

Ruben Filipe Dourado Simão

**QUANTIFICAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO
ASSOCIADA AO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE LOULÉ**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologias

2018

Ruben Filipe Dourado Simão

**QUANTIFICAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO
ASSOCIADA AO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE LOULÉ**

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Margarida Ribau Teixeira

Doutora Paula Mendes



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologias

2018

QUANTIFICAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO ASSOCIADA AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE LOULÉ

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Ruben Simão

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à Doutora Paula Mendes e à professora Doutora Margarida Ribau Teixeira pelo esforço, orientação, informação disponibilizada e motivação durante a elaboração da presente dissertação de mestrado.

Agradeço de modo geral à Câmara Municipal de Loulé, nomeadamente ao engenheiro Eurico Murta, ao engenheiro André Deltell, ao engenheiro Sérgio Rego, à assistente técnica Ana Paula Neves, ao professor Jorge Guerra, ao Dr. Luís Inácio e ao engenheiro Pedro Guerreiro por todas as sugestões e dados facultados. Por fim, um especial obrigado ao senhor Presidente da Câmara Municipal de Loulé – Dr. Vitor Aleixo pela oportunidade presenteada para a realização do presente estudo de caso.

Os agradecimentos estendem-se a todos aqueles que contribuíram para que eu seguisse em frente neste caminho.

Por fim agradeço a toda a minha família que me acompanhou ao longo deste trabalho e que me encorajou a concluí-lo.

RESUMO

A Pegada de Carbono é uma ferramenta que permite quantificar o total das emissões de carbono. Desta forma, as entidades podem conhecer as fontes das suas emissões e propor medidas de redução dessas mesmas emissões.

Neste âmbito, os objetivos do presente trabalho são calcular a Pegada de Carbono dos serviços municipais do concelho de Loulé, associada ao consumo de energia elétrica, e propor medidas de eficiência energética de modo a reduzir as emissões de CO₂ calculadas e assim combater as alterações climáticas.

O método de cálculo da Pegada de Carbono (t CO₂/ano) consistiu na utilização dos consumos de eletricidade (kWh/ano) e fatores de emissão associados (t CO₂/kWh).

Em 2014, 2015 e 2016 contabilizaram-se 9.079,24, 11.134,88 e 4.877,00 toneladas de CO₂, respetivamente, produzidas pelo consumo de energia elétrica nos serviços municipais. A iluminação pública foi o setor responsável pelas maiores emissões de CO₂ nos 3 anos em estudo, representando 70,94 %, 66,86 % e 66,41 %, respetivamente em 2014, 2015 e 2016, seguindo-se os setores dos edifícios municipais com 8,35 %, 8,90 % e 9,33 %, os equipamentos de abastecimento de água com 6,72 %, 7,99 % e 8,09 %, as instalações desportivas com 6,88 %, 7,56 % e 7,64 % e os estabelecimentos escolares ativos com 3,36 %, 4,28 % e 4,10 %.

Em relação às medidas de redução do consumo elétrico, propuseram-se medidas de mudança de comportamento e medidas de eficiência energética nos setores iluminação pública, edifícios municipais e equipamentos de abastecimento de água. O resultado da aplicação destas medidas mostra que é possível reduzir a Pegada de Carbono em 2,33 % a partir de uma mudança de comportamento, 89,73 % na iluminação pública, 1,6 % no Cine-Teatro Louletano e 62 % nos equipamentos de abastecimento de água. Globalmente, isto traduzir-se-ia numa redução total de 66,95 % face à Pegada de Carbono em 2016 no município de Loulé.

Termos-chave: Pegada de Carbono; Consumo de Energia Elétrica; Eficiência Energética; Município de Loulé; Alterações Climáticas.

ABSTRACT

The Carbon Footprint is a tool that quantifies the total carbon emissions. In this way, entities can know the sources of their emissions and propose measures to reduce these emissions.

In this context, the objectives of the present work are calculate the Carbon Footprint of the municipal services of Loulé municipality associated with the consumption of electric energy, and propose measures of energy efficiency to reduce the calculated CO₂ emissions and, thus, combat the climate change.

