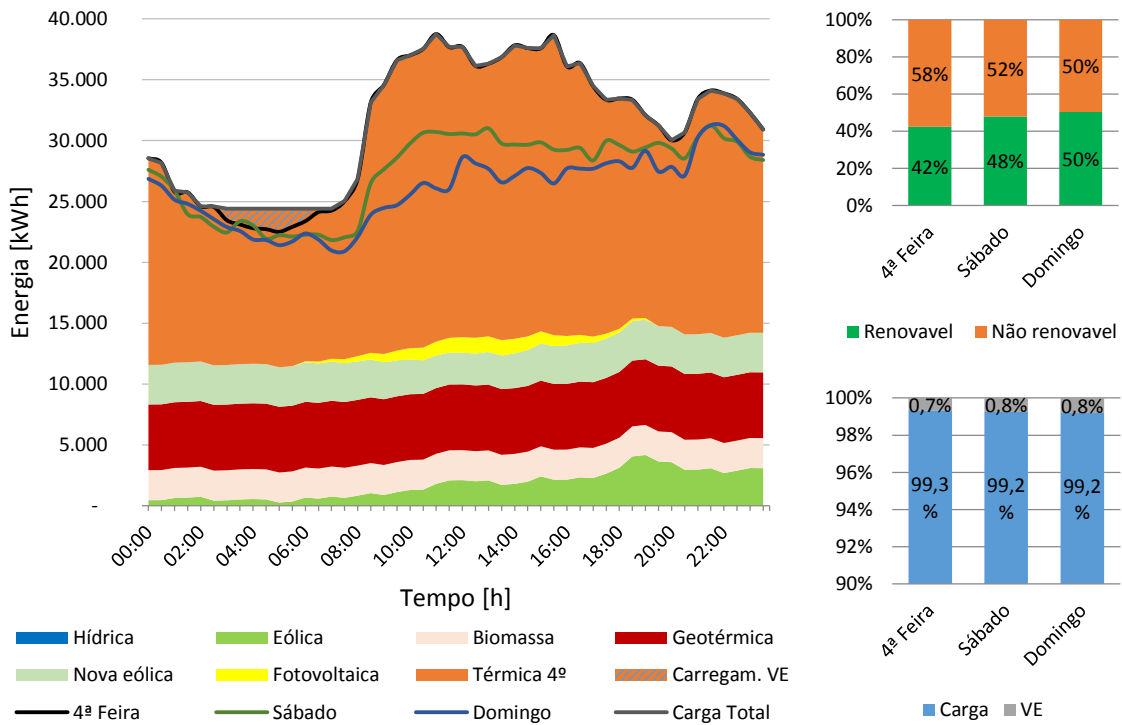


Figura do Apêndice 4.52 – Diagrama de carga característico do Verão 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

## Apêndices

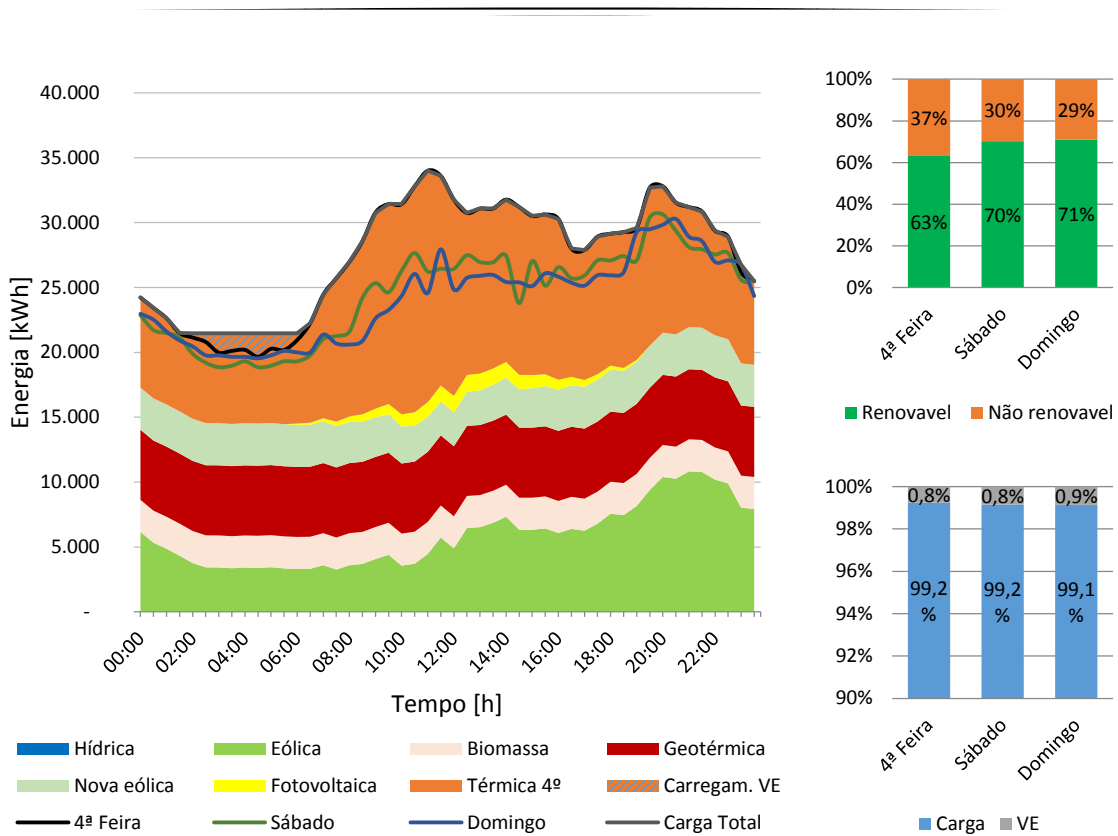


Figura do Apêndice 4.53 – Diagrama de carga característico do Outono 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

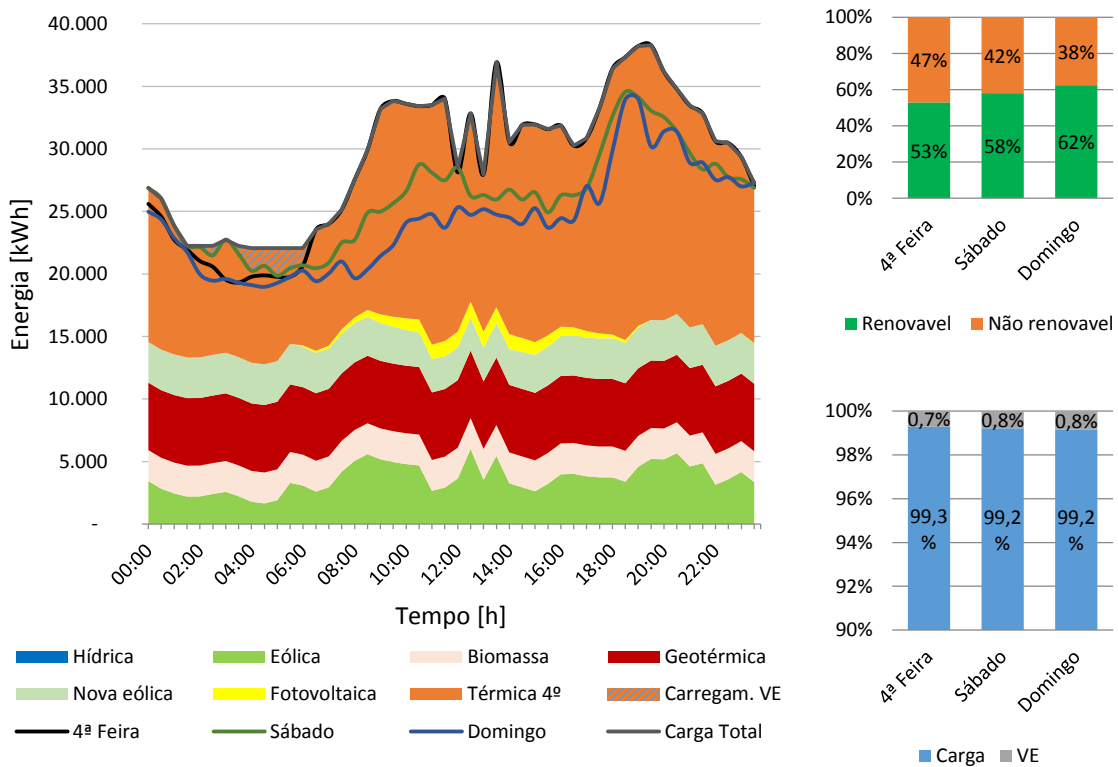


Figura do Apêndice 4.54 – Diagrama de carga característico do Inverno 2020 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.11.2. Setor automóvel

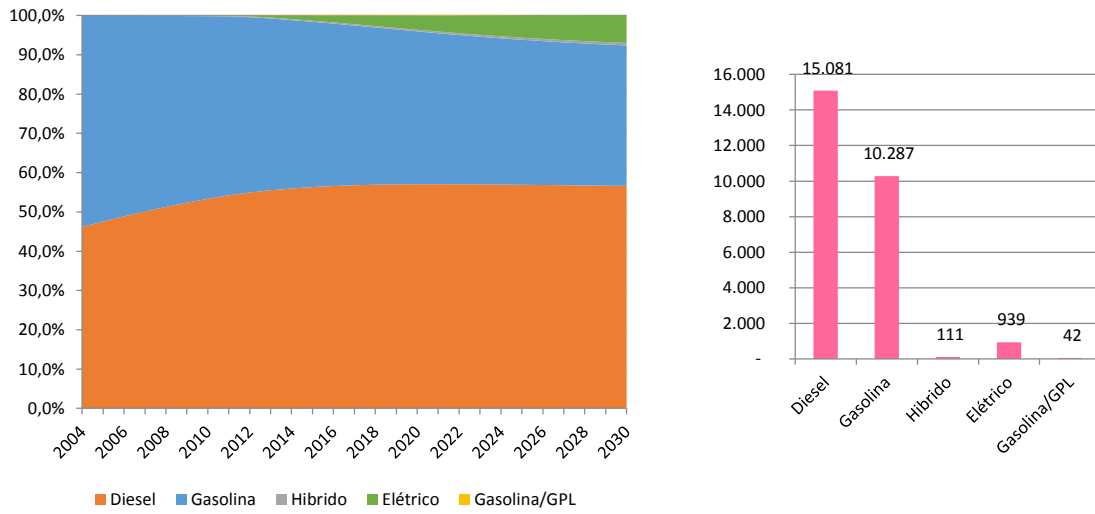


Figura do Apêndice 4.55 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.12. Caso 12

### 4.12.1. Setor elétrico

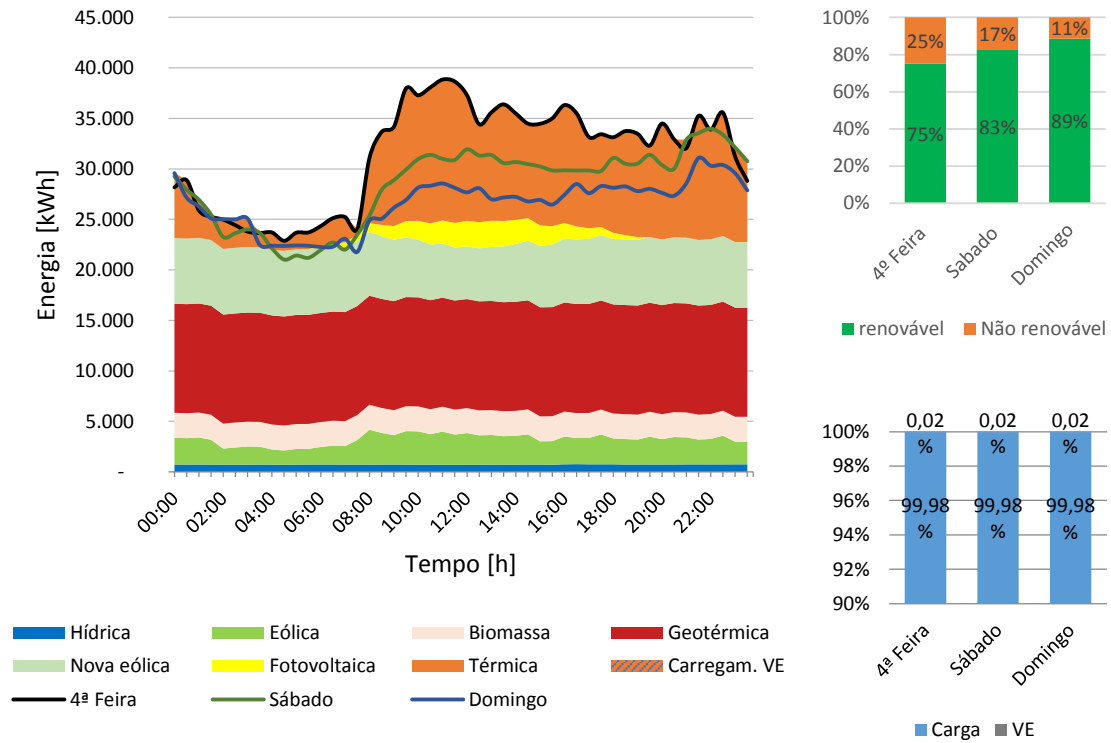


Figura do Apêndice 4.56 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

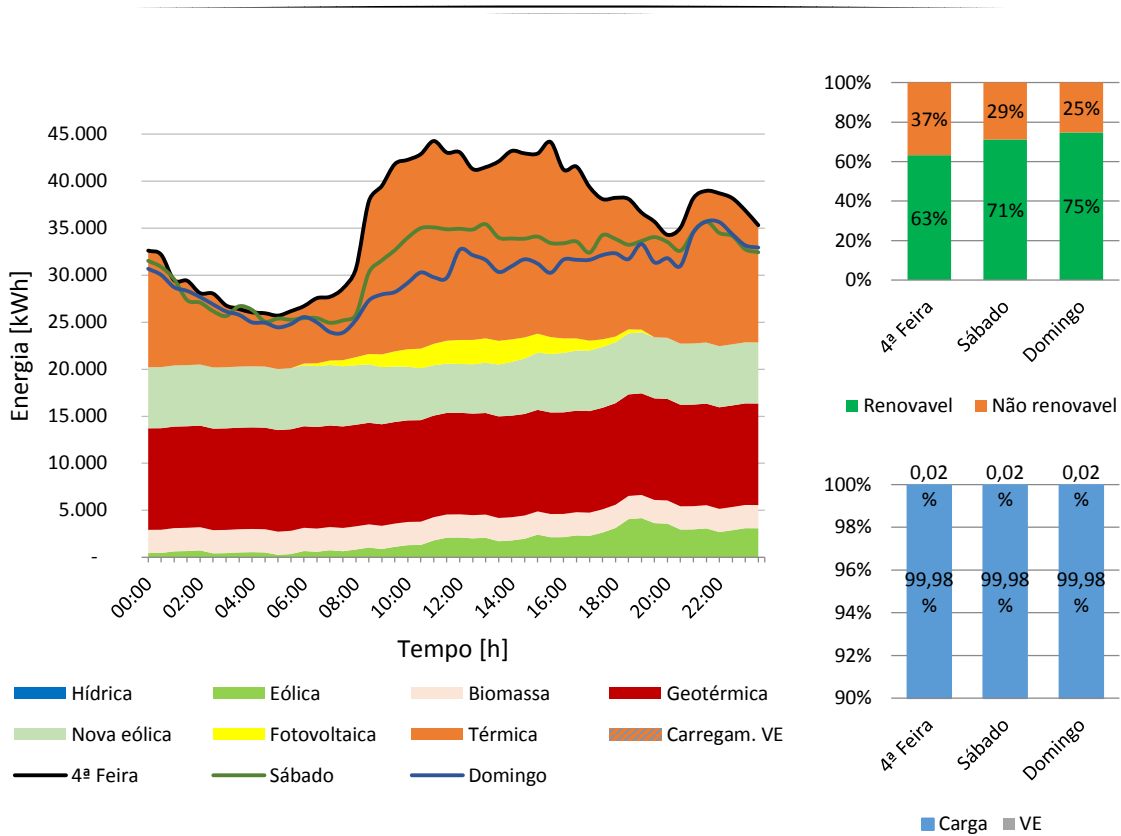


Figura do Apêndice 4.57 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

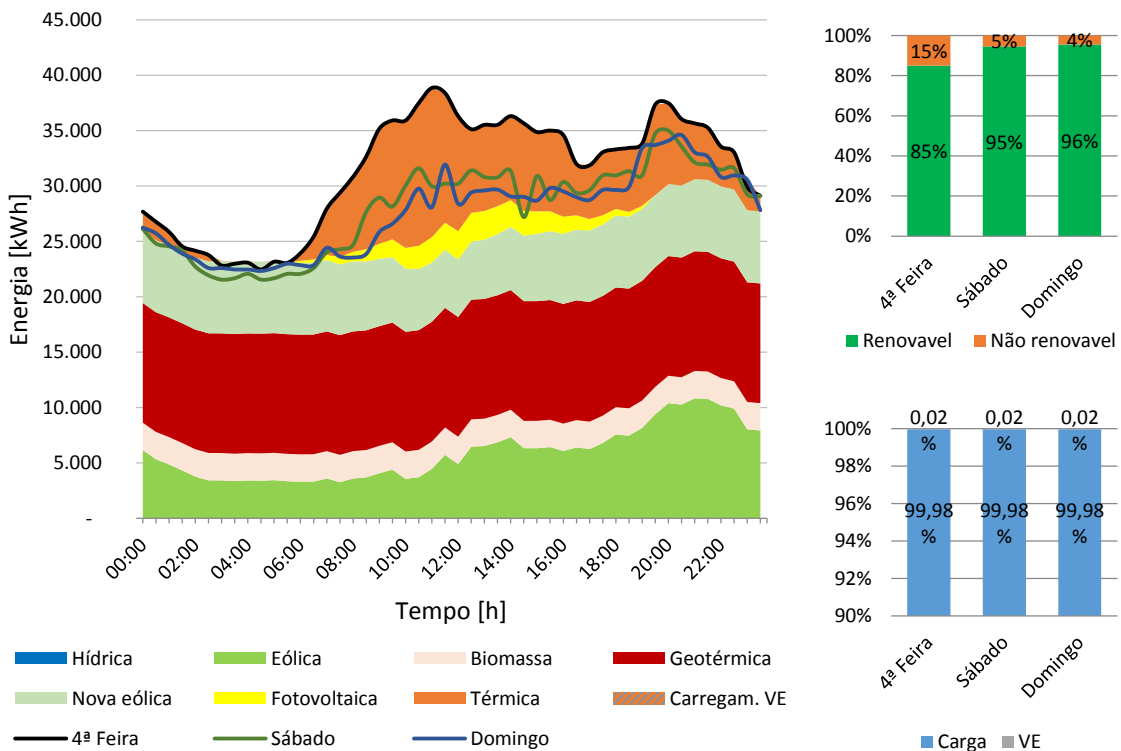


Figura do Apêndice 4.58 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

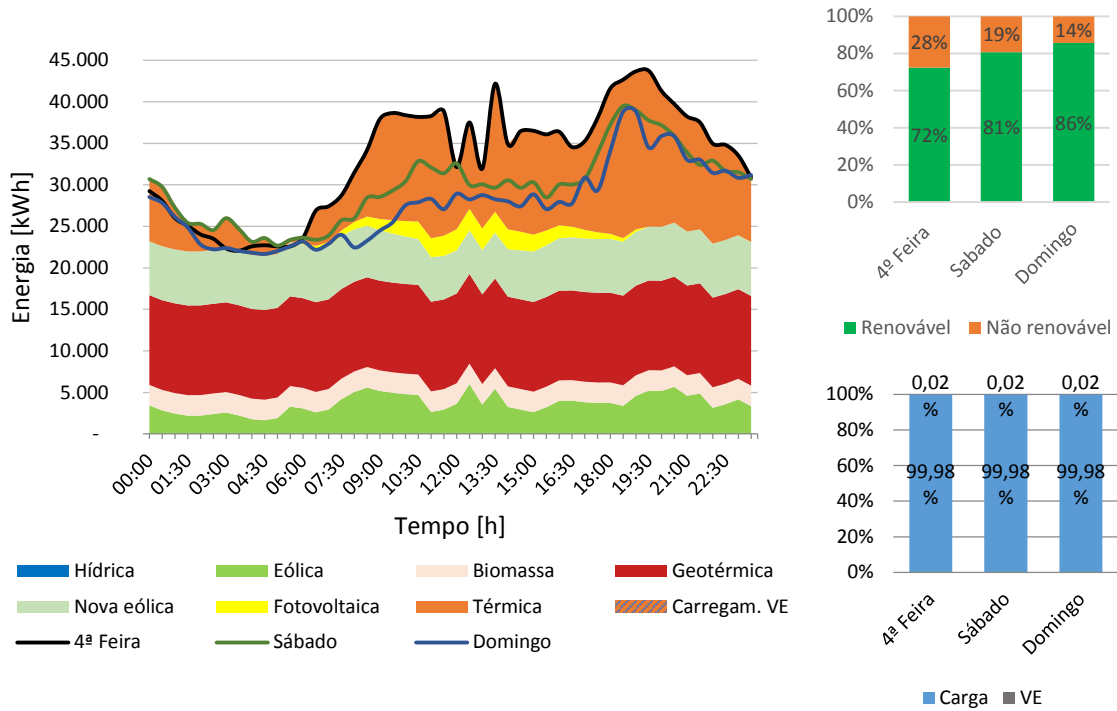


Figura do Apêndice 4.59 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.12.2. Setor automóvel

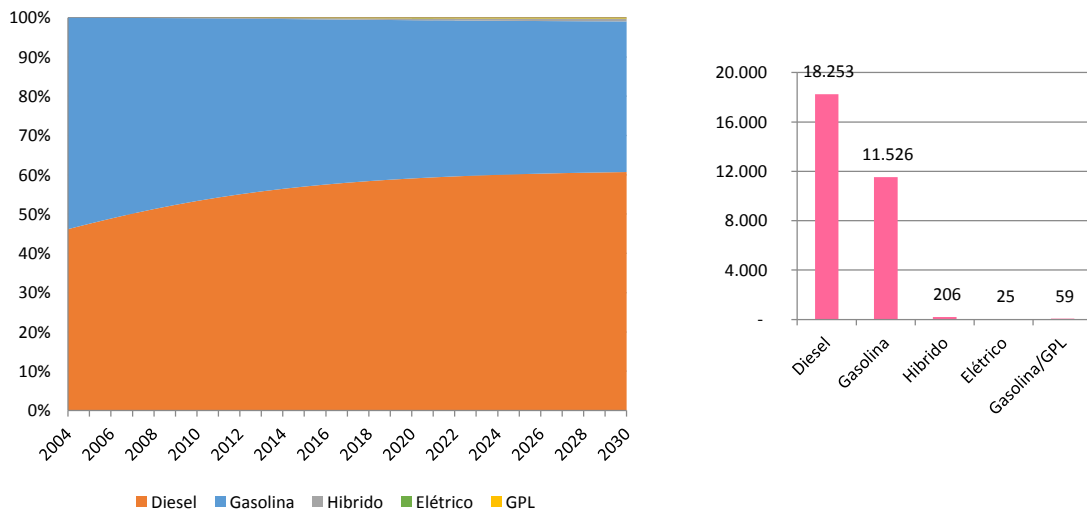


Figura do Apêndice 4.60 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.13. Caso 13

#### 4.13.1. Setor elétrico

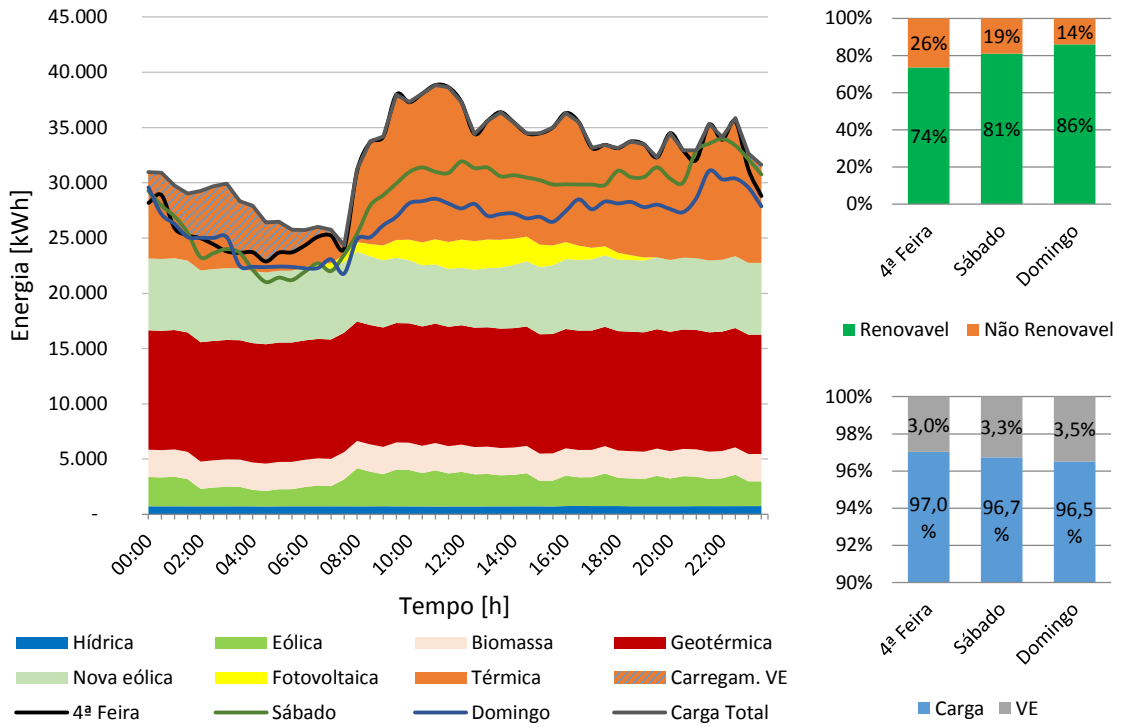


Figura do Apêndice 4.61 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

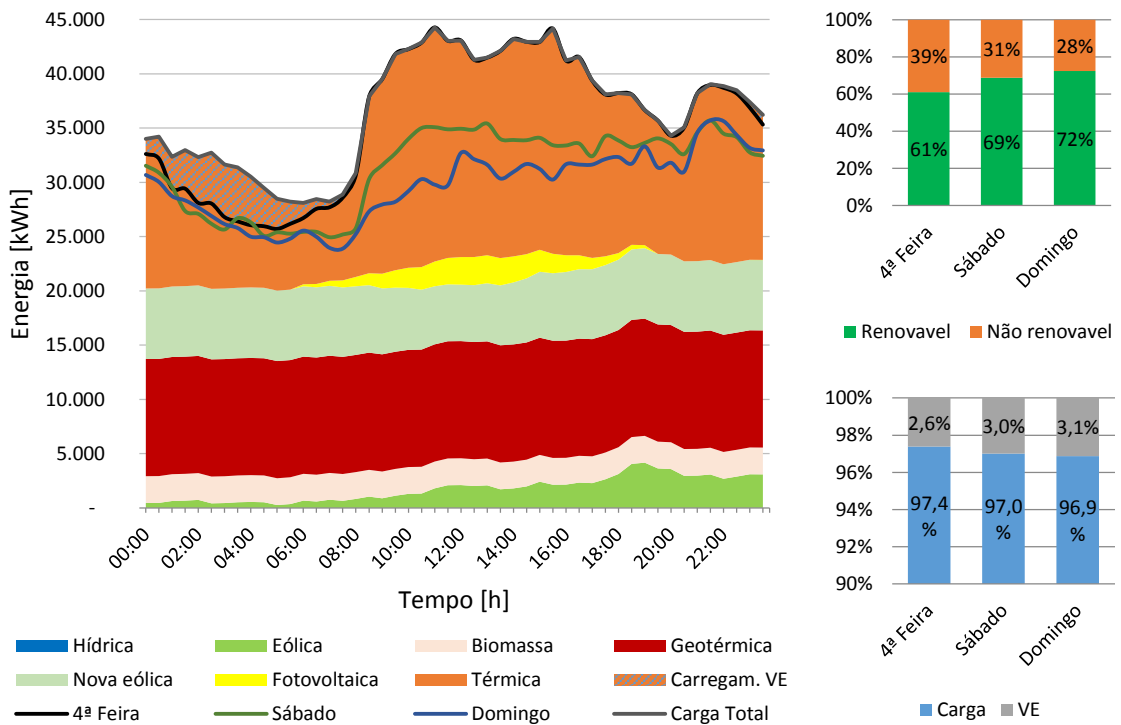


Figura do Apêndice 4.62 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

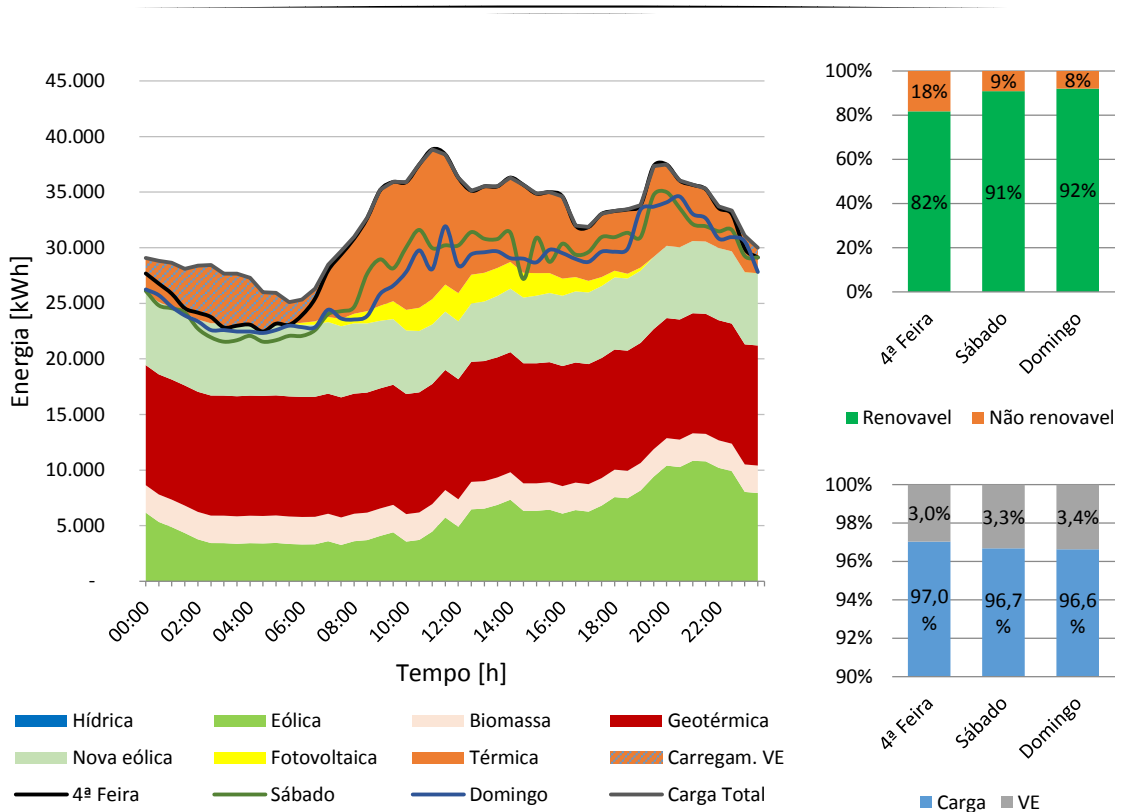


Figura do Apêndice 4.63 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

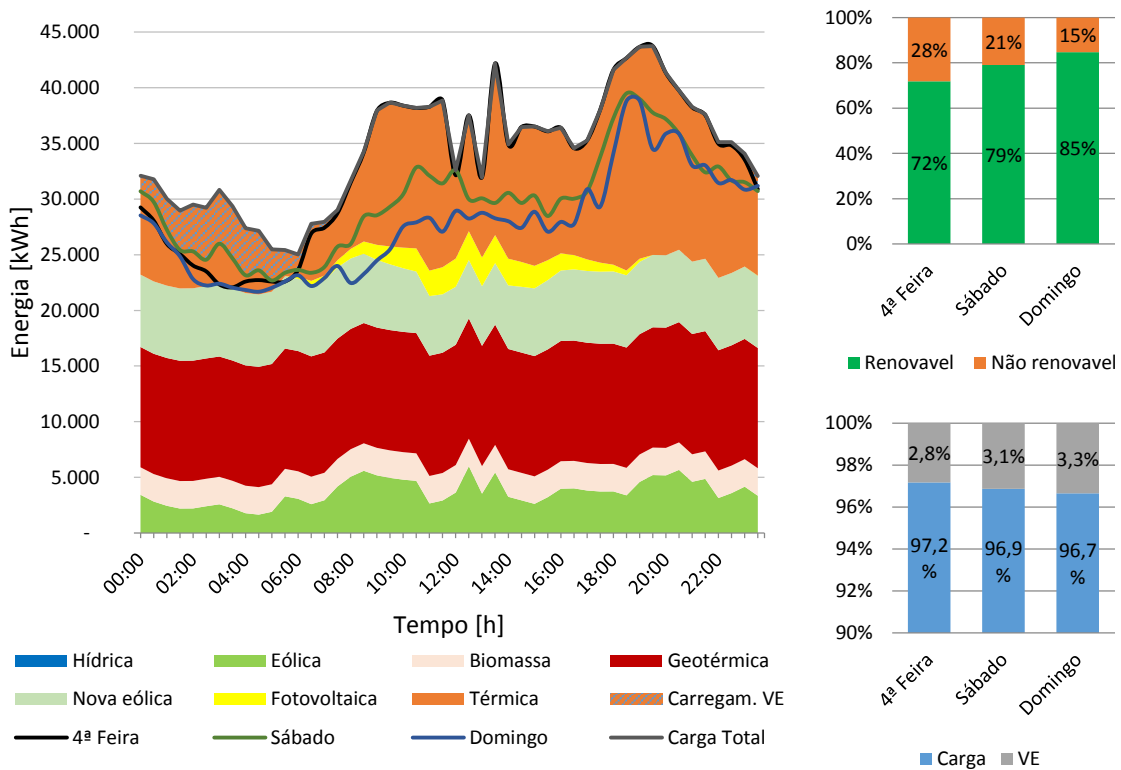


Figura do Apêndice 4.64 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.13.2. Setor automóvel

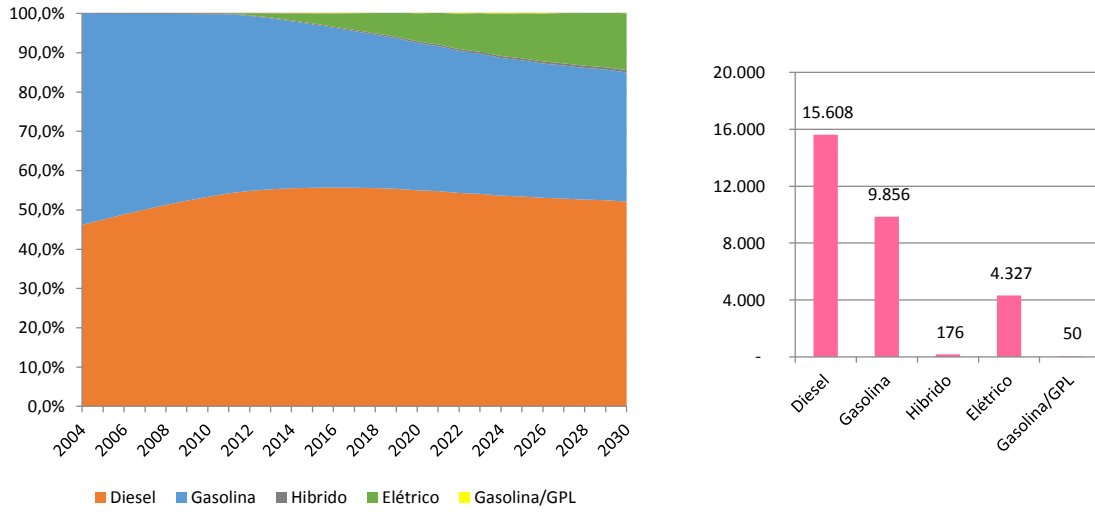


Figura do Apêndice 4.65 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.14. Caso 14