Carbon Footprint (t CO₂/year) was calculated using the electricity consumptions (kWh/year) and associated emission factors (t CO₂/kWh).

In 2014, 2015 and 2016, results indicate that 9,079.24, 11,134.88 and 4,877.00 tons of CO₂ were produced, respectively, due to consumption of electricity in municipal services. Public lighting was the sector responsible for the highest CO₂ emissions in the 3 years under study, accounting with 70.94 %, 66.86 % and 66.41 %, respectively in 2014, 2015 and 2016, followed by the sectors of municipal buildings with 8.35 %, 8.90 % and 9.33 %, water supply equipment with 6.72 %, 7.99 % and 8.09 %, sports facilities with 6.88 %, 7.56 % and 7.64 %, and the active school buildings with 3.36 %, 4.28 % and 4.10 %.

Regarding the measures to reduce electricity consumption, behavior change and energy efficiency measures were proposed in the public lighting, municipal buildings and water supply equipment sectors. The application of these measures showed that it is possible to reduce the Carbon Footprint by 2.33% due to a change in behavior, 89.73 % in public lighting, 1.6 % in the Cine-Teatro Louletano and 62 % in water supply equipment. Overall, this translates into a total reduction of 66.95 % in relation to Carbon Footprint verified in 2016 in Loulé municipality.

Keywords: Carbon Footprint; Electricity Consumption; Energy Efficiency; Municipality of Loulé; Climate Change.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	x
LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos do estudo	3
1.3 A problemática das alterações climáticas	4
1.3.1 Efeito de estufa	6
1.3.2 Reduções de CO ₂	9
1.4 Consumo final de energia elétrica	10
2. ESTADO DE ARTE	13
2.1 Pegada de Carbono	13
2.2 Fontes de emissão (âmbitos)	13
2.3 Metodologias do cálculo da Pegada de Carbono	16
2.3.1 Guia para Inventários Nacionais de GEE	18
2.3.2 Protocolo de GEE	19
2.3.3 Protocolo de Operações do Governo Local	20
2.3.4 <i>The Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories</i>	21
2.3.5 Normativa ISO 14064	22

2.3.6	Guia para Inventário de GEE.....	22
2.4	Exemplos de estudos referentes à Pegada de Carbono	23
2.5	Medidas de redução do consumo de energia elétrica	29
2.5.1	Medidas de mudança de comportamento	30
2.5.2	Substituição da tecnologia existente.....	32
2.5.3	Eficiência energética dos equipamentos de abastecimento de água.....	40
3.	METODOLOGIA APLICADA	49
3.1	Método de cálculo.....	49
3.2	Recolha dos dados da atividade	49
3.3	Recolha dos fatores de emissão	50
3.4	Aplicação das medidas de redução do consumo de energia elétrica	51
3.4.1	Seleção dos setores a atuar	51
3.4.2	Seleção dos equipamentos a instalar	52
3.4.3	Dimensionamento da substituição dos equipamentos atualmente instalados	53
4.	ESTUDO DE CASO	56
4.1	Caracterização do município de Loulé	56
4.2	Limites de emissões do estudo.....	59
4.3	Setores em estudo	60
4.4	Fontes de energia elétrica fornecidas à autarquia	62
4.4.1	Energia fornecida em 2014.....	62
4.4.2	Energia fornecida em 2015.....	63
4.4.3	Energia fornecida em 2016.....	64
4.5	Consumo de energia elétrica pela autarquia	65
4.5.1	Consumo de energia elétrica em 2014.....	65
4.5.2	Consumo de energia elétrica em 2015.....	66
4.5.3	Consumo de energia elétrica em 2016.....	67