### 4.14.1. Setor elétrico

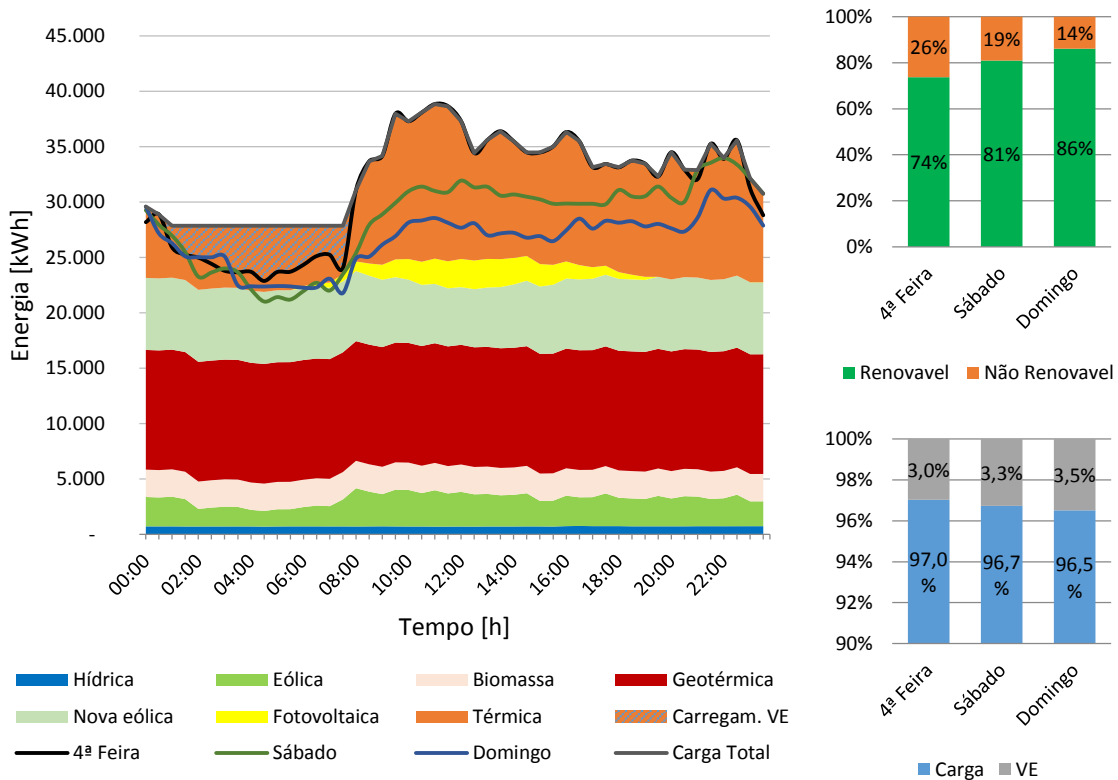


Figura do Apêndice 4.66 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

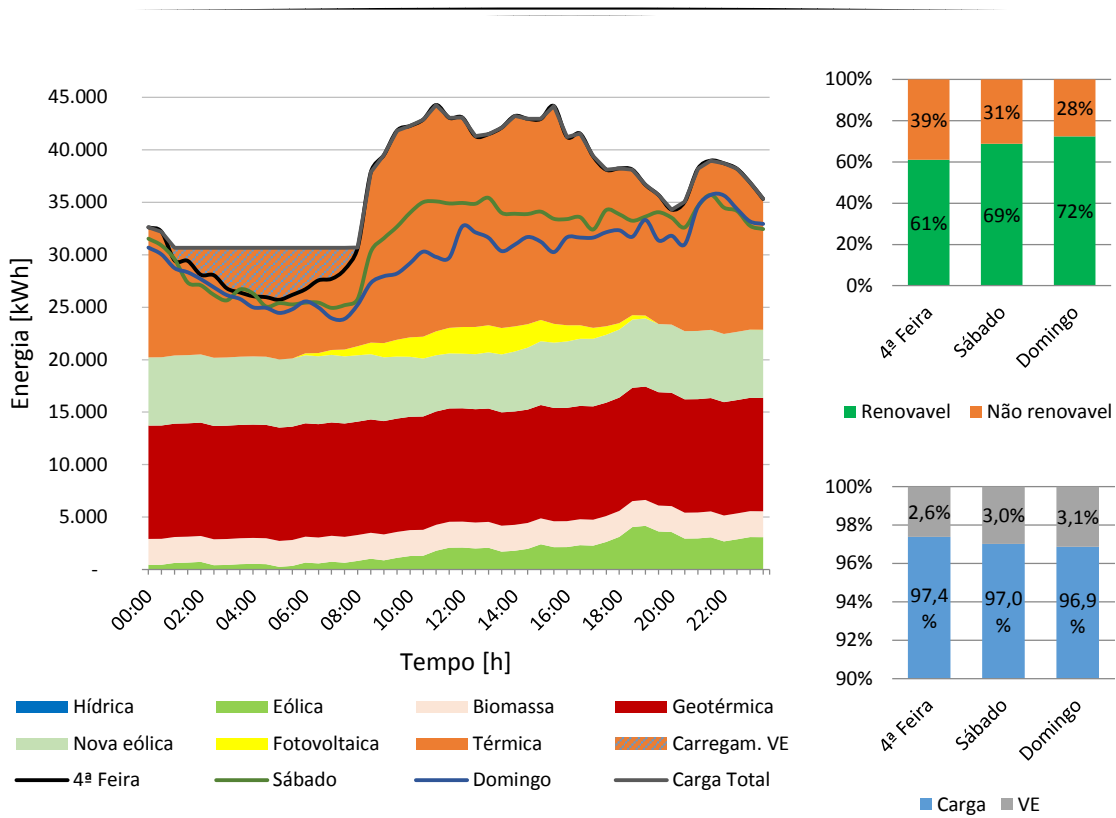


Figura do Apêndice 4.67 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

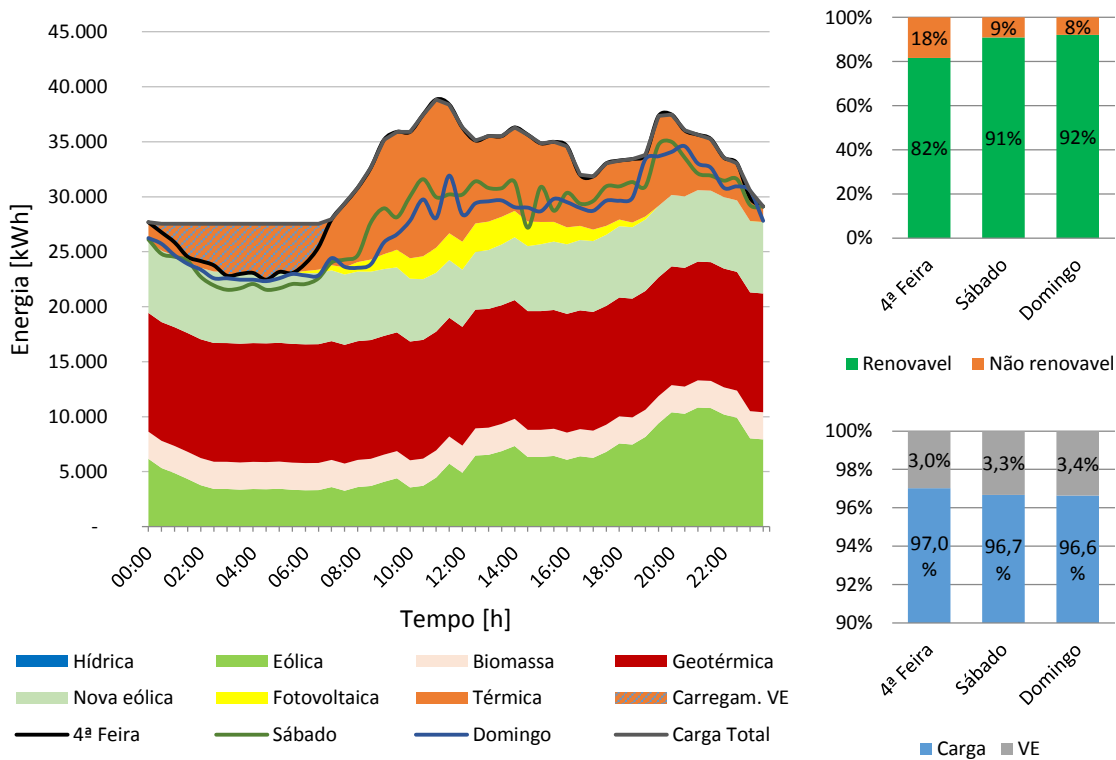


Figura do Apêndice 4.68 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

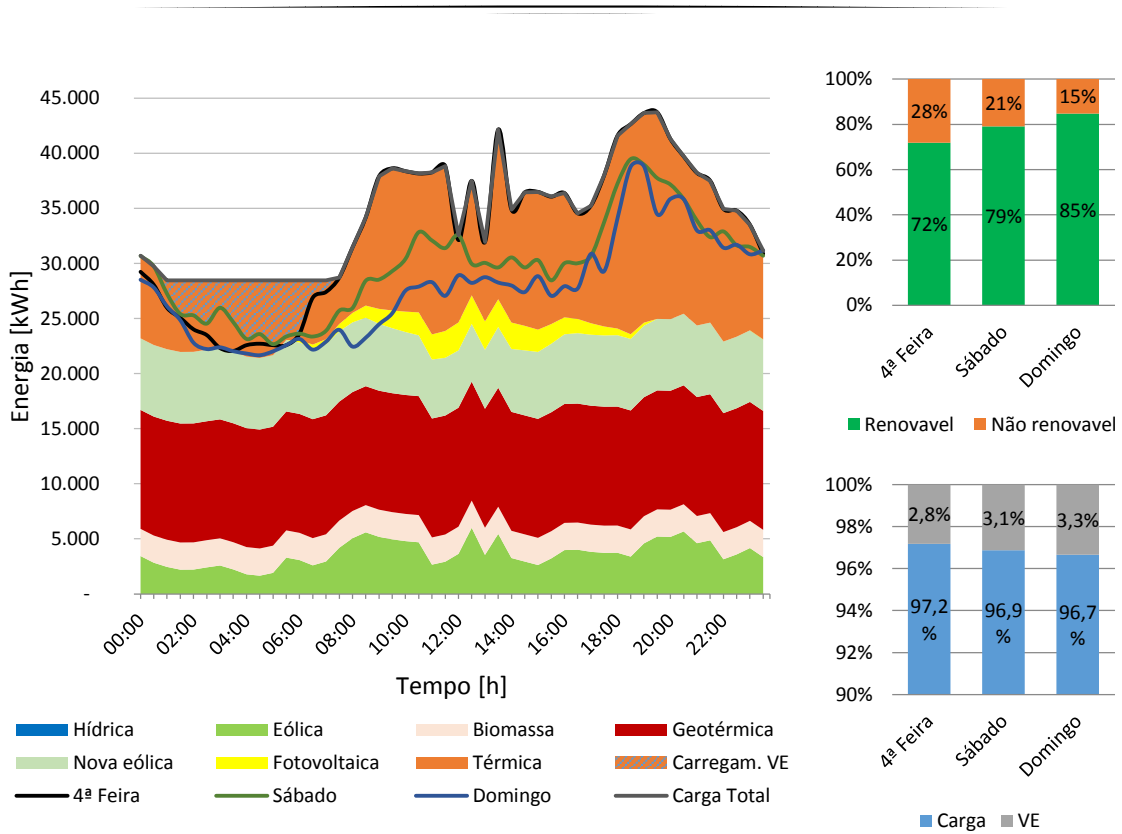


Figura do Apêndice 4.69 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

#### 4.14.2. Setor automóvel

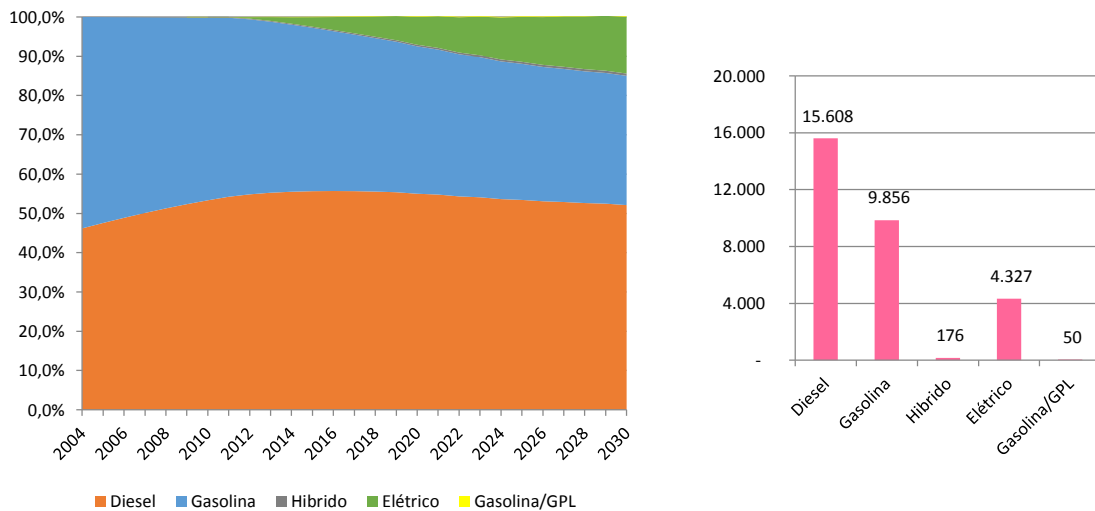


Figura do Apêndice 4.70 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.15. Caso 15

#### 4.15.1. Setor elétrico

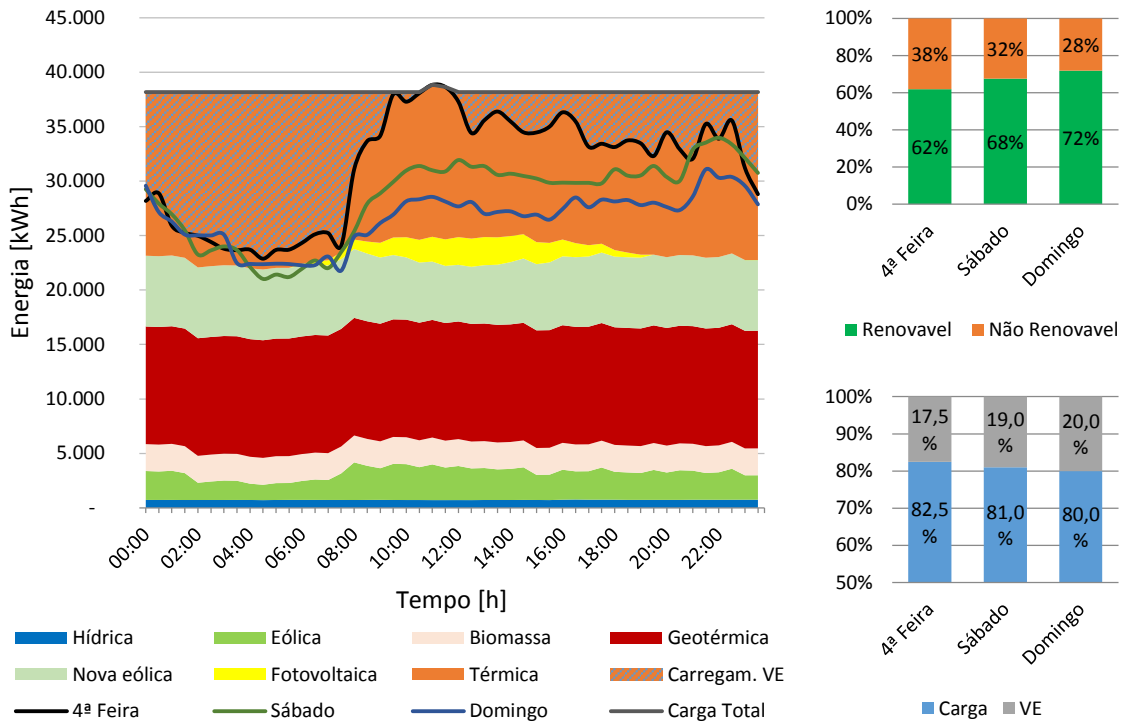


Figura do Apêndice 4.71 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

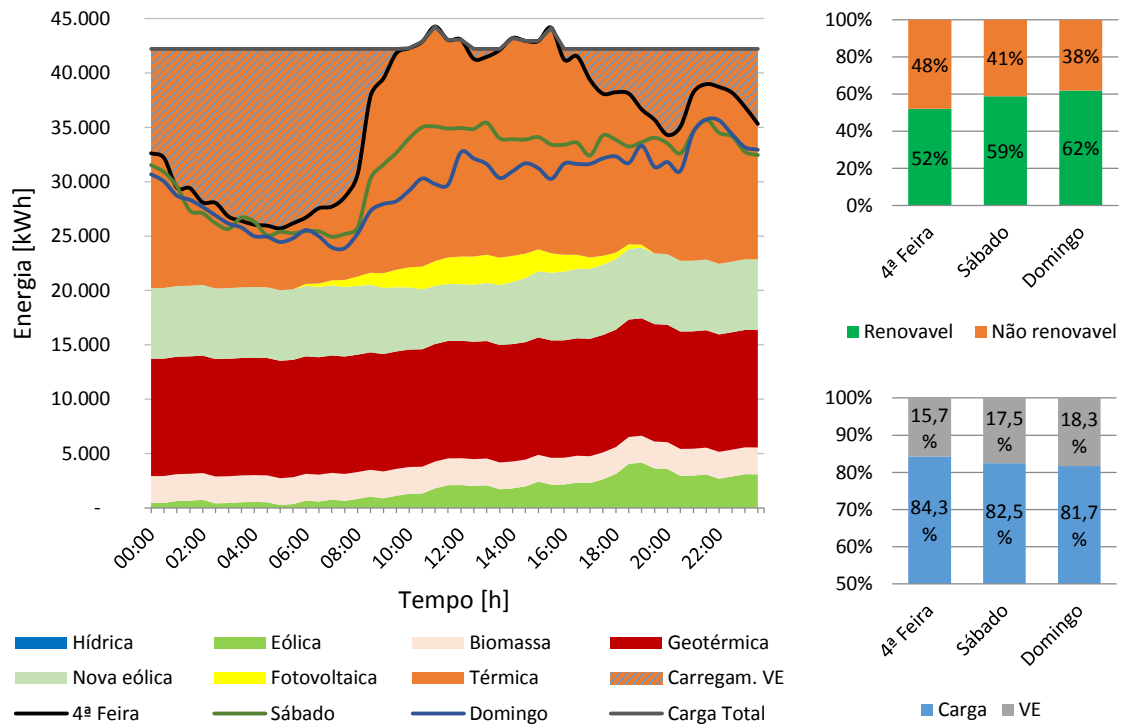


Figura do Apêndice 4.72 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

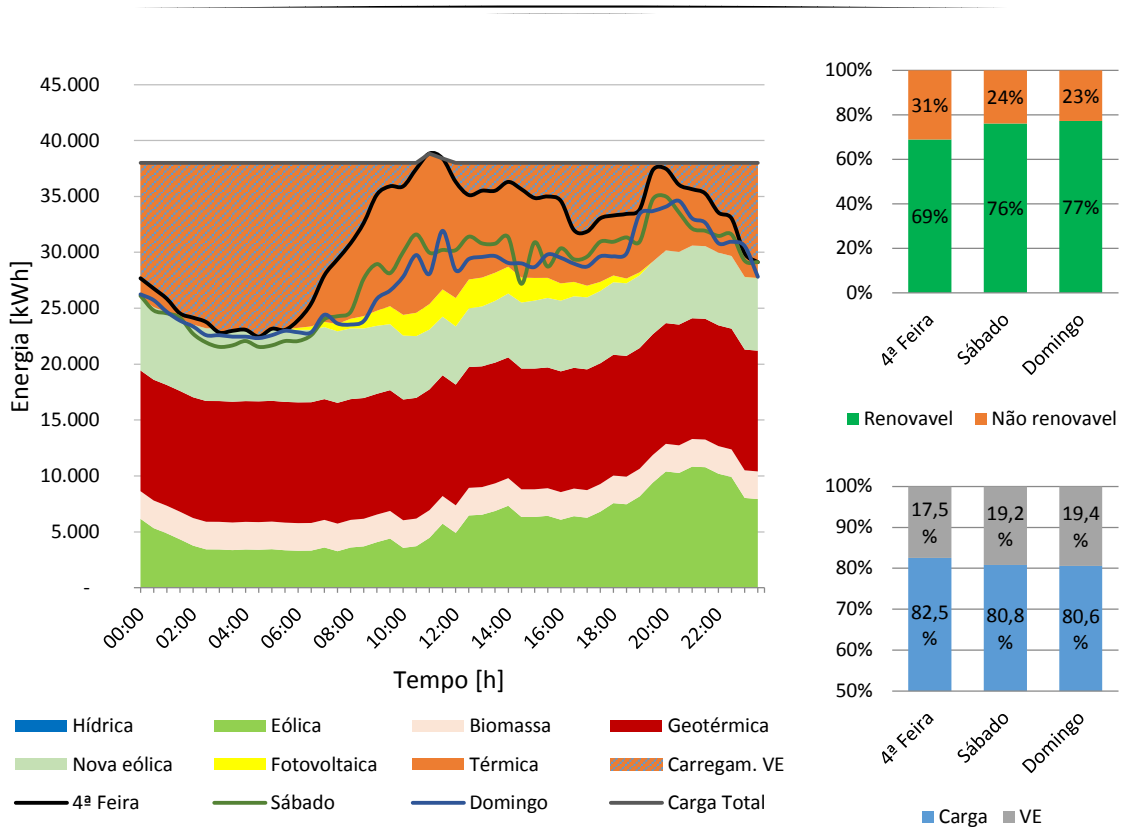


Figura do Apêndice 4.73 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

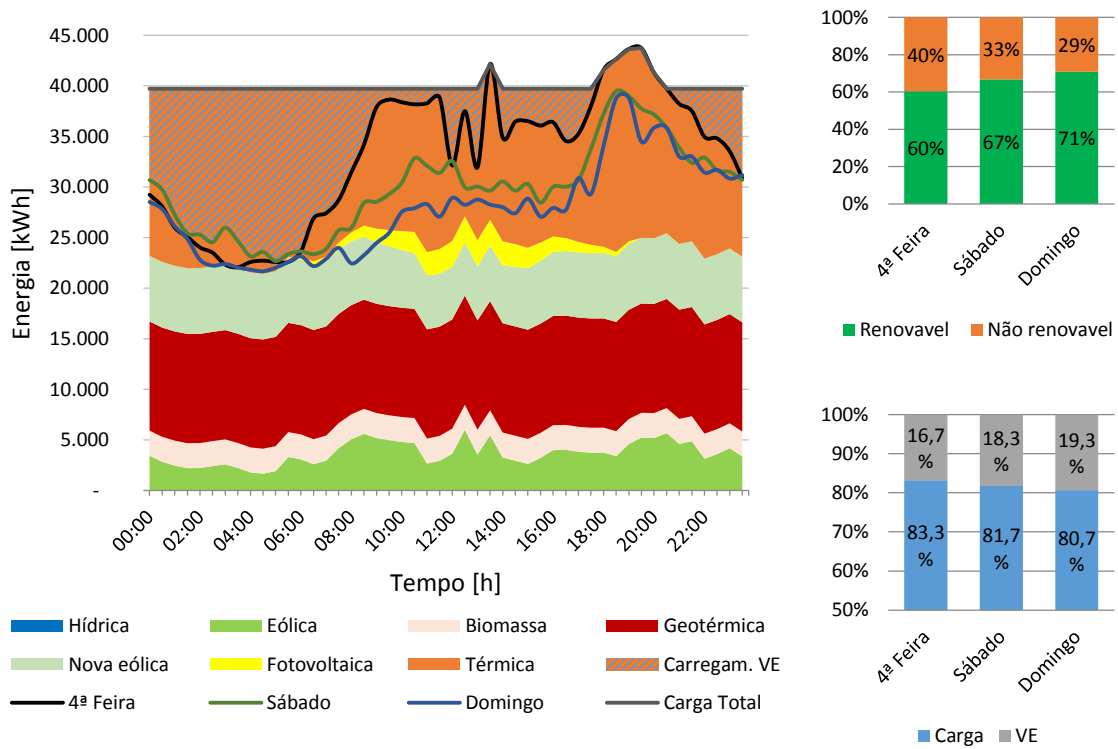


Figura do Apêndice 4.74 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.15.2. Setor automóvel