5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
5.1	Pegada de Carbono em 2014	68
5.2	Pegada de Carbono em 2015	71
5.3	Pegada de Carbono em 2016	76
5.3	Setores selecionados para aplicar as medidas de redução do consumo de energia elétrica	82
6.	MEDIDAS DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	84
6.1	Medidas de mudança de comportamento.....	84
6.2	Substituição da tecnologia atualmente existente	85
6.2.1	Iluminação pública	85
6.2.2	Cine-Teatro Louletano.....	90
6.2.3	Equipamentos de abastecimento de água	97
6.3	Resumo dos resultados obtidos.....	100
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
8.	BIBLIOGRAFIA.....	106
9.	ANEXOS.....	114
9.1	Anexo A – Medidas para gerir o consumo final de energia elétrica (adaptado de ESMAP, 2010 <i>in</i> Pasquier & Heffner, 2012).....	114
9.2	Anexo B – Consumo de energia elétrica em 2016 no setor dos edifícios municipais.....	115
9.3	Anexo C – Luminárias atualmente existentes na iluminação pública do município de Loulé	118
9.4	Anexo D – Catálogo de produtos Philips para iluminação exterior com tecnologia LED (adaptado de Philips, 2016).....	119
9.5	Anexo E – Tabela de iluminação Philips (adaptado de Philips, 2017).....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Séries cronológicas da temperatura média anual do planeta (adaptado de NOAA & NASA, 2014).	6
Figura 1.2 – Interações envolvidas na problemática das alterações climáticas (adaptado de Nevers, 2000).	7
Figura 1.3 – Concentrações atmosféricas de CO ₂ de Mauna Loa e Polo Sul (adaptado de IPCC, 2013).	8
Figura 1.4 – Concentrações atmosféricas de CO ₂ da Ilha Terceira (adaptado de GAW WDCGG, 2017).	8
Figura 1.5 – Emissões de CO ₂ em Portugal por alguns setores de emissão (adaptado de (PORDATA, 2017).	11
Figura 2.1 – Fontes e limites de emissões de uma cidade (adaptado de WRI <i>et al.</i> , 2014).	16
Figura 3.1 – Esquema simplificado do sistema de registos da CML para a obtenção dos consumos de energia elétrica.	50
Figura 4.1 – Portugal Continental (A) e município de Loulé (B) (elaborado em ArcGIS).	56
Figura 4.2 – Divisão do território em 3 partes distintas (Vicente & Silva, 2006).	57
Figura 4.3 – Definição dos limites de emissões do estudo.	60
Figura 5.1 – Pegada de Carbono da autarquia em 2014.	70
Figura 5.2 – Análise comparativa, por setor, do consumo de energia elétrica de 2014 para 2015.	71
Figura 5.3 – Pegada de Carbono da autarquia em 2015.	74
Figura 5.4 – Análise comparativa, por setor, da Pegada de Carbono de 2014 para 2015.	75
Figura 5.5 – Análise comparativa, por setor, do consumo de energia elétrica de 2015 para 2016.	76
Figura 5.6 – Pegada de Carbono da autarquia em 2016.	79
Figura 5.7 – Análise comparativa, por setor, da Pegada de Carbono de 2015 para 2016.	80

Figura 5.8 – Pegada de Carbono global, durante os 3 anos em estudo, no município de Loulé.....	81
Figura 5.9 – Pegada de Carbono dos serviços municipais, por setores, excepto a iluminação pública.....	82
Figura 6.1 – Número de luminárias atualmente instaladas no município de Loulé.	86
Figura 6.2 – Projetor de halogéneo (A) e os projetores LED (B) utilizados no Cine-Teatro em 2016.....	91
Figura 6.3 – Sala de espetáculos e palco do Cine-Teatro.....	93
Figura 6.4 – Poupança do consumo elétrico e da Pegada de Carbono na iluminação do Cine-Teatro.....	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Objetivos energéticos e climáticos impostos pela UE (UE, 2016).....	9
Tabela 2.1 – Resumo dos principais estudos mencionados no presente trabalho.	27
Tabela 2.2 – Principais características dos diferentes tipos de tecnologias de iluminação (<i>in</i> Canfora <i>et al.</i> , 2015; Comissão Europeia, 2009; DOE, 2013c; Lopes <i>et al.</i> , 2013; Philips, 2017, 2016, n.d.).....	39
Tabela 2.3 – Fatores predominantes associados ao consumo de energia elétrica nos SAA (adaptado de Venkatesh <i>et al.</i> , 2014).	41
Tabela 2.4 – Medidas de eficiência energética aplicáveis aos SAA (adaptado de Vilanova & Balestieri, 2014).....	44
Tabela 4.1 – Setores em estudo.	61
Tabela 4.2 – <i>Mix</i> de fontes de energia elétrica em 2014 (EDP Comercial, 2014).	62
Tabela 4.3 – <i>Mix</i> de fontes de energia elétrica em 2015 (EDP Comercial, 2015).	63
Tabela 4.4 – <i>Mix</i> de fontes de energia elétrica em 2016 (EDP Comercial, 2016).	64
Tabela 4.5 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2014.	65
Tabela 4.6 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2015.	66
Tabela 4.7 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2016.	67
Tabela 5.1 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2014.	68
Tabela 5.2 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2015.	73

Tabela 5.3 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2016.	78
Tabela 6.1 – Luminárias propostas na substituição da iluminação pública atualmente instalada.	87
Tabela 6.2 – Dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada.	88
Tabela 6.3 – Consumo de energia elétrica, Pegada de Carbono e custo associado das luminárias LED que se manterão instaladas no município de Loulé.	88
Tabela 6.4 – Valores totais do dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada e valores antes da substituição.	89
Tabela 6.5 – <i>Payback</i> do dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada.	89
Tabela 6.6 – Tipos e características da iluminação instalada em 2016 no Cine-Teatro.	91
Tabela 6.7 – Lâmpada proposta na substituição da iluminação normal atualmente instalada no Cine-Teatro.	94
Tabela 6.8 – Dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro.	95
Tabela 6.9 – Consumo de energia elétrica, Pegada de Carbono e custo associado da iluminação que se manterá instalada no Cine-Teatro.	95
Tabela 6.10 – Valores totais do dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro e valores antes da substituição.	96
Tabela 6.11 – <i>Payback</i> do dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro.	97
Tabela 6.12 – Caracterização dos SAA no município de Loulé (adaptado de CML, n.d.d).	98
Tabela 6.13 – Reduções obtidas no consumo de energia elétrica nos equipamentos de abastecimento de água após a aplicação de medidas.	99
Tabela 6.14 – Resumo dos valores obtidos após a aplicação das medidas de redução do consumo de energia elétrica.	101

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2.1	19
Equação 2.2	20
Equação 3.1	49
Equação 3.2	53
Equação 3.3	54
Equação 3.4	54
Equação 3.5	55
Equação 3.6	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS

AAIO – Análise Ambiental *Input-Output*

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AP – Análise de Processos

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ARB – *California Air Resources Board*

AVAC – aquecimento, ventilação e ar condicionado

C40 – *C40 Cities Climate Leadership Group*

CCAR – *California Climate Action Registry*

CH₄ – metano

CML – Câmara Municipal de Loulé

CO – monóxido de carbono

CO₂ – dióxido de carbono

DOE – *United States Department of Energy*

DVV – dispositivo de velocidade variável

EEA – Agência Europeia do Ambiente

EMAAC – Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas

EPA – *Environmental Protection Agency*

ERP – *European Recycling Platform*

GAP – *Global Action Plan*

GEE – gases com efeito de estufa

GPC – *The Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*

HFC – hidrofluorcarbonetos

ICLEI – *Local Governments for Sustainability*

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISO – *International Organization for Standardization*