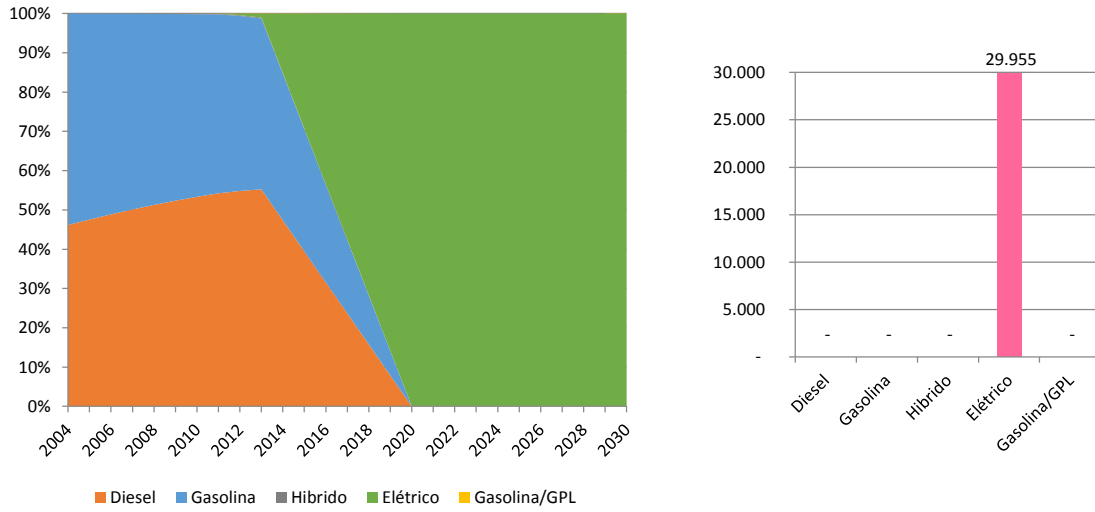


Figura do Apêndice 4.75 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.16. Caso 16

### 4.16.1. Setor elétrico

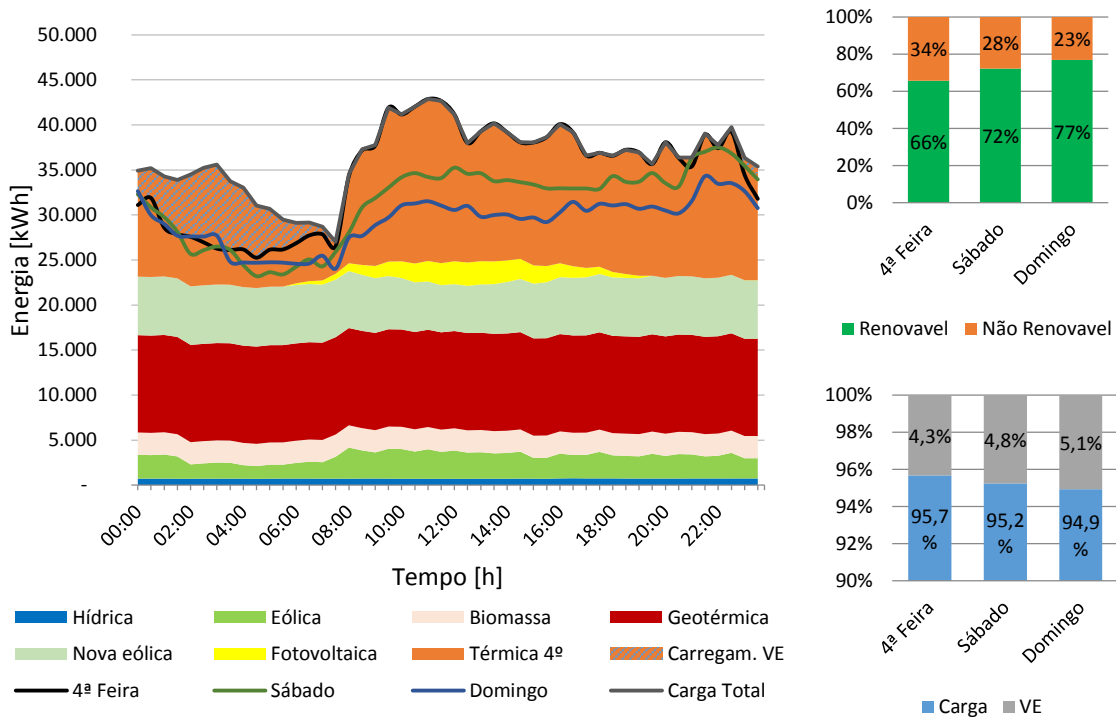


Figura do Apêndice 4.76 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

Apêndices

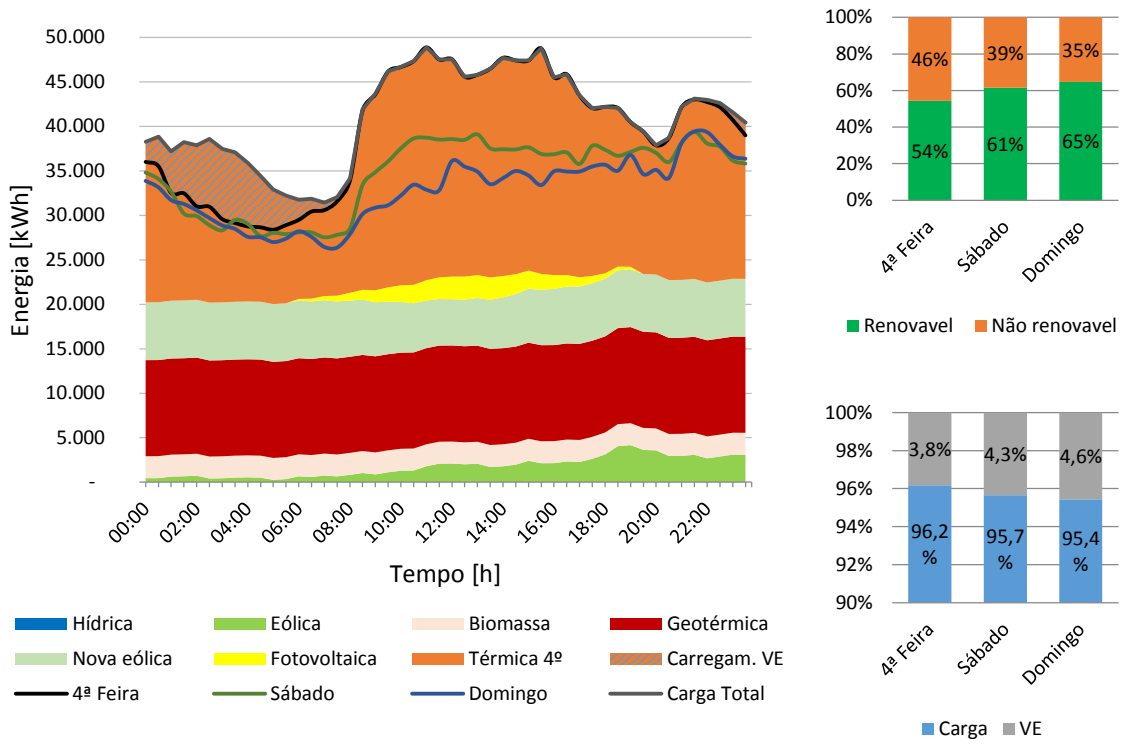


Figura do Apêndice 4.77 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

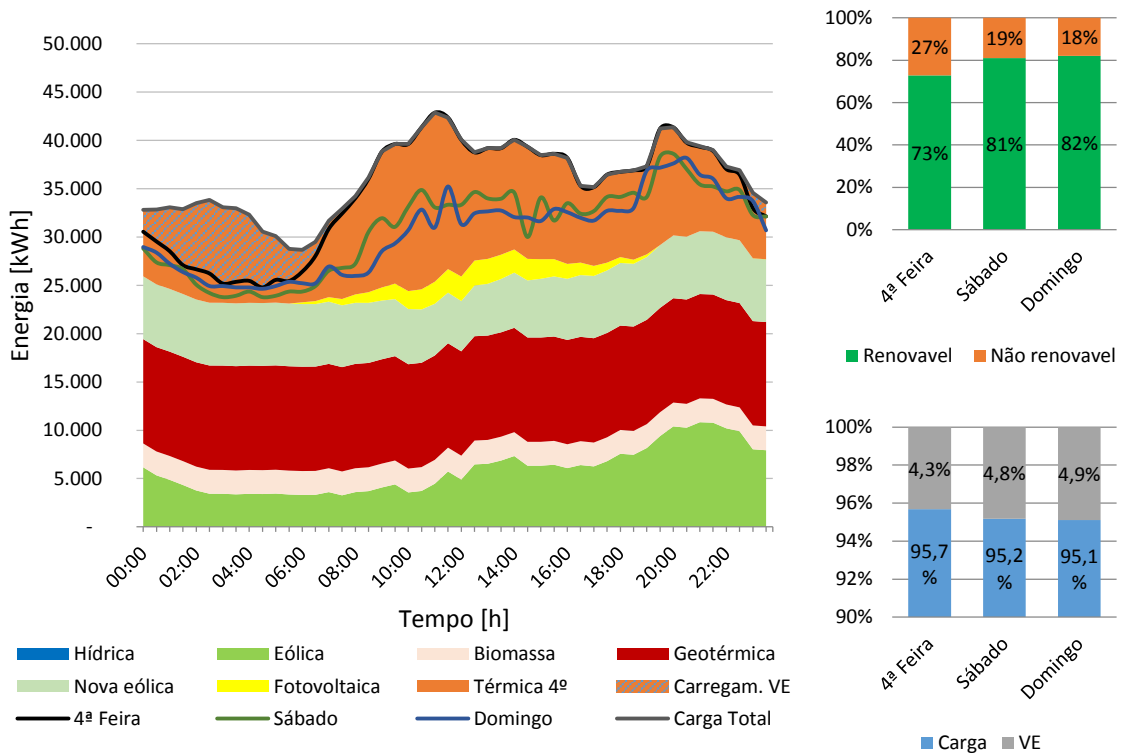


Figura do Apêndice 4.78 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

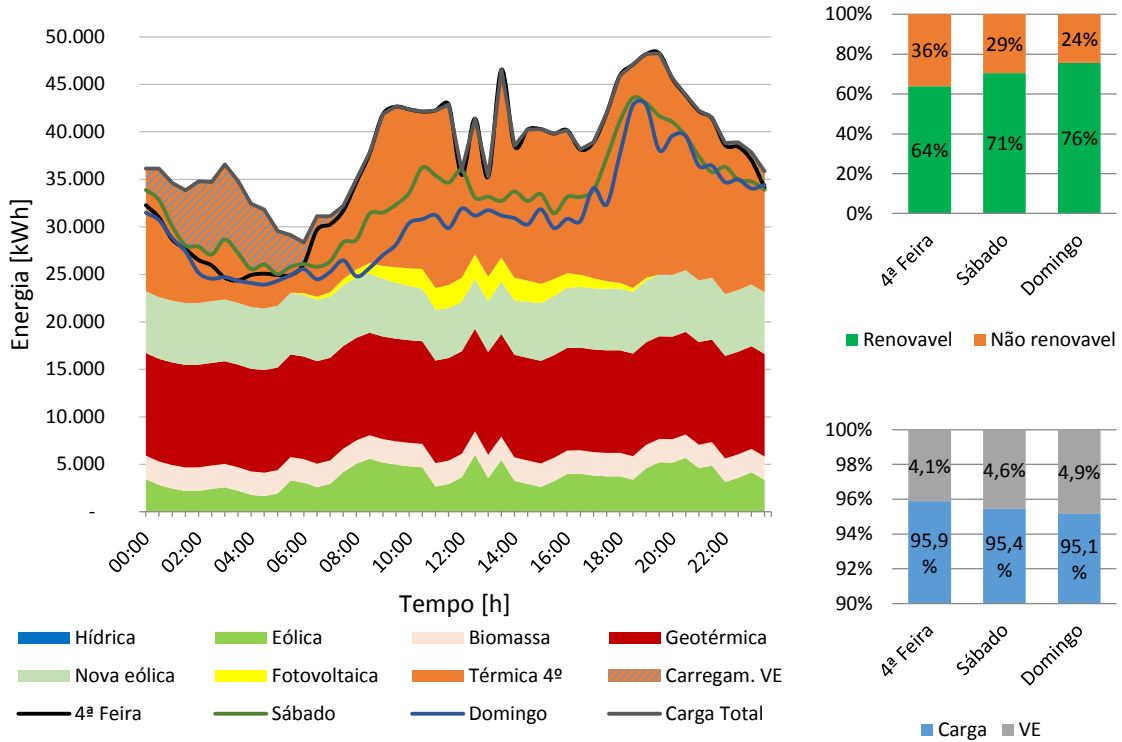


Figura do Apêndice 4.79 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

#### 4.16.2. Setor automóvel

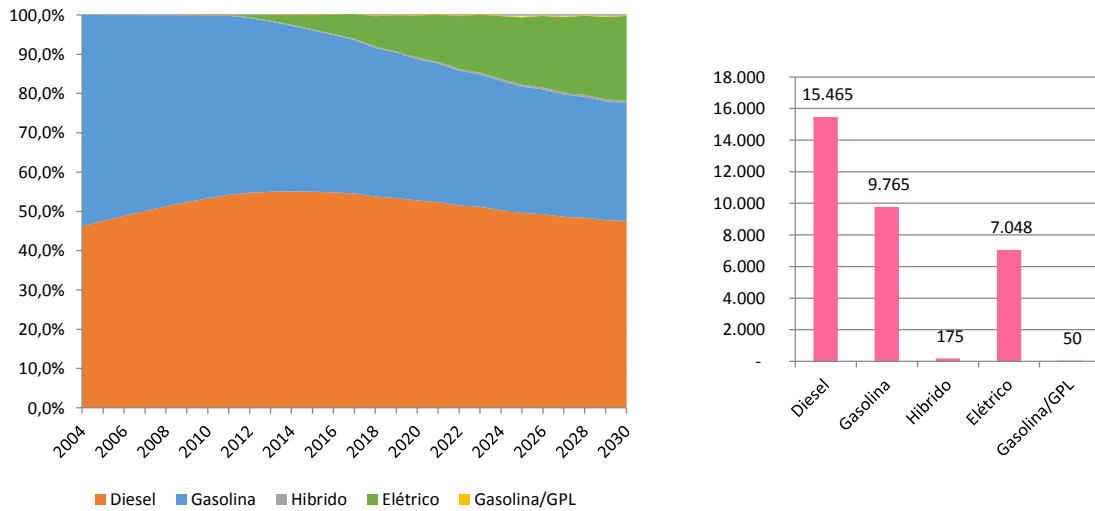
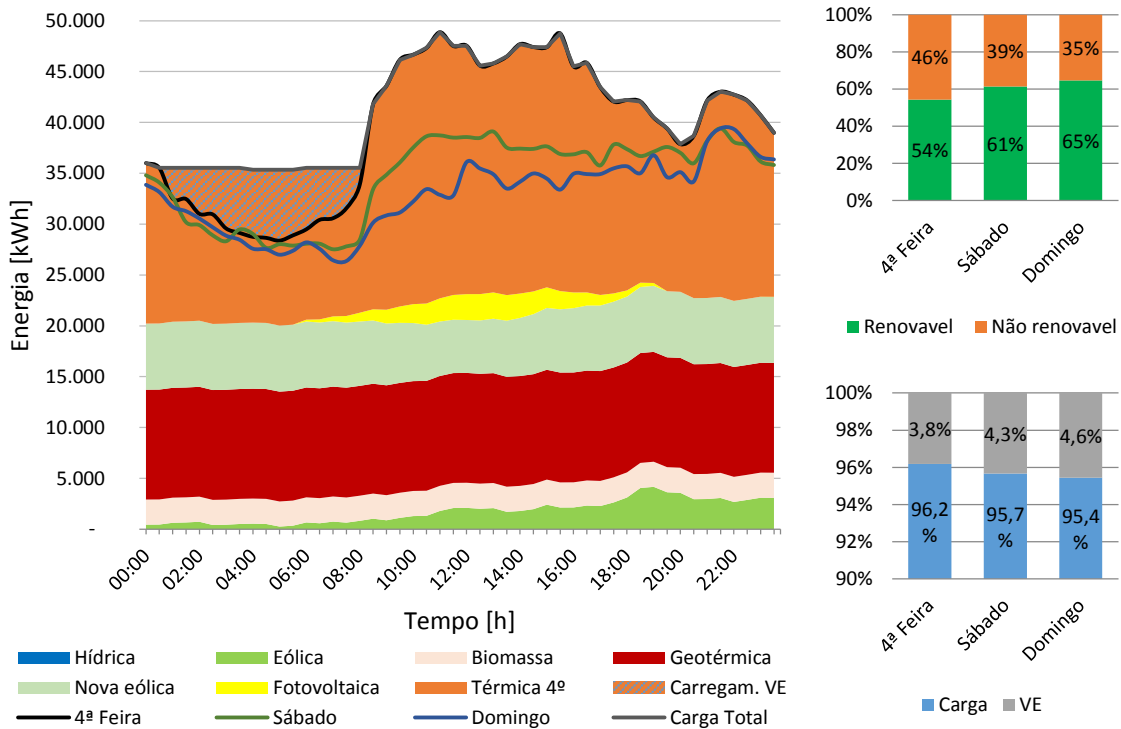
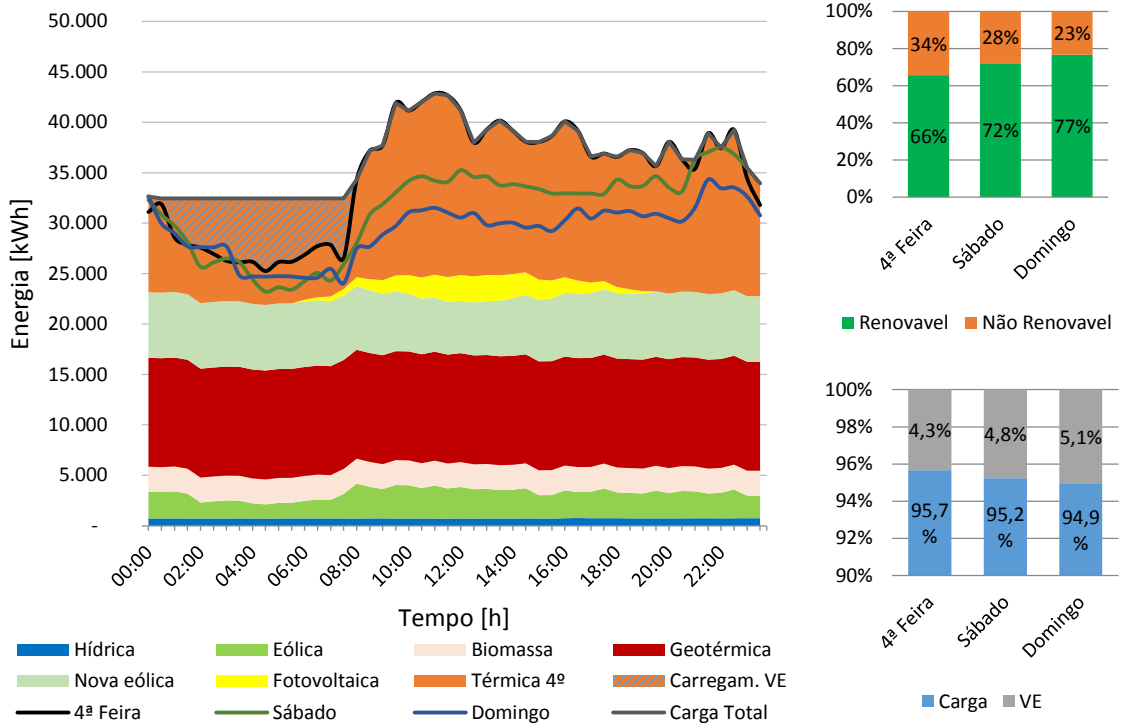


Figura do Apêndice 4.80 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.17. Caso 17

#### 4.17.1. Setor elétrico



Apêndices

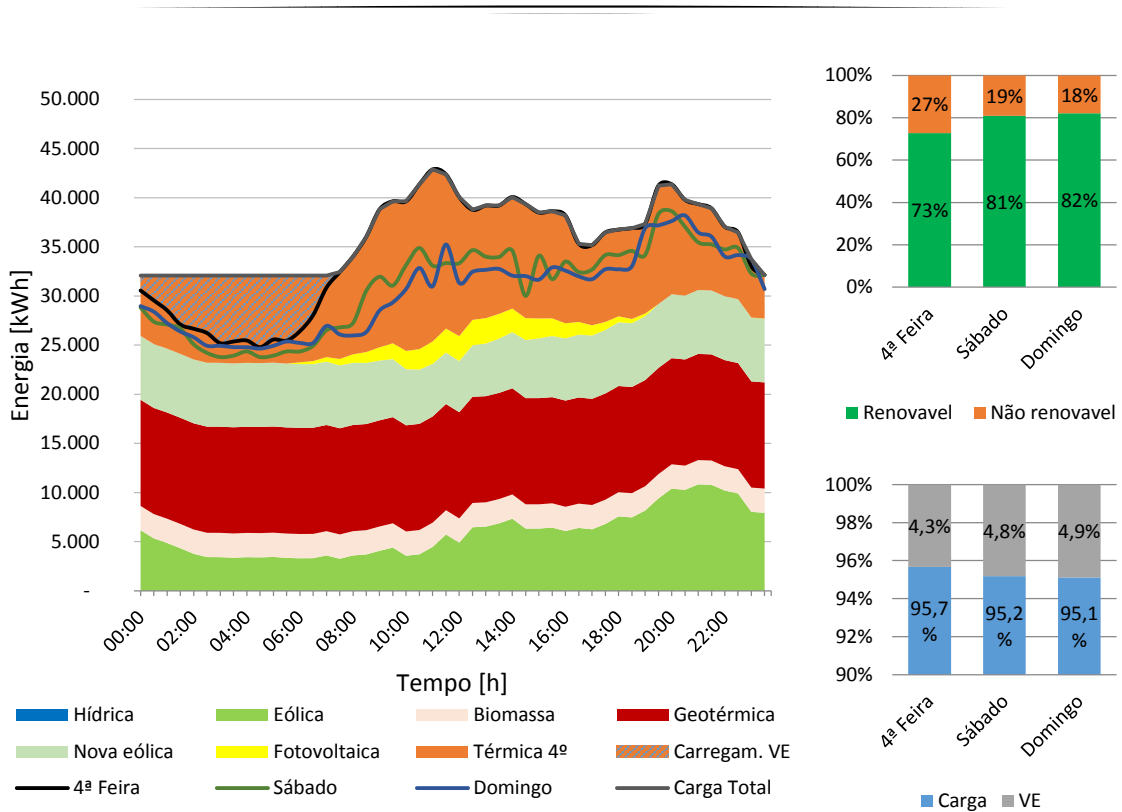


Figura do Apêndice 4.83 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

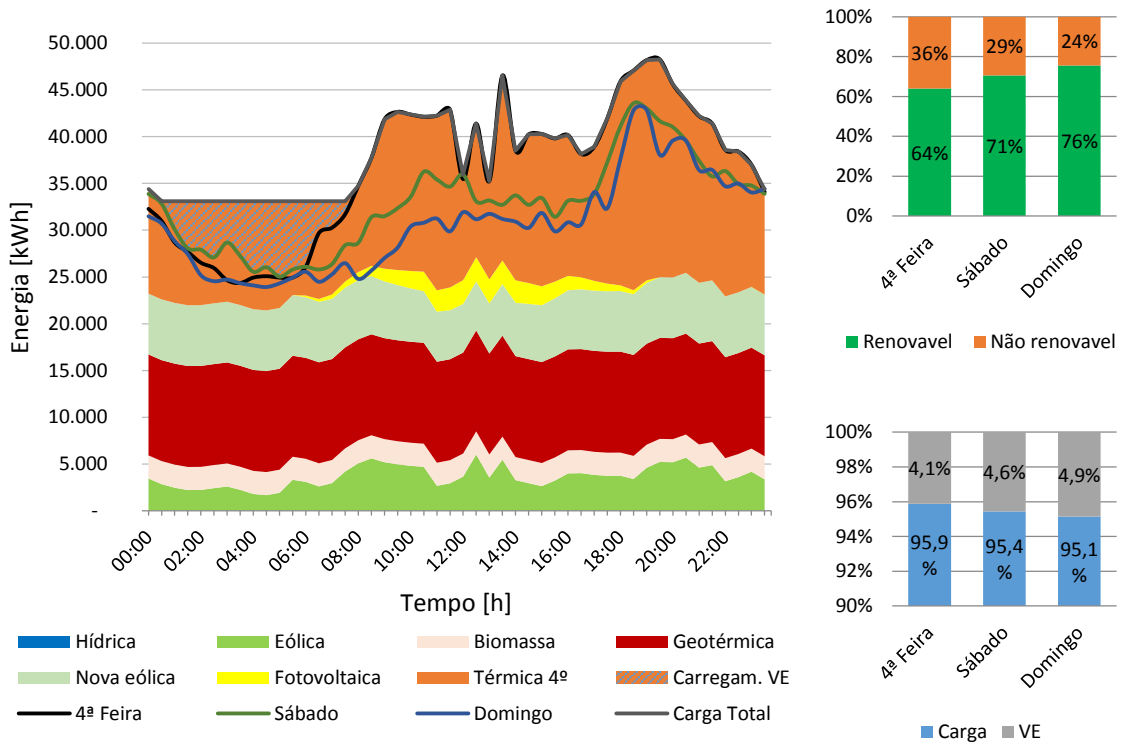


Figura do Apêndice 4.84 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.17.2. Setor automóvel

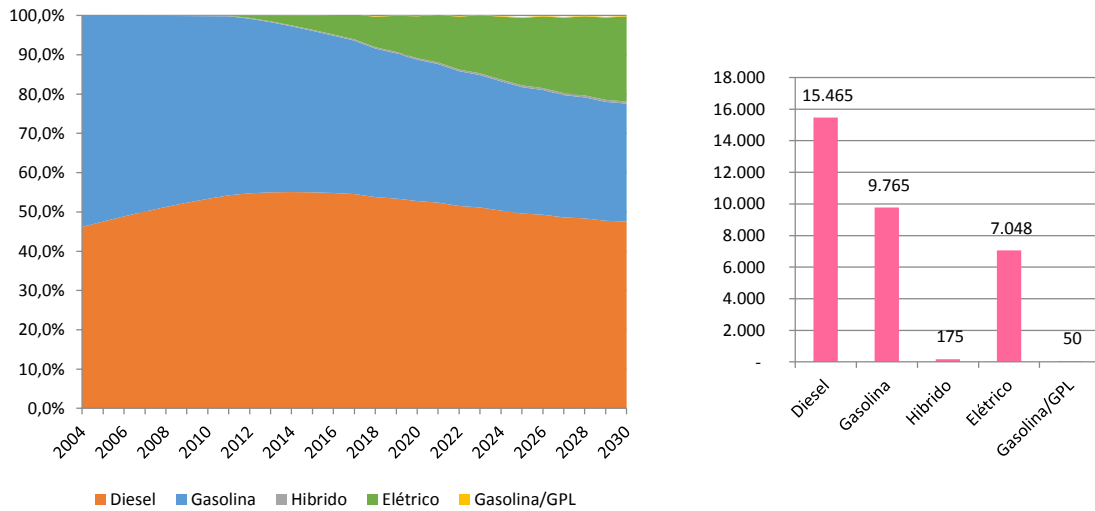


Figura do Apêndice 4.85 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.18. Caso 18