JRC – *Joint Research Centre*

LEAP – *The Long-range Energy Alternatives Planning System*

LED – *Light Emitting Diode*

N₂O – óxido nitroso

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

NO_x – óxidos de azoto

O₂ – oxigénio

O₃ – ozono

PAES – Plano de Ação para a Energia Sustentável

PAESC – Plano de Ação para a Energia Sustentável e o Clima

PFC – compostos perfluorados

RU – resíduos urbanos

SAA – sistema de abastecimento de água

SEI – *Stockholm Environment Institute*

SF₆ – hexafluoreto de enxofre

SO₂ – dióxido de enxofre

TCR – *The Climate Registry*

TIC – tecnologias da informação e da comunicação

UE – União Europeia

WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*

WRI – *World Resources Institute*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O cálculo da Pegada de Carbono permite quantificar o total de emissões de carbono, causadas de forma direta e indireta por uma atividade ou acumuladas ao longo do ciclo de vida de um produto (Wiedmann & Minx, 2007). A quantificação de emissões diretas e indiretas por parte dos governos locais ajuda a criar um perfil de emissões abrangente, que reflete as suas decisões e intervenções (ARB *et al.*, 2010). Desta forma, este conceito é de extrema importância, permitindo que as entidades sejam capazes de quantificar as emissões provocadas pela sua atividade, de conhecer as fontes das suas emissões e, por fim, propor medidas de redução dessas mesmas emissões. A utilização desta ferramenta torna-se indispensável face à necessidade de reduzir os poluentes lançados para a atmosfera.

O conceito da Pegada de Carbono tem-se utilizado bastante em debates públicos e em ações de redução relativamente às alterações climáticas e as suas responsabilidades (Wiedmann & Minx, 2007), causadas pelo aumento da concentração de gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera, onde se incluem as emissões de carbono (IPCC, 2013). Isto deve-se em grande parte às entidades ambientalmente proativas que solicitam ou prestam informações acerca das suas emissões aos consumidores (Weidema *et al.*, 2008).

Os setores que mais libertam emissões de dióxido de carbono (CO₂) são os setores da energia e dos transportes (Stern, 2006). Em 2011 a concentração de CO₂ registada foi de 391 ppm, excedendo os níveis pré-industriais em cerca de 40 %, sendo este gás o principal provocador das alterações climáticas que se têm observado ao longo dos anos (IPCC, 2013). Face a estes valores a União Europeia (UE) impôs aos seus Estados-Membros uma redução de 20 % das emissões de GEE até 2020 relativamente aos níveis registados em 1990, 40 % até 2030 e 80 a 95 % até 2050 (UE, 2016).

As alterações climáticas devem preocupar os governos locais, tendo em conta que estes são os principais responsáveis pelo fornecimento de infraestruturas e serviços aos seus cidadãos. Os governos locais necessitam de adaptar-se a este fenómeno climático e também têm o dever de reduzir as emissões de GEE geradas tanto pelas suas próprias atividades como pelas atividades dos seus cidadãos (Larsen & Hertwich, 2009).

Um desenvolvimento sustentável é aquele cujos padrões de produção e de consumo podem ser reproduzidos indefinidamente sem causar danos irreparáveis aos ecossistemas naturais (Shakouri & Khoshnevis Yazdi, 2010). A participação da administração pública é absolutamente fundamental na condução da nossa sociedade em direção à sustentabilidade, visto que têm uma grande influência, seja direta ou indireta, sobre as atividades com impactes ambientais significativos (Comissão Europeia, 2016). De acordo com a Comissão Europeia (2012), uma cidade é neutra em carbono quando a produção de calor e eletricidade é neutra em carbono, isto é, através de fontes de energias renováveis. A produção de energia renovável deve ser grande o suficiente para compensar as eventuais emissões vestigiais, provenientes de origens fósseis, por parte do tráfego, gestão de águas residuais, processos industriais, entre outras atividades (Comissão Europeia, 2012).

No município de Loulé foi desenvolvida a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) em janeiro de 2015, no âmbito do projeto ClimAdapt.Local, onde foram feitas projeções climáticas até ao final do século, mostrando uma subida da temperatura média anual entre 1°C e 4°C (CML, 2016). A Câmara Municipal de Loulé (CML) assume a sua preocupação com a questão do aquecimento global, pois é fundamental estabelecer uma estratégia de adaptação aos impactes resultantes das alterações climáticas. Posto isto, sempre que possível o município adotará medidas de adaptação e mitigação de forma a diminuir as emissões de CO₂ provocadas pelas instalações da responsabilidade da autarquia (CML, 2016). O desenvolvimento da EMAAC do município de Loulé pretende promover uma resposta coerente às múltiplas problemáticas relacionadas com as alterações climáticas. Embora a EMAAC de Loulé se foque essencialmente na adaptação, a autarquia reconhece que é igualmente necessário aplicar medidas de mitigação que promovam reduções nas emissões de CO₂ (CML, 2016).