### 4.18.1. Setor elétrico

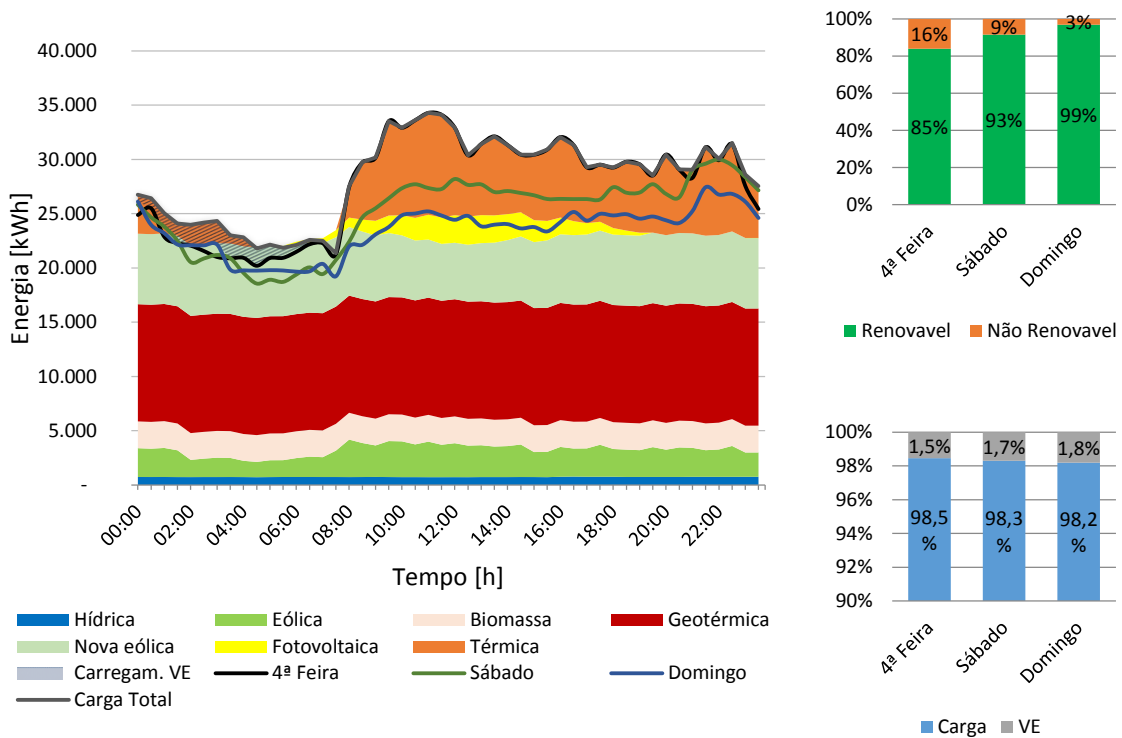


Figura do Apêndice 4.86 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

## Apêndices

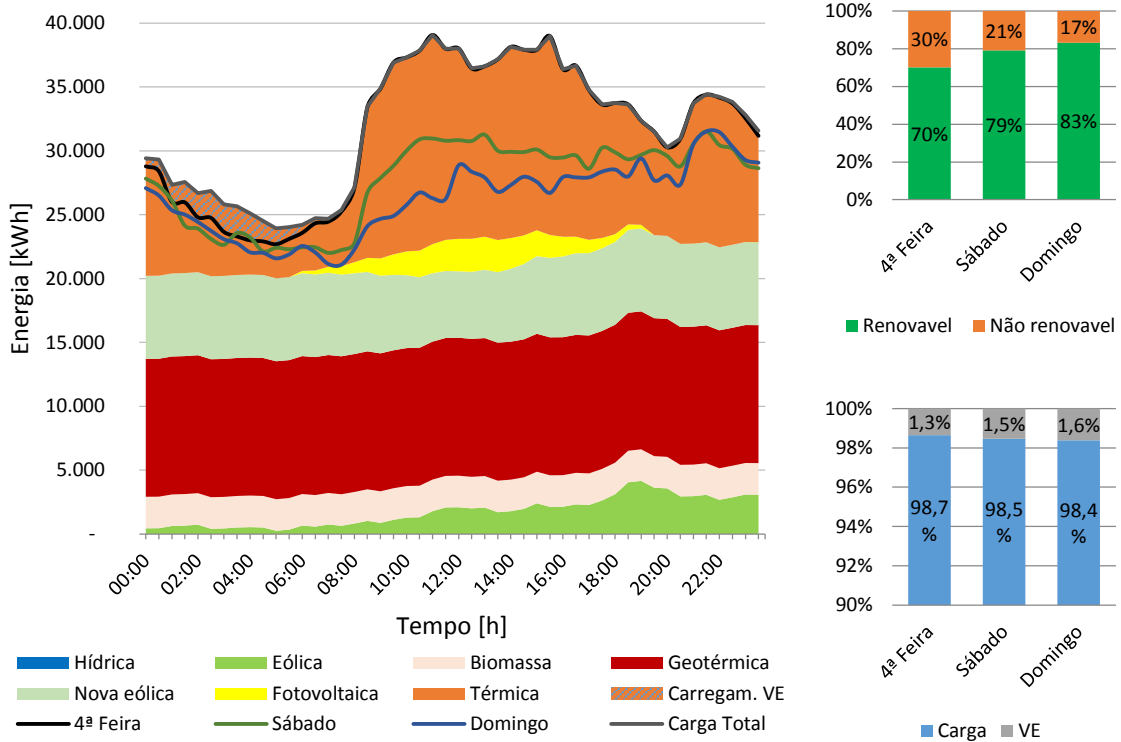


Figura do Apêndice 4.87 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

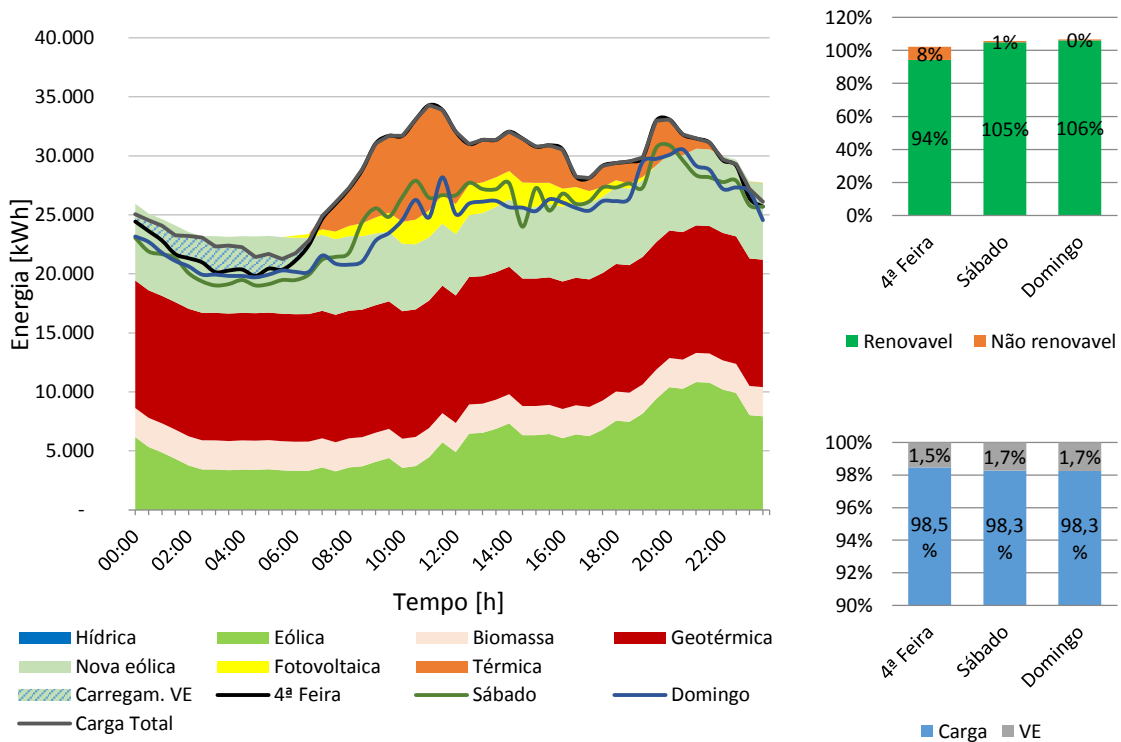


Figura do Apêndice 4.88 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

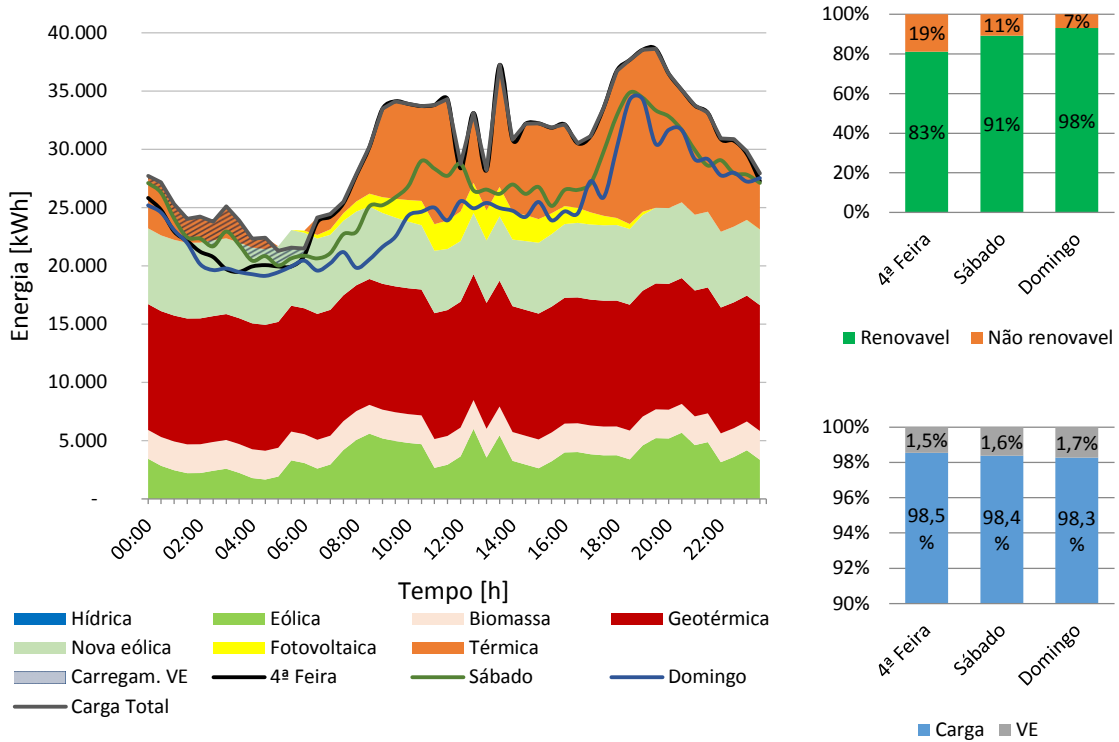


Figura do Apêndice 4.89 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

#### 4.18.2. Setor automóvel

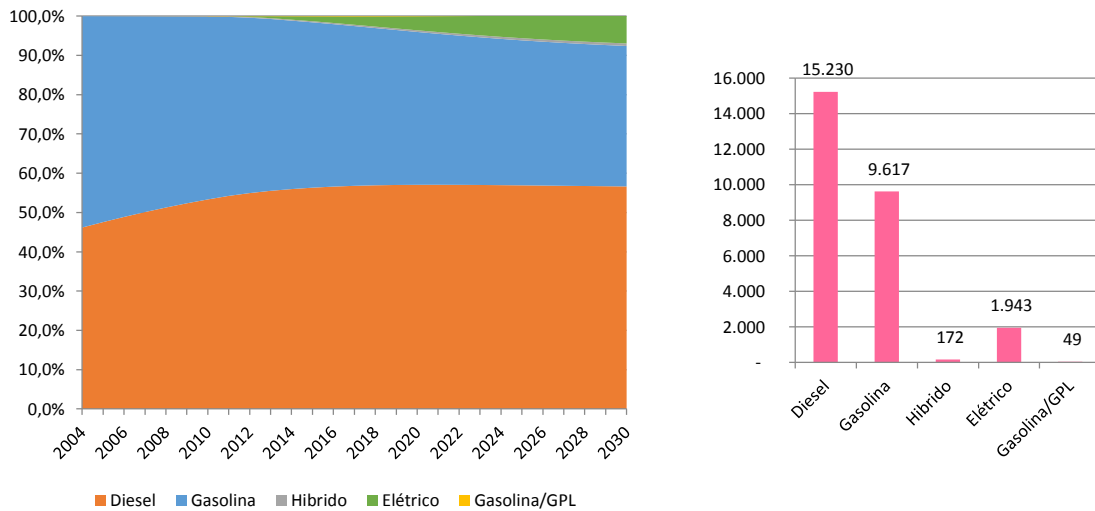


Figura do Apêndice 4.90 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

### 4.19. Caso 19

#### 4.19.1. Setor elétrico

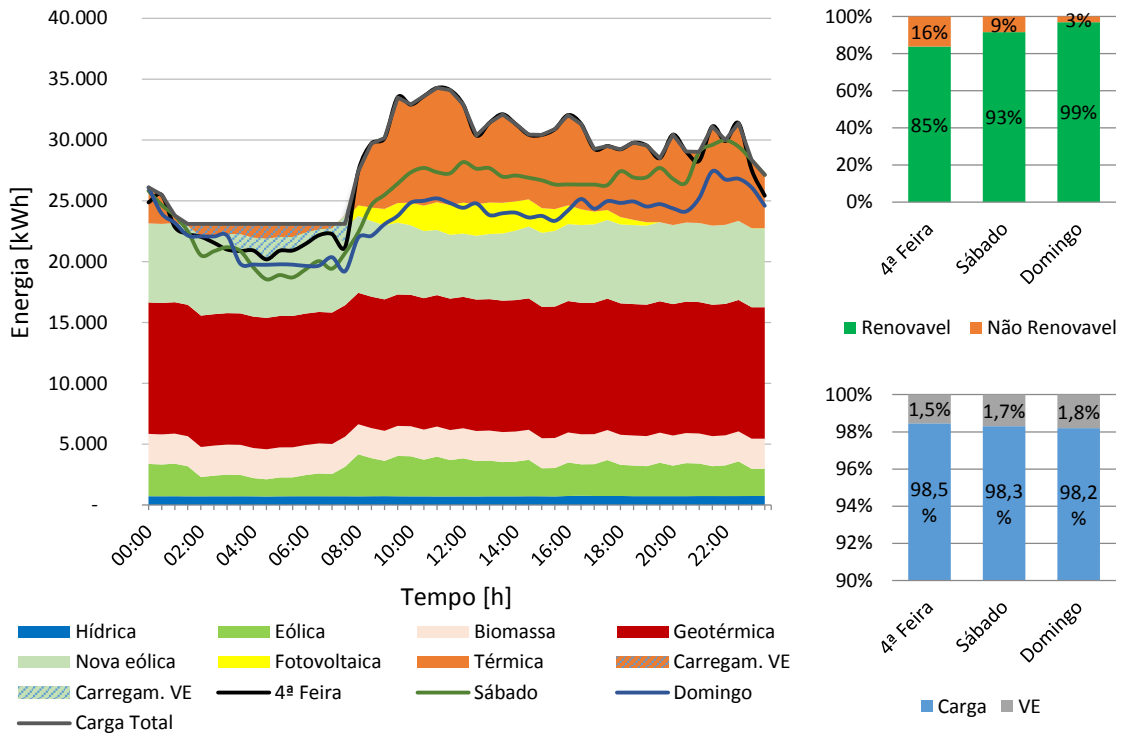


Figura do Apêndice 4.91 – Diagrama de carga característico da Primavera 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

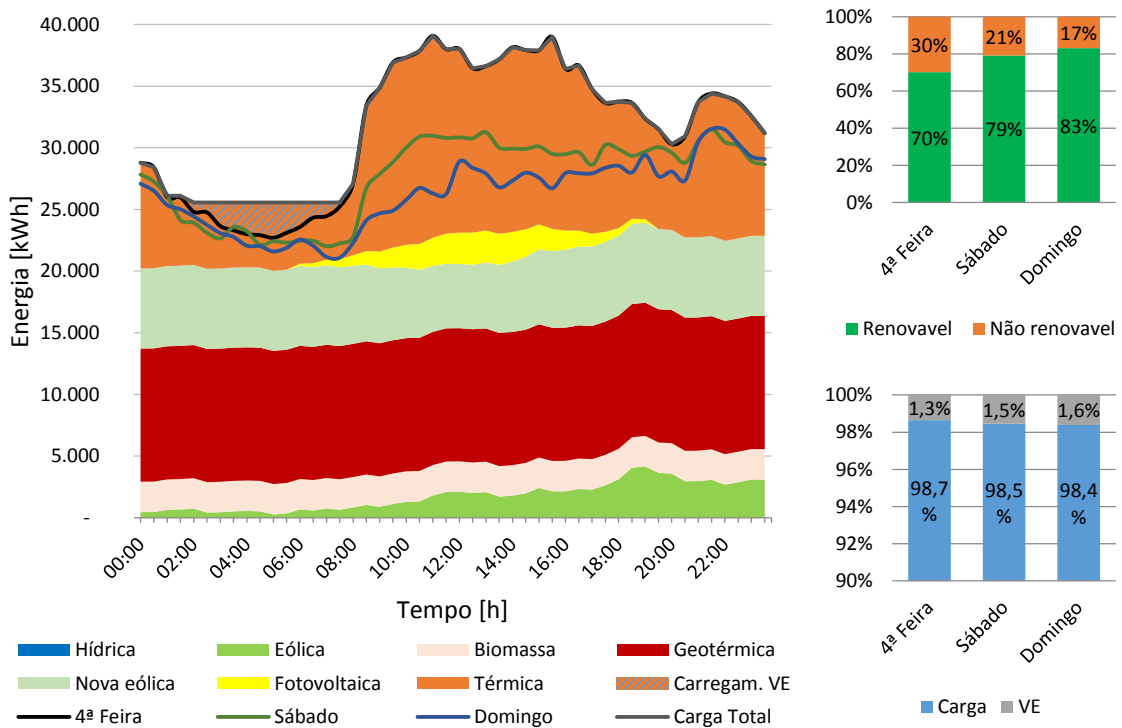


Figura do Apêndice 4.92 – Diagrama de carga característico do Verão 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

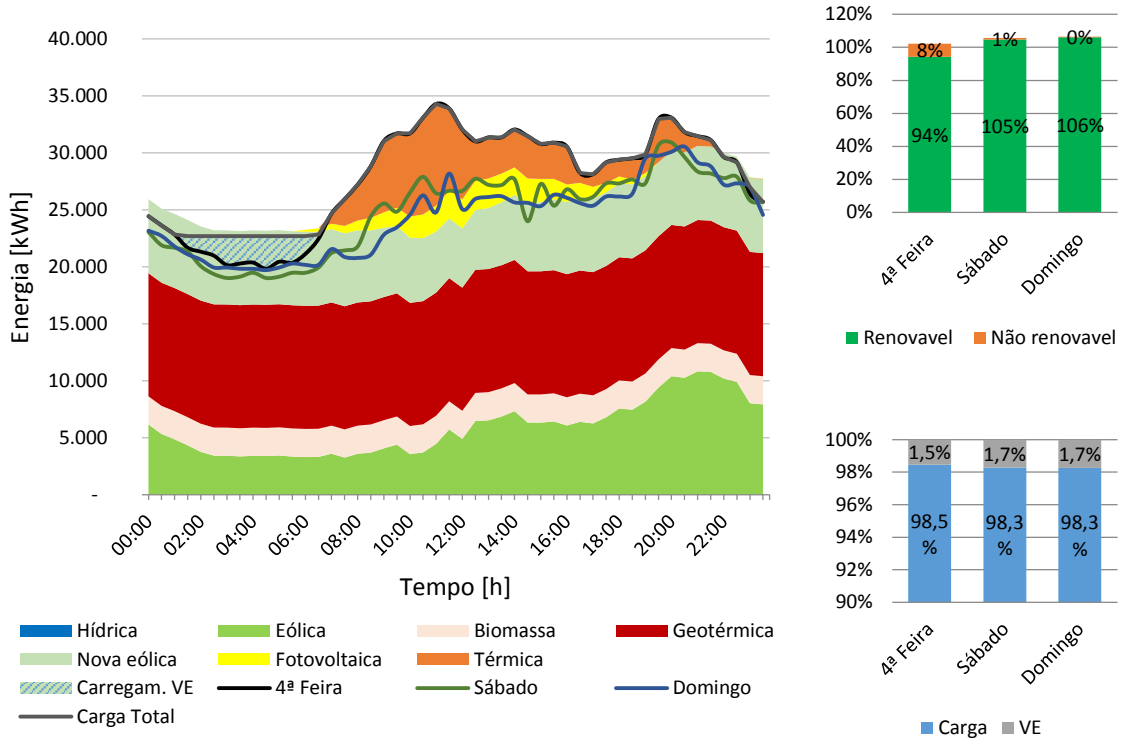


Figura do Apêndice 4.93 – Diagrama de carga característico do Outono 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

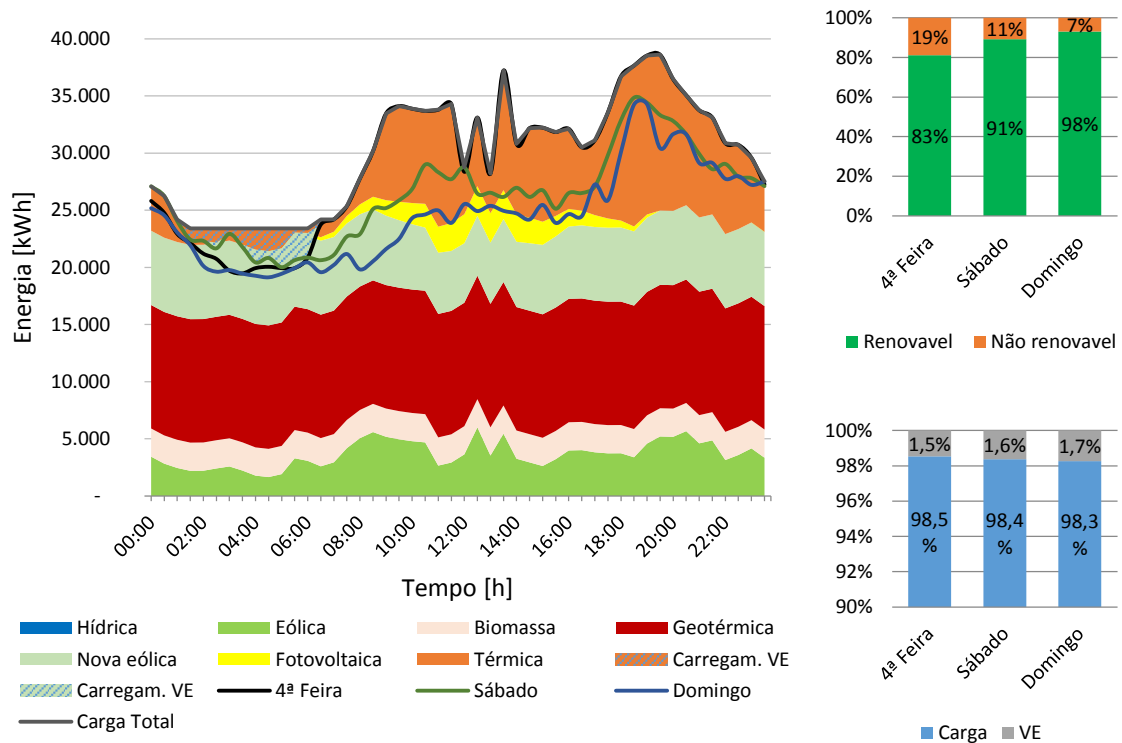


Figura do Apêndice 4.94 – Diagrama de carga característico do Inverno 2030 (esquerda), percentagem de energia renovável e não renovável do diagrama de carga (direita em cima) e peso dos VE no diagrama de carga (direita em baixo)

### 4.19.2. Setor automóvel

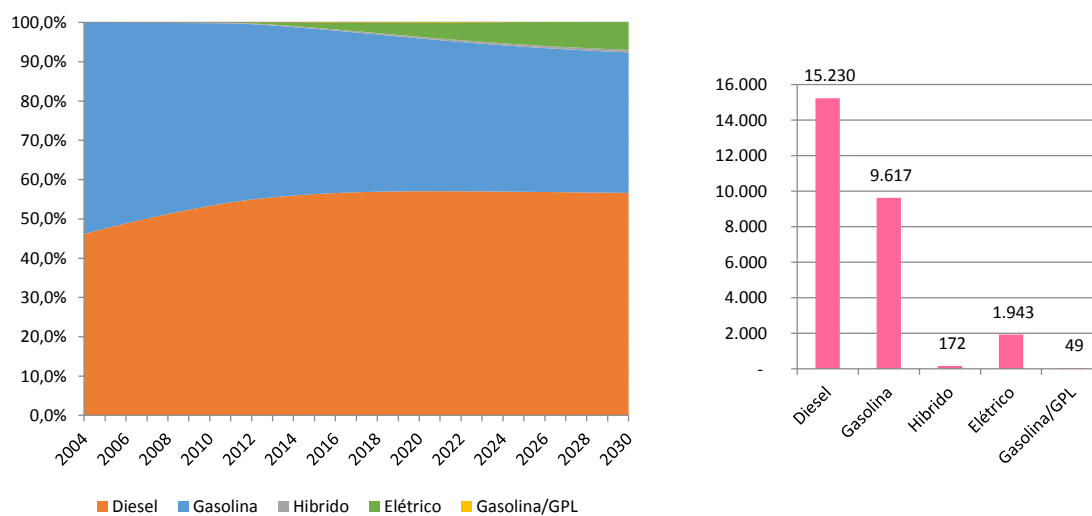


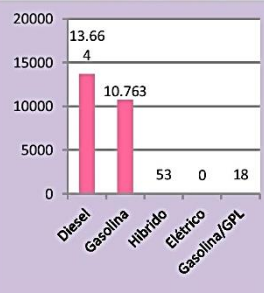
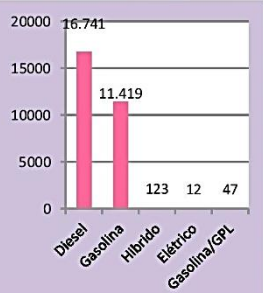
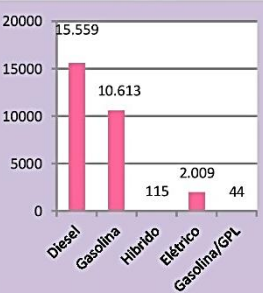
Figura do Apêndice 4.95 – Distribuição a frota de veículos ligeiros (esquerda) e número de veículos de cada tipo de combustível (direita)

## 4.20. Resumo dos casos de estudo

Tabela do Apêndice 4.1 – Resumo dos casos de estudo

Caso	1	2	3	4	5
Ano	2013	2020			
Energia Elétrica total (GWh)	211,9	267,6	271,4		
Energia VE (GWh/ano)	-	0,0	3,9		
Energia Renovável (%)	15,3%	49,6%	48,9%		
Mix de produção					
Energia primaria origem fóssil (GWh)	433,1	325,42	334,8		
Energia primaria Total (GWh)	465,5	458,1	467,5		
Consumo combustível (ton)	37.856	28.446	29.270		
Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	123.968	93.153	95.851		
Custo com Fuel (€)	24.909.207	16.726.191	17.210.556		
Custos em Emissões (€)	552.262	819.579	843.313		
Custos com energias renováveis (€)	1.650.189	7.155.152	7.153.405		
Custo total (€)	27.111.659	24.700.922	25.207.273		
Mix de emissões (g/kWh)	585,0	348,2	353,1		
Excesso de produção (GWh)	-	-	-		

Apêndices

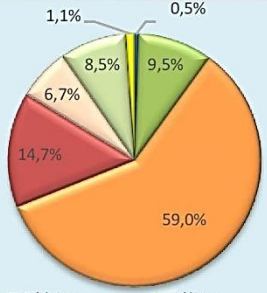
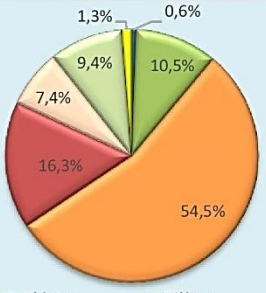
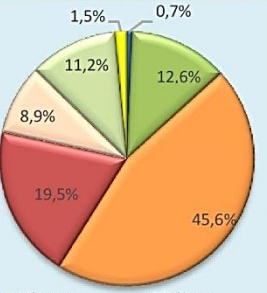
	Caso	1	2	3	4	5
	Ano	2013	2020			
<b>Setor Elétrico</b>	% de energia produzida em relação <sup>1</sup>	-	↑	26,3%	↑	1,4%
	% importações de fuelóleo em relação <sup>1</sup>	-	↓	-24,9%	↑	2,9%
	% renovável em relação <sup>1</sup>	-	↑	224,2%	↓	-1,5%
	% de emissões em relação <sup>1</sup>	-	↓	-24,9%	↓	2,9%
	% custos com fuel em relação <sup>1</sup>	-	↓	-32,9%	↓	2,9%
	% custos CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	-	↓	48,4%	↓	2,9%
	% Custo das renováveis em relação <sup>1</sup>	-	↓	333,6%	↓	0,0%
	% Custo total em relação <sup>1</sup>	-	↓	-8,9%	↓	2,0%
<b>Setor Automóvel</b>	Energia Consumida de origem fóssil (GWh)	129,8	149,8	139,2		
	Número de veículos por tipo de combustível					
	Emissões (ton)	33.228	38.305	35.599		
	Custo Combustível (€)	18.324.887	22.227.172	20.657.110		
	Custo CO <sub>2</sub> (€)	147.866	337.011	313.205		
	Custo Total (€)	18.472.753	22.564.183	20.970.315		

Apêndices

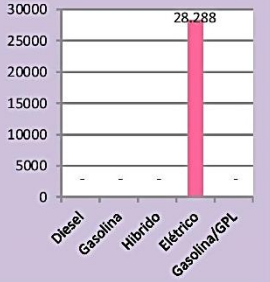
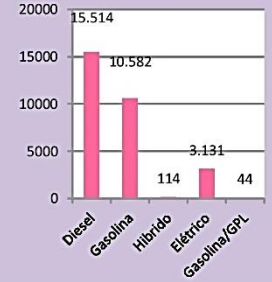
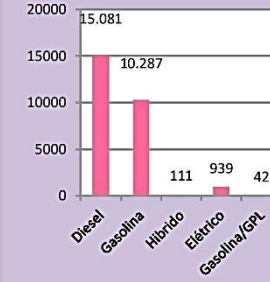
	Caso	1	2	3	4	5
	Ano	2013	2020			
Setor Automóvel	% Energia Consumida de origem fóssil em relação <sup>1</sup>	-	↑ 15,4%	↓ -7,1%		
	% Emissões em relação <sup>1</sup>	-	↑ 15,3%	↓ -7,1%		
	% Custo Combustível em relação <sup>1</sup>	-	↑ 21,3%	↓ -7,1%		
	% Custo CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	-	↑ 127,9%	↓ -7,1%		
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	-	↑ 22,1%	↓ -7,1%		
Total do setor elétrico e automóvel	Energia primaria total (GWh/ano)	595,3	607,9	606,7		
	Energia importada (GWh/ano)	562,9	475,2	474,1		
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	157.197	131.458	131.449		
	Custo Combustível total (€)	43.234.095	38.953.363	37.867.666		
	Custo CO <sub>2</sub> total (€)	700.129	1.156.590	1.156.518		
	Custo Total (€)	45.584.413	47.265.105	46.177.588		
	% Energia primaria total em relação <sup>1</sup>	-	↑ 2,1%	↓ -0,2%		
	%Energia total importada em relação <sup>1</sup>	-	↓ -15,6%	↓ -0,2%		
	% Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	-	↓ -16,4%	↓ 0,0%		
% Custo Total em relação <sup>1</sup>	-	↑ 3,7%	↓ -2,3%			

- <sup>1</sup>
- ao caso 1 (2013) para o caso 2 e 12,
  - ao caso 2 para os casos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11
  - ao caso 12 para os casos 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19

Apêndices

Caso	6	7	8	9	10	11
Ano	2020					
Energia Elétrica total (GWh)	322,4		291,6		244,0	
Energia VE (GWh/ano)	55,0		6,1		1,8	
Energia Renovável (%)	41,0%		45,5%		54,4%	
Mix de produção						
Energia primaria origem fóssil (GWh)	458,6		383,50		268,74	
Energia primaria Total (GWh)	590,9		516,1		401,4	
Consumo combustível (ton)	40.090		33.522		23.491	
Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	131.283		109.777		76.928	
Custo com Fuel (€)	23.572.676		19.711.168		13.812.831	
Custos em Emissões (€)	1.155.055		965.842		676.825	
Custos com energias renováveis (€)	7.135.656		7.152.619		7.154.246	
Custo total (€)	31.863.387		27.829.629		21.643.902	
Mix de emissões (g/kWh)	407,2		376,5		315,2	
Excesso de produção (GWh)	-		-		-	

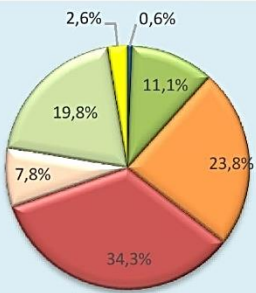
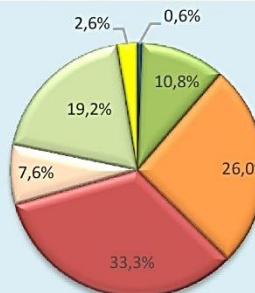
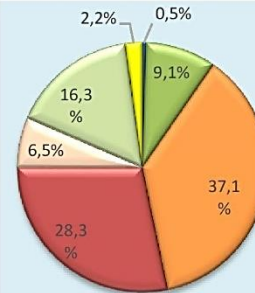
Apêndices

Caso	6	7	8	9	10	11
Ano	2020					
Setor Elétrico	% de energia produzida em relação <sup>1</sup>	↑ 20,5%	↑ 9,0%	↓ -8,8%		
	% importações de fuelóleo em relação <sup>1</sup>	↑ 40,9%	↑ 17,8%	↓ -17,4%		
	% renovável em relação <sup>1</sup>	↓ -17,2%	↓ -8,3%	↑ 9,6%		
	% de emissões em relação <sup>1</sup>	↑ 40,9%	↑ 17,8%	↓ -17,4%		
	% custos com fuel em relação <sup>1</sup>	↑ 40,9%	↑ 17,8%	↓ -44,5%		
	% custos CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	↑ 40,9%	↑ 17,8%	↓ -17,4%		
	% Custo das renováveis em relação <sup>1</sup>	↓ -0,3%	↓ 0,0%	↓ 0,0%		
	% Custo total em relação <sup>1</sup>	↑ 29,0%	↑ 12,7%	↓ -12,4%		
Setor Automóvel	Energia Consumida de origem fóssil (GWh)	-	138,8	135,0		
	Número de veículos por tipo de combustível					
	Emissões (ton)	-	35.496	34.506		
	Custo Combustível (€)	-	20.597.553	20.023.092		
	Custo CO <sub>2</sub> (€)	-	312.302	303.592		
	Custo Total (€)	-	20.909.855	20.326.684		

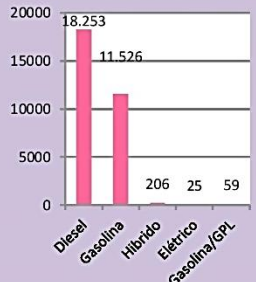
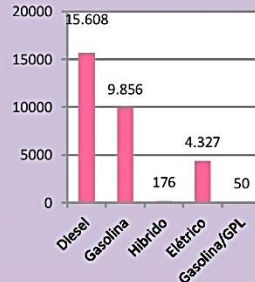
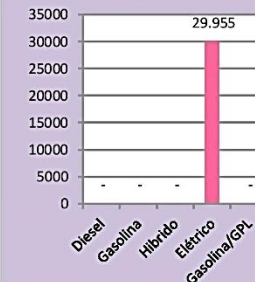
Apêndices

Caso	6	7	8	9	10	11	
Ano	2020						
Setor Automóvel	% Energia Consumida de origem fóssil em relação <sup>1</sup>	↓ -100,0%		↓ -7,3%		↓ -9,9%	
	% Emissões em relação <sup>1</sup>	↓ -100,0%		↓ -7,3%		↓ -9,9%	
	% Custo Combustível em relação <sup>1</sup>	↓ -100,0%		↓ -7,3%		↓ -9,9%	
	% Custo CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	↓ -100,0%		↓ -7,3%		↓ -9,9%	
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↓ -100,0%		↓ -7,3%		↓ -9,9%	
Total do setor elétrico e automóvel	Energia primaria total (GWh/ano)		590,9		654,9		536,3
	Energia importada (GWh/ano)		458,6		522,3		403,7
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)		131.283		145.273		111.434
	Custo Combustível total (€)		23.572.676		40.308.720		33.835.922
	Custo CO <sub>2</sub> total (€)		1.155.055		1.278.144		980.417
	Custo Total (€)		31.863.387		48.739.484		41.970.586
	% Energia primaria total em relação <sup>1</sup>	↓ -2,8%		↑ 7,7%		↓ -11,8%	
	% Energia total importada em relação <sup>1</sup>	↓ -3,5%		↑ 9,9%		↓ -15,1%	
	% Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	↓ -0,1%		↑ 10,5%		↓ -15,2%	
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↓ -32,6%		↑ 3,1%		↓ -11,2%	

Apêndices

	Caso	12	13	14	15
	Ano	2030			
Setor Elétrico	Energia Elétrica total (GWh)	276,8	285,1	334,8	
	Energia VE (GWh/ano)	0,0	8,4	58,3	
	Energia Renovável (%)	76,3%	74,0%	62,9%	
	Mix de produção				
	Energia primaria origem fóssil (GWh)	158,9	178,71	299,5	
	Energia primaria Total (GWh)	370,1	389,8	510,2	
	Consumo combustível (ton)	13.891	15.622	26.182	
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	45.490	51.158	85.739	
	Custo com Fuel (€)	10.418.485	11.716.383	19.636.491	
	Custos em Emissões (€)	535.691	602.425	1.009.656	
	Custos com energias renováveis (€)	11.763.829	11.758.510	11.734.391	
	Custo total (€)	22.718.005	24.077.319	32.380.539	
	Mix de emissões (g/kWh)	164,4	179,4	256,1	
Excesso de produção (GWh)	0,3	0,1	-		

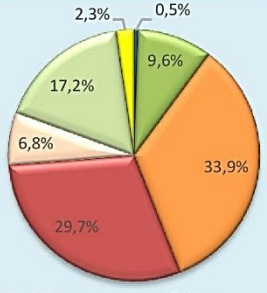
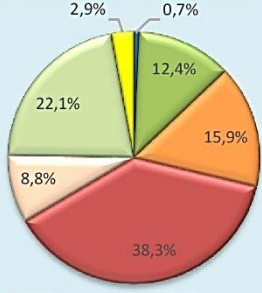
Apêndices

	Caso	12	13	14	15
	Ano	2030			
Setor Elétrico	% de energia produzida em relação <sup>1</sup>	↑ 30,6%	↑ 3,0%	↑ 21,0%	
	% importações de fuelóleo em relação <sup>1</sup>	↓ -63,3%	↑ 12,5%	↑ 88,5%	
	% renovável em relação <sup>1</sup>	↑ 398,9%	↓ -3,0%	↓ -17,5%	
	% de emissões em relação <sup>1</sup>	↓ -63,3%	↑ 12,5%	↑ 88,5%	
	% custos com fuel em relação <sup>1</sup>	↓ -58,2%	↑ 12,5%	↑ 88,5%	
	% custos CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	↓ -3,0%	↑ 12,5%	↑ 88,5%	
	% Custo das renováveis em relação <sup>1</sup>	↑ 612,9%	0,0%	↓ -0,3%	
	% Custo total em relação <sup>1</sup>	↓ -16,2%	↑ 6,0%	↑ 42,5%	
Setor Automóvel	Energia Consumida de origem fóssil (GWh)	158,6	135,6	-	
	Número de veículos por tipo de combustível				
	Emissões (ton)	40.527	34.655	-	
	Custo Combustível (€)	28.577.300	24.436.411	-	
	Custo CO <sub>2</sub> (€)	477.247	408.093	-	
Custo Total (€)	29.054.547	24.844.504	-		

Apêndices

Caso	12	13	14	15
	2030			
Ano				
Setor Automóvel	% Energia Consumida de origem fóssil em relação <sup>1</sup>	↑ 22,2%	↓ -14,5%	↓ -100,0%
	% Emissões em relação <sup>1</sup>	↑ 22,0%	↓ -14,5%	↓ -100,0%
	% Custo Combustível em relação <sup>1</sup>	↑ 55,9%	↓ -14,5%	↓ -100,0%
	% Custo CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	↑ 222,8%	↓ -14,5%	↓ -100,0%
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↑ 57,3%	↓ -14,5%	↓ -100,0%
Total do setor elétrico e automóvel	Energia primaria total (GWh/ano)	528,7	525,4	510,2
	Energia importada (GWh/ano)	317,5	314,3	299,5
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	86.018	85.813	85.739
	Custo Combustível total (€)	38.995.785	36.152.794	19.636.491
	Custo CO <sub>2</sub> total (€)	1.012.938	1.010.518	1.009.656
	Custo Total (€)	51.772.552	48.921.823	32.380.539
	% Energia primaria total em relação <sup>1</sup>	↓ -11,2%	↓ -0,6%	↓ -3,5%
	% Energia total importada em relação <sup>1</sup>	↓ -43,6%	↓ -1,0%	↓ -5,7%
	% Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	↓ -45,3%	↓ -0,2%	↓ -0,3%
% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↑ 13,6%	↓ -5,5%	↓ -37,5%	

Apêndices

	Caso	16	17	18	19	
	Ano	2030				
Setor Elétrico	Energia Elétrica total (GWh)	319,1			248,0	
	Energia VE (GWh/ano)	13,7			3,8	
	Energia Renovável (%)	66,1%			85,1%	
	Mix de produção					
	Energia primaria origem fóssil (GWh)	260,63			95,19	
	Energia primaria Total (GWh)	471,7			306,3	
	Consumo combustível (ton)	22.782			8.321	
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	74.605			27.249	
	Custo com Fuel (€)	17.086.556			6.240.788	
	Custos em Emissões (€)	878.545			320.885	
	Custos com energias renováveis (€)	11.756.122			11.761.081	
	Custo total (€)	29.721.223			18.322.754	
	Mix de emissões (g/kWh)	233,8			109,9	
	Excesso de produção (GWh)	-			2,4	

Apêndices

	Caso	16	17	18	19	
	Ano	2030				
Setor Elétrico	% de energia produzida em relação <sup>1</sup>	↑	15,3%		↓	-10,4%
	% importações de fuelóleo em relação <sup>1</sup>	↑	64,0%		↓	-40,1%
	% renovável em relação <sup>1</sup>	↓	-13,3%		↑	11,6%
	% de emissões em relação <sup>1</sup>	🚩	64,0%		🚩	-40,1%
	% custos com fuel em relação <sup>1</sup>	🚩	64,0%		🚩	-40,1%
	% custos CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	🚩	64,0%		🚩	-40,1%
	% Custo das renováveis em relação <sup>1</sup>	🚩	-0,1%		🚩	0,0%
	% Custo total em relação <sup>1</sup>	🚩	30,8%		🚩	-19,3%
Setor Automóvel	Energia Consumida de origem fóssil (GWh)		134,4			132,3
	Número de veículos por tipo de combustível					
	Emissões (ton)		34.337			33.816
	Custo Combustível (€)		24.212.046			23.844.775
	Custo CO <sub>2</sub> (€)		404.346			398.213
Custo Total (€)		24.616.392			24.242.988	

Apêndices

	Caso	16	17	18	19	
	Ano	2030				
Setor Automóvel	% Energia Consumida de origem fóssil em relação <sup>1</sup>	↓	-15,3%		↓	-16,6%
	% Emissões em relação <sup>1</sup>	↓	-15,3%		↓	-16,6%
	% Custo Combustível em relação <sup>1</sup>	↓	-15,3%		↓	-16,6%
	% Custo CO <sub>2</sub> em relação <sup>1</sup>	↓	-15,3%		↓	-16,6%
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↓	-15,3%		↓	-16,6%
Total do setor elétrico e automóvel	Energia primaria total (GWh/ano)		606,1		438,7	
	Energia importada (GWh/ano)		395,0		227,5	
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)		108.942		61.065	
	Custo Combustível total (€)		41.298.602		30.085.563	
	Custo CO <sub>2</sub> total (€)		1.282.891		719.097	
	Custo Total (€)		54.337.615		42.565.742	
	% Energia primaria total em relação <sup>1</sup>	↑	14,6%		↓	-17,0%
	%Energia total importada em relação <sup>1</sup>	↑	24,4%		↓	-28,3%
	% Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	↑	26,7%		↓	-29,0%
	% Custo Total em relação <sup>1</sup>	↑	5,0%		↓	-17,8%

**Apêndice 5: “Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal for Electricity Generation and Transports”**





# Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal for Electricity Generation and Transports

P. Marques<sup>1</sup>, E. Silva<sup>1</sup>, C. Camus<sup>1</sup> and E. Eusébio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Power Systems Engineering and Automation  
ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa

Rua Conselheiro Emídio Navarro n° 1, 1959-007 Lisboa (Portugal)

Phone: +351 218317000, e-mail: 32936@alunos.isel.pt, 33199@alunos.isel.pt, ccamus@deea.isel.ipl.pt, eaeusebio@deea.isel.ipl.pt

**Abstract.** The purpose of this article is to analyse and evaluate the economical, energetic and environmental impacts of the increasing penetration of renewable energies and electrical vehicles in isolated systems, such as *Terceira Island* in Azores and *Madeira Island*.

Given the fact that the islands are extremely dependent on the importation of fossil fuels - not only for the production of energy, but also for the transportation's sector - it's intended to analyse how it is possible to reduce that dependency and determine the resultant reduction of pollutant gas emissions.

Different settings have been analysed - with and without the penetration of EVs - and one particular setting (quite unreal but also quite useful to evaluate the impacts) with a fleet of 100% EVs.

With the penetration of new renewable energy sources in *Terceira Island* and the reinforcement of wind power (already existent on the island) it is possible to reduce the emissions of pollutant gas and the purchase of fossil fuels in 63% by 2030.

In *Madeira*, it is possible to reduce costs and avoid the emissions of 1398 tons of CO<sub>2</sub> using EVs.

## Key words

Renewable energy, Electric vehicles, Madeira Island, Terceira Island, Load profile.

## 1. Introduction

Energy is basic to life, to the citizens' well being and to the social and economical development, that is, without energy there can only be so much quality of life: comfort, property and services. However, besides being an essential resource to the social and economical development, energy is also a strong factor of environment pressure [1].

As far as the energy's production is concerned, most islands depend on the importation of oil and its related products, expensive and highly problematic to the environment.

In most cases it's almost impossible to connect the islands to the energy network in continental Europe, which makes it difficult to execute solutions to reduce the costs to the

environment and, at the same time, increase the security of the supply of electrical energy in order to maintain the quality of life and the islands economical structures and sustainability. Due to the high costs of energy, the islands are proven to be excellent test points for the introduction of new technologies, and some islands are even trying to become, the so called, *renewable islands* in order to satisfy the demand of totally renewable energy, or at least, energies that are mostly originated from renewable and endogenous resources, which rises the security of the supply and employment opportunities, without necessarily rising costs. Islands that have renewable energy sources, such as hydro-electric and geothermic, can easily integrate them in the energy's system [2]. However, the energy provided by renewable sources, like the wind and the sun, aren't constant and are rarely predictable. Those fluctuations in the energy's supply can cause differences in the necessary balance between production and demand. As consequence, important variations on the frequency and tension levels are verified, which may affect the electrical energy's system stability. These problems are serious in small isolated networks, therefore, it's necessary to continuously control the instant power supplied by renewable energies' sources [3].

On the islands, because they're smaller and less busy territories, the incentive to the use of public transportations is very narrow (because private transportations don't face the main two big issues known in cities: the time of travel and the difficulty to park). Given this fact, it's imperative to turn the private fleets electrical, more than implement intensive measures to promote public transportations [4].

## 2. Isolated System Analysis

The integration of renewable energies on the islands' energy system presents several advantages, including on the economical level: the technological high cost is compensated by the high cost of the conventional energy sources due to the small dimension of the systems and the supply security. In order to obtain a sustainable

development, the integration of renewable energy sources to produce electricity as well as the policies and appropriate regulations about the rational use of energy are very important.

The conventional technologies to produce electricity are rarely adapted to the conditions of isolated areas and may seriously damage the vulnerable ecosystems and natural habitats. There is the need to develop an infrastructure to supply energy which considers the seasonal variations caused by the tourism, without destroying the local environment or produce unnecessary emissions [5].

#### A. Canary Islands (Spain)

The political and environmental concerns result in a special energetic strategy in *Canary Islands*, which shows the importance of improving the endogenous energetic resources and the renewable energies, in order to provide energy for a constant and stable supply, low cost and environmental compatible. Here, the wind and solar energy have been reinforced and the solar panels and photovoltaic systems expanded. Previous studies show that an isolated system of energy storage is extremely important for the use of a huge potential of wind energy on the islands [6].

#### B. Ærø Island (Denmark)

The solar energy is used for urban heating, being this the main energy source in *Aero Island*.

Nowadays, the thermal solar panels installed are 39,83 square feet (3,7m<sup>2</sup>) per inhabitant in a total of 288 472,79 square feet (26 800 m<sup>2</sup>); there are three power plants of urban heating on the island, which result in the most developed penetration of renewable energy in a specific area.

In 2001 it was estimated that 20.5 GWh, illustrating 57% of the total electricity consumption in Aero was supported by 7.2 MW of wind energy.

It was decided, in *Aero*, to work continuously to cover the energy's consumption on the islands with 80 to 100% of renewable energy during the period of 10 years (1998-2008). In 2000, *Aero Island* was the winner of "Danish Solar City". [6] [7].

#### C. Greek Islands

Several types of renewable energies are used on the *Greek Islands*. By 2005, 50 wind parks were installed with the total of 120 MW and 300 KWp of photovoltaic energy yet to finalize its installation. Besides, a small hydroelectric unit (300kW) and a unit of gas flaring (166 kW) are situated in Crete. On *Ikaria Island* an hybrid energy system includes a regular hydroelectric unit – connected to two pumping-and-storing plants of 3.8 MW – and a wind park of 2.4 MW. In 2003, the electrical system produced 23 GWh of energy, 6.23 GWh (27.1%) of which was wind energy, 7.96 GWh (34.6%) and 8.80 GWh (38.3%) were supplied by fossil fuels and hydroelectric prospectively [6].

#### D. Corvo Island (Azores)

*Corvo* is the smallest island of Azores archipelago and the supply of electrical energy for such small and isolated island is extremely limited. There is also a huge concern about environment issues related to the fossil fuel, for example, the contamination and pollution of the water and soil by oil related products, that happen through the leaking of such materials during the transportation and storage. The fuel costs for *Corvo Island* is the highest of the entire archipelago – almost five times over the average of other islands.

Here, the security of the supply is a real and permanent concern because, due to the unstable weather conditions, it's common for oil to lack. To reduce *Corvos's* dependency and facilitate a secure supply, the implementation of an energy system that combines renewable energy systems and oil supply is the best solution.

The most important endogenous resource in *Corvo* is the wind, although there is also some hydropower potential; both of them being deficient during the summer.

The water supply system is well prepared to integrate with the energy supply system's storage like the reversible hydroelectric. The same reservoir may be used for both, which increases the viability of such system, as well as the energy's penetration.

Because of the physical and weather characteristics of *Corvo* there is potential to install the storage of pumped water to produce hydroelectric energy later in time. The installation of turbines offers benefits of about 70%; this is possible because the water from the top reservoir can be used to produce electricity, which will be supplied to the network and, then, fill the low reservoir.