A implementação de práticas sustentáveis nos serviços municipais pode resultar numa redução substancial dos seus impactos ambientais. Trabalhando neste sentido, o *Joint Research Centre (JRC)*, um serviço de investigação da Comissão Europeia, tem vindo a desenvolver um documento de referência setorial sobre as melhores práticas de gestão ambiental para o setor da administração pública, com foco em municípios e autoridades locais (Canfora *et al.*, 2015). Muitas cidades já estão a tomar medidas na redução das suas Pegadas de Carbono (WRI *et al.*, 2014).

1.2 Objetivos do estudo

O objetivo do presente estudo é quantificar a Pegada de Carbono associada ao consumo de energia elétrica dos serviços municipais da responsabilidade da autarquia no concelho de Loulé. Os serviços municipais dividem-se em 13 setores, nomeadamente:

- os edifícios municipais;
- as instalações desportivas;
- os armazéns e oficinas;
- as habitações sociais;
- as instalações diversas;
- os cemitérios e igrejas;
- os equipamentos de resíduos urbanos (RU), painéis e sanitários;
- a iluminação pública;
- os semáforos;
- os equipamentos de abastecimento de água;
- os equipamentos de águas residuais;
- os estabelecimentos escolares ativos;
- os estabelecimentos escolares desativados.

Após a quantificação da Pegada de Carbono pretende-se, também, propor medidas de eficiência energética de forma a reduzir o consumo de energia elétrica provocado

pelos serviços municipais e consequentemente as emissões de CO₂ a este associadas e assim combater as alterações climáticas que se têm registado.

1.3 A problemática das alterações climáticas

O fenómeno das alterações climáticas pode ser identificado por alterações na média e/ou na variabilidade das propriedades do clima, que persistem durante um longo período de tempo, normalmente décadas ou mais. Estas alterações podem ser devido a processos internos naturais ou forças externas, tais como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e fenómenos antropogénicos (IPCC, 2014a).

GEE são os constituintes gasosos da atmosfera, naturais e antrópicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro de radiação emitida pela superfície terrestre, pela atmosfera e por nuvens. Esta propriedade é a causa para o efeito de estufa. O vapor de água, o CO₂, o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e o ozono (O₃) são os principais GEE na atmosfera. Além disso, há uma série de GEE inteiramente produzidos pelo homem, tais como os hidrocarbonetos halogenados, tratados no âmbito do Protocolo de Montreal. Para além do CO₂, CH₄ e N₂O, o Protocolo de Quioto lida também com outros gases: hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonetos (HFC) e compostos perfluorados (PFC) (IPCC, 2014a).

Desde a época pré-industrial que as emissões de GEE se intensificaram, em grande parte devido ao crescimento económico e populacional. Entre 2000 e 2010, as emissões registadas foram as mais elevadas da história. Desta forma, as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O na atmosfera atingiram níveis sem precedentes nos últimos 800.000 anos (IPCC, 2014b).

A atmosfera é a fonte de CO₂ para as plantas fotossintéticas e de oxigénio (O₂) para a respiração. Esta tem sido alvo de vários poluentes que causam alterações nas suas características, danos na vegetação e na vida humana (Manahan, 1997). A poluição atmosférica é a presença de material indesejável na atmosfera, em quantidades suficientemente elevadas para produzir efeitos prejudiciais (de Nevers, 2000).

Segundo Manahan (1997), ao longo dos anos as atividades antropogénicas têm vindo a alterar a atmosfera devido às emissões de poluentes, entre elas:

- as atividades industriais, que emitem uma variedade de poluentes atmosféricos, incluindo dióxido de enxofre (SO_2), hidrocarbonetos fotoquimicamente reativos, clorofluorcarbonetos e substâncias inorgânicas, tais como metais pesados;
- a queima de grandes quantidades de combustíveis fósseis, que lançam para a atmosfera CO_2 , monóxido de carbono (CO), SO_2 , óxidos de azoto (NO_x), hidrocarbonetos (incluindo CH_4), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e cinzas;
- o setor dos transportes, que emitem CO_2 , CO, NO_x , hidrocarbonetos fotoquimicamente reativos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;
- a desflorestação e outras alterações na superfície terrestre;
- a queima de biomassa e vegetação, incluindo florestas tropicais e subtropicais e savanas, que produz CO_2 , CO, NO_x , partículas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;
- as práticas agrícolas, que produzem CH_4 e N_2O .