Without storage, the penetration of renewable energy from the wind reaches 25%; considering a wind-hydropower setting it's possible to supply up to 70% of energy from renewable sources, highly increasing security supply [8].

#### E. Porto Santo Island (Madeira)

An essay has been made about the increase of RE in Porto Santo. Since the island doesn't have hydro resources available, the endogenous resources are the sun and the wind. In order to increase the RE, it's necessary to resort to storage and that can be made by using hydrogen through electrolysis, kept in a fuel cell and used when necessary to supply the network with energy [9].

### 3. Grid Characterization

In order to elaborate this article it was necessary to characterize the electricity's systems of the islands in analysis.

#### A. Terceira Island (Azores)

The electricity system of *Terceira* includes six power-stations, as it shows on Table I.

Table I – Power-stations in 2012

Designation	Primary source	Installed Power (kW)
Belo Jardim Thermal Unit	Fueloil	61116
City's Hydric Unit	Hydro	264
Nasce D'Água Hydro Unit		720
São João Hydro Unit		448
Serra do Cume Wind Farm	Wind	9 000
Serra do Cume North Wind farm		3 600
Total	-	75 148

Between 1991 and 2010 it was confirmed a substantial increase of electrical energy (Fig. 1). It is also worthy of notice that when the wind farm of *Serra do Cume* began its activity, in 2008, the thermal power plant decreased its production because of the energy produced by the wind.

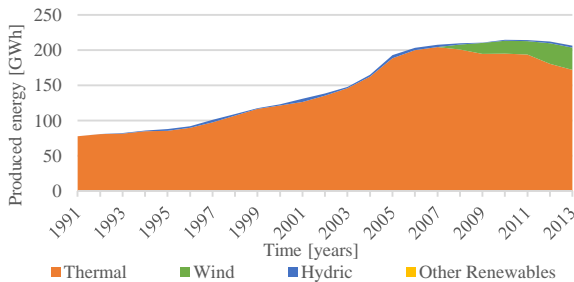


Fig. 1. The evolution in electrical energy according to the type

In 1991 all the electrical energy produced in *Terceira* was from fossil fuels. In 2013 there was a production of 17% originated on RE, 15% of which was wind energy (Fig. 2).

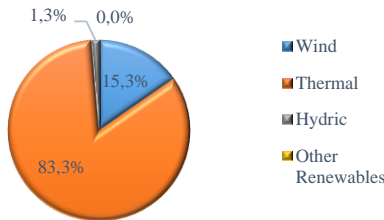


Fig. 2. Production of electrical energy in 2013

Fig. 3 represents the load diagram of a typical spring day.

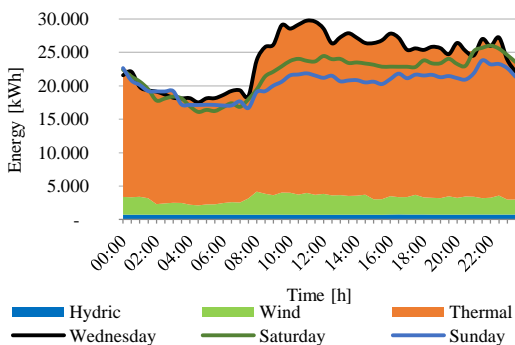


Fig. 3. Typical load profile on a spring day 2013

### B. Madeira Island

The electricity generation system in *Madeira Island* includes two thermal power plants operating on fuel oil, ten hydroelectric stations, nine wind parks, one station of treatment of municipal solid waste (MSW) and seven hundred and nine photovoltaic panels. According to the data on Table II, we can analyse the installed power of each technology.

Table II – Electricity producing system in Madeira, 2013

Eletroprodutor System of <i>Empresa de Electricidade da Madeira (EEM)</i>	
Technology	Installed Power [MW]
Thermal	182,70
Hydro	49,97
Eletrogeneration System of Private Companies	
Technology	Installed Power [MW]
Thermal	36
Hydro	0,7
Wind	45,11
Photovoltaic	17,96
MSW	8
Total	340,44

The production of electrical energy in *Madeira's* network increased until 2008; after that year, the energy from thermal sources has decreased. On the contrary, the energies originated from renewable sources have increased (Fig. 4).

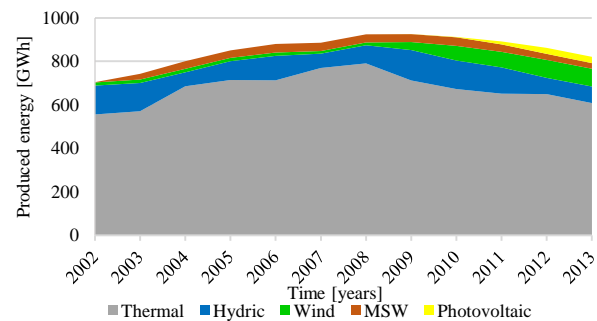


Fig. 4. Evolution on the production of electrical energy according to each type of technology

Fig. 5, represents the contribution of each technology for the electrical network in 2013.

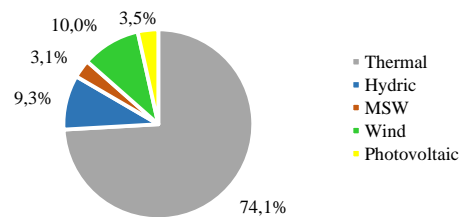


Fig. 5. Contribution of energy per source in 2013

Fig. 6 shows a diagram of average load in spring for the same year.

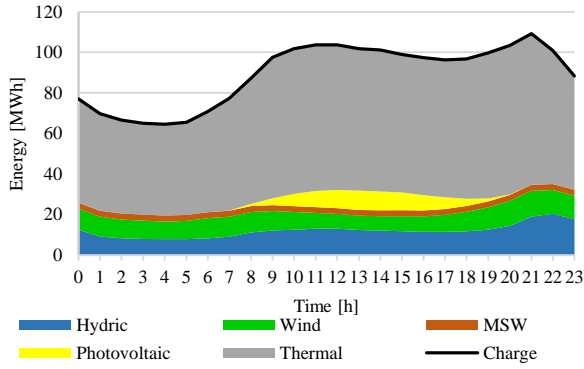


Fig. 6. Average load profile for spring 2013

## 4. Methodology

### 4.1. Automotive sector

In order to understand the evolution of the fleet of cars on the islands, firstly it was calculated the density of vehicles (number of vehicles per 1000 inhabitants), using the numbers of vehicles and the numbers of inhabitants of each island.

$$f_t = \frac{N_{c_t} \times 1000}{H_{x_t}} \quad (1)$$

With:

$f_t$  – Number of vehicles per 1000 inhabitants with real figures for year  $t$ ;

$N_{c_t}$  – Number of passenger's vehicles for year  $t$ ;

$H_{x_t}$  – Number of inhabitants for location  $x$  for year  $t$ , with  $x$  equal to *Terceira* or *Madeira Island*.

The equation used to estimate de vehicles' density was Gompertz function, which formula is expressed in (2) [10].

$$VD_t = c + (S - c) \cdot e^{-e^{-b(t-a)}} \quad (2)$$

Considering:

$VD_t$  – Density of vehicles for year  $t$ ;

$S$  – Saturation point;

$a$  – Inflexion point of the time axis' curve;

$b$  – Parameter of scale;

$c$  – Translation on axis' curve of  $y$ ;

$t$  – Time in years.

In order for the density curve of the vehicles to be well adjusted to the real figures, it was used the method of minimum squares with the following expression:

$$\begin{aligned} \min \sum (f_t - VD_t)^2 \\ \text{s. a. } \quad a \geq 0 \\ \quad \quad b \geq 0 \\ \quad \quad c \geq 0 \\ \quad \quad S \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

To verify if the Gompertz formula is well adjusted to the density of the existent vehicles the determination coefficient ( $R^2$ ) was calculated:

$$R^2 = \left( \frac{\sum ((f_t - \bar{f}) \cdot (VD_t - \overline{VD}))}{\sqrt{(\sum (f_t - \bar{f})^2) \cdot (\sum (VD_t - \overline{VD})^2)}} \right)^2 \quad (4)$$

With:

$R^2$  – Determination coefficient;

$\bar{f}$  – Number of passenger's vehicles per 1000 inhabitants according to average real figures;

$\overline{VD}$  – Average vehicle density.

Three different settings of EV's penetration on the two islands were considered, as we can see in Fig. 7, but this paper has only analysed the reference scenarios.

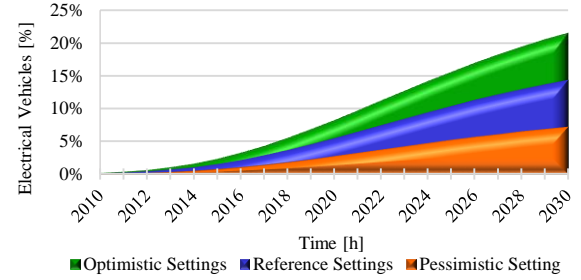


Fig. 7. Percentage of electrical vehicles for the optimistic, reference and pessimistic scenarios

The charging profiles of EVs considered were presented in Fig. 7, 8, 9 and 10. The off-peak charging for *Madeira Island* and the following two (with controlled charging) to *Terceira* with 14% and 100% EVs.

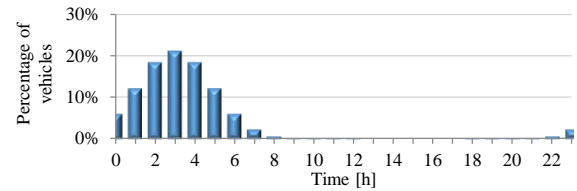


Fig. 8. Charging profile in off-peak

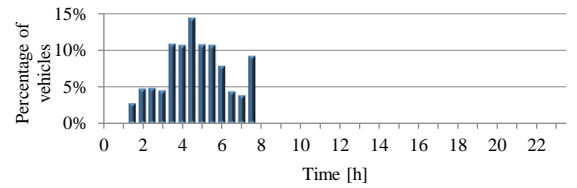


Fig. 9. Profile of charging controlled with 14% EV in spring

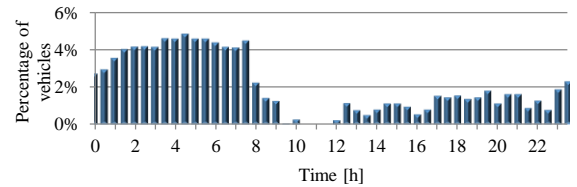


Fig. 10. Profile of charging controlled with 100% EV in spring

### 4.2. Electrical sector

To determine the evolution of electrical energy's consumption, it was used the same approach of calculus

used in the evolution prediction in automobile sector, the Gompertz function, since the electrical energy's consumption presents a sigmoidal shape. This time, it was calculated the Consumption of Energy *per capita* (DC, *Consumption Density*, energy's consumption per each inhabitant resident in a certain country).

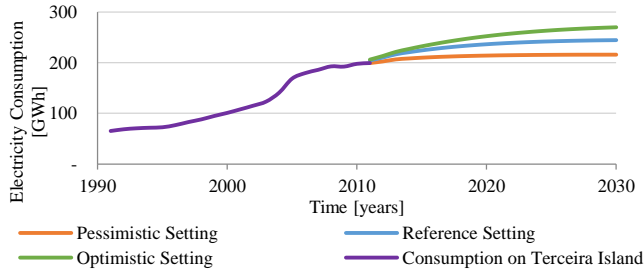


Fig. 11. Evolution and propensity of electricity's consumption in Terceira Island

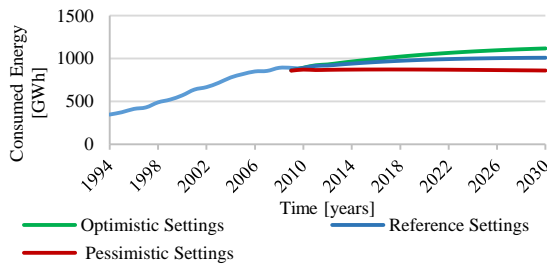


Fig. 12. Evolution and propensity of electricity's consumption in Madeira Island

## 5. Case Study

### A. Terceira Island (Azores)

After analysing the data on Table III (increase of capacity to install) and the 14% of EV's penetration with charging profile (Fig. 9), it was possible to obtain the graphic for 2030 (Fig. 13).

Table III – Increase of power to install

Wind	Geothermal	Photovoltaic	Biomass
16,2 MW	12 MW	4,2 MW	3,07 MW

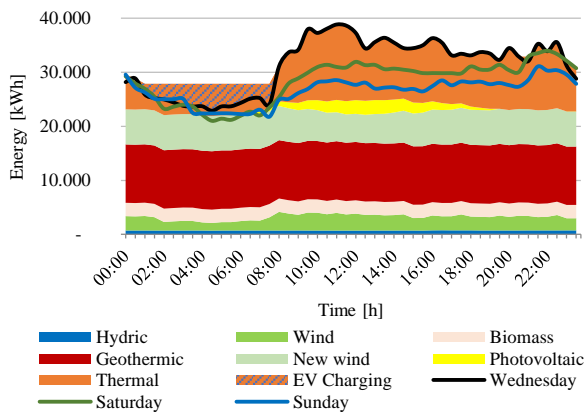


Fig. 13. Graphic of charge for 2030 with 14% of EVs

Comparing the previous data with the situation in 2030 it's quite clear, the thermal energy and that originated in fossil sources decrease considerably. The energy

originated in renewable sources will increase from 17% in 2013 to 74% in 2030; this makes it possible to reduce the importation of fossil fuels in 44% and the emission of pollutant gases in 45%. In conclusion, the use of renewable energy according to these figures allows the reduction of costs in the electrical sector by 11%.

Considering a very unreal setting (using 100% EV) there must be an increase of electrical energy production in 17.4%. Although that increase is almost all from the thermal power plant, it isn't necessary to import any other kind of fossil fuel (for vehicles), which results in a reduction of 4.7% in fossil importations and 0.1% in emissions compared to the previous setting.

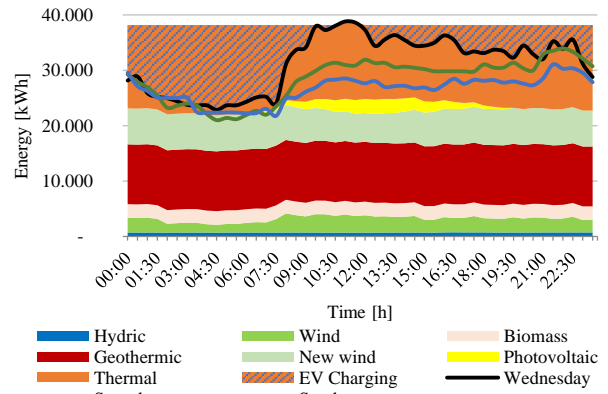


Fig. 14. Graphic of charge typical of spring for 2030 with 100% EV

### B. Madeira Island

The data on diagram for 2030 (Fig. 15) is the result of the data from Fig. 12 (which represents the setting of reference in the increase of charge), Table IV (which represents the increase of power to install) and Fig. 8 (which represents the penetration of 14% EV with charging profile).

Table IV – Increase of power to install

Wind	Photovoltaic
60 MW	20 MW

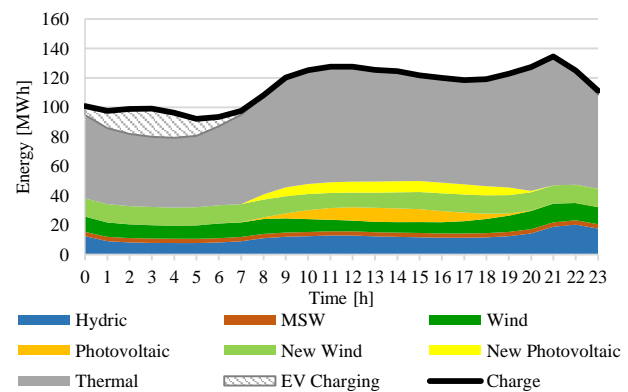


Fig. 15. Diagram of average charge for spring 2030 with 14% EVs

In 2013, *Madeira Island* was provided with 25.9% of renewable energy sources. Reinforcing the power of the

wind and photovoltaic energy in 2030, it will be possible to have 32.3% of energy from renewable sources. Even with these efforts, the importation of fossil fuels will increase in 9.7% and the emissions in 10.5%; these figures would be even higher without the penetration of EVs, it's estimated 11.7% for importations and 10.8% for emissions.

Considering the scenario of 100% EVs, the production of electrical energy must increase in 20%. Even though that increase is completely originated in the thermal power plant, there is a reduction of 11% in importation of fossils and 0.8% in emissions compared to the BAU scenario.

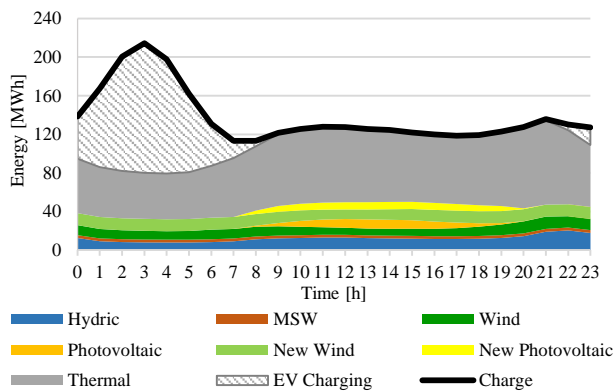


Fig. 16. Diagram of average charge for spring 2030 with 100% EVs

## 6. Conclusions

By analysing and comparing the islands in this study we can conclude that having a geothermal source of energy is extremely useful specially because it's constant and with a high load factor so that can provide the base load consumption

As far as energy, economy and environment are concerned it's been verified that the more significant the penetration of EVs in the islands, the higher the benefits. In fact emissions associated to EVs are highly dependent on the electricity generation mix of the Islands and its emissions' factor.

In these case studies it's perfectly understood that the transportation sector is an extremely significant consumer of energy, in such way that if the fleet was 100% electrical, the impacts to the network would cause difficulties to the operation system, and in a situation like that the best solution would be for the system's operator to have some control as far as the charge of the vehicles is concerned (case study of *Terceira Island*).

## Acknowledgement

We would like to thank Engineer Alexandre Pereira, *EDA (Azores Electricity)* and Engineer Aires Henriques, *EEM (Madeira network)* for kindly making available all the data required to elaborate this article and, also, for the time they've spared in helping clarify all our questions.

## References

- [1] C. Furtado e T. Braga, "Energias Renováveis nos Açores," ARENA - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma dos Açores, 2007.
- [2] N. Duic, M. Lerer e M. G. Carvalho, "INCREASING THE SUPPLY OF RENEWABLE ENERGY," *International Journal of Sustainable*, pp. 177-186, 4 12 2003.
- [3] J. Merino, C. Vezanzones, J. A. Sanchez, S. Martinez e C. A. Platero, "Power System Stability of a Small Sized Isolated Network Supplied by a Combined Wind-Pumped Storage Generation System: A Case Study in the Canary Islands," *energies*, pp. 2351-2369, 5 2012.
- [4] Azorina, "Plano de ação para a energia sustentável - Arquipélago dos Açores," Março de 2012.
- [5] R. Segurado, G. Krajacic, N. Duic e L. Alves, "Increasing the penetration of renewable energy resources in S. Vicente, Cape Verde," *ELSEVIER*, pp. 466-472, 6 7 2010.
- [6] F. Chen, N. Duic, L. M. Alves e M. d. G. Carvalho, "Renewislands—Renewable energy solutions for islands," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1888-1902, 2007.
- [7] T. L. Jensen e Forum for Energy and Development, *Renewable Energy on Small Islands*. 2nd, 2000.
- [8] N. Duic, G. Krajacic e M. d. G. Carvalho, "RenewIslands methodology for sustainable energy and resource planning for islands," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, p. 1032-1062, 13 10 2006.
- [9] N. Duic e M. d. G. Carvalho, "Increasing renewable energy sources in island energy supply: case study Porto Santo," *ELSEVIER*, pp. 383-399, 2004.
- [10] C. Camus e T. Farias, "The electric vehicles as a mean to reduce CO2 emissions and energy costs in isolated regions. The São Miguel (Azores) case study," *Energy Policy* 43, pp. 153 - 165, 2012.