É provável que mais de metade do aumento observado na temperatura média da superfície terrestre de 1951 a 2010 (figura 1.1) tenha sido causado pelo aumento nas concentrações de GEE emitidos de forma antropogénica (IPCC, 2013). As emissões de GEE durante este período de tempo contribuíram para um aquecimento global médio da superfície terrestre, entre os $0,5^\circ\text{C}$ e os $1,3^\circ\text{C}$ (IPCC, 2013). Portanto, são os fenómenos antropogénicos os principais responsáveis pelas alterações climáticas que têm ocorrido por todo o planeta.

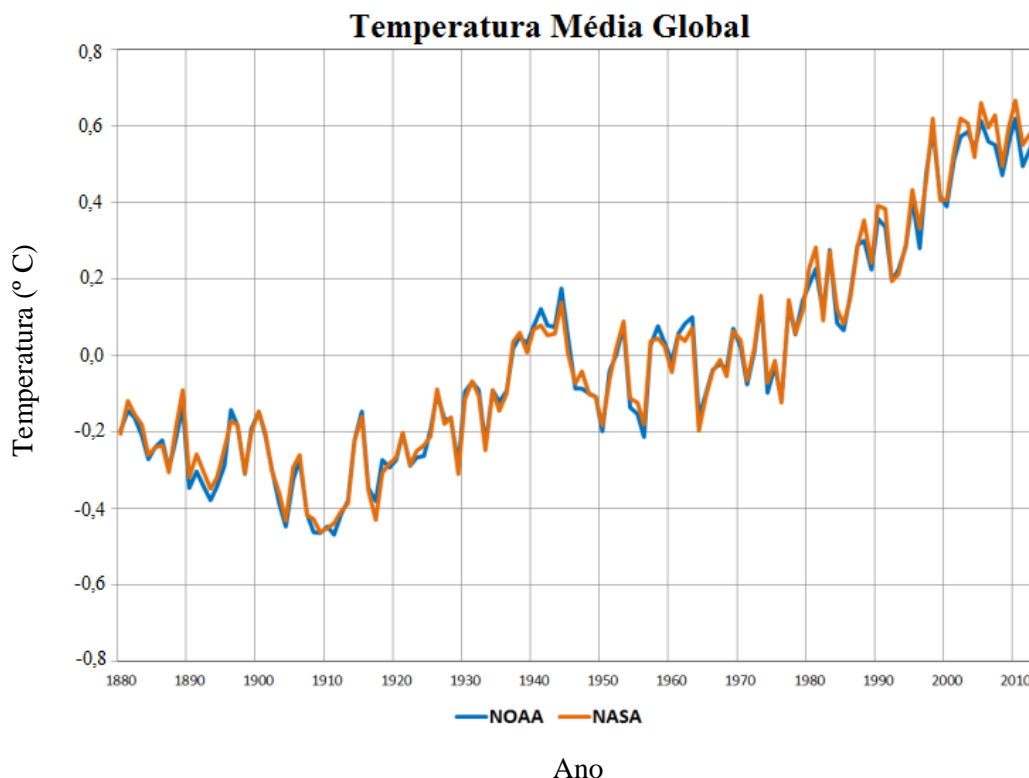


Figura 1.1 – Séries cronológicas da temperatura média anual do planeta (adaptado de NOAA & NASA, 2014).

Como se pode verificar na figura 1.1, a partir de 1960, a temperatura média global, estimada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), aumentou significativamente. Segundo o IPCC (2013), a alteração da temperatura média global continuará a ocorrer entre 2016 e 2035, estimando-se que o seu aumento poderá variar entre os 0,3° C e os 0,7° C. Haverá com maior frequência cenários extremos de altas temperaturas e cada vez menos cenários de baixas temperaturas (IPCC, 2013).

1.3.1 Efeito de estufa

Como é possível observar na figura 1.2, GEE, nuvens e, embora em menor concentração, aerossóis absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície da terra (IPCC, 2014a). Assim, a retenção da radiação por parte destes gases, permite que o calor não se dissipe para o espaço, sendo essencial para a vida na terra

(Cooper & Alley, 2002; Manahan, 1997). De acordo com Cooper & Alley (2002), sem este efeito natural na atmosfera, ou seja, na ausência de GEE na atmosfera, a temperatura média global registaria aproximadamente menos 33° C relativamente ao cenário atual, impossibilitando a existência de vida humana na terra.

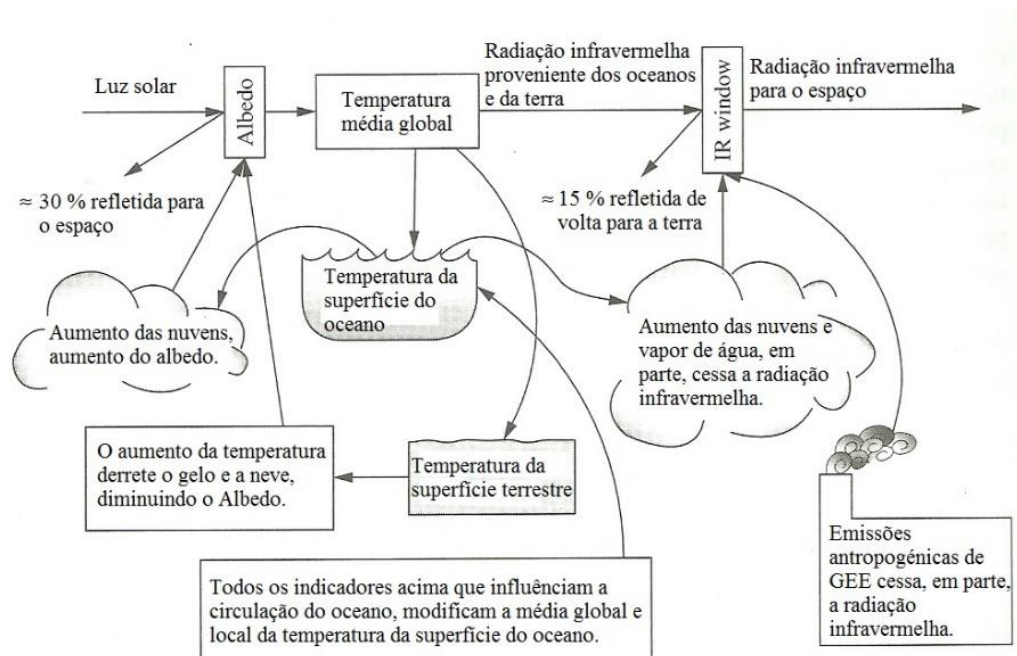


Figura 1.2 – Interações envolvidas na problemática das alterações climáticas (adaptado de Nevers, 2000).

Um aumento na concentração de GEE aumenta a magnitude deste efeito natural, provocando, assim, o efeito de estufa. A alteração da concentração de GEE por causa de emissões antrópicas contribui para uma perturbação radioativa instantânea. Um aumento na concentração de GEE leva a um aumento na absorção da radiação infravermelha, fazendo com que a temperatura da superfície terrestre e da troposfera aqueça em função dessa perturbação (IPCC, 2014a).

O principal GEE que contribuiu, ao longo do século passado, para as alterações climáticas foi o CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis (Cooper & Alley, 2002). Como se pode observar na figura 1.3, desde 1960 que a concentração de CO₂ na atmosfera cresce. De acordo com o IPCC (2013), as emissões de CO₂ têm vindo a crescer desde 1750 devido à atividade humana. Em 2011 a concentração de CO₂ registada foi de 391 ppm, excedendo os níveis pré-industriais em cerca de 40 % (IPCC, 2013).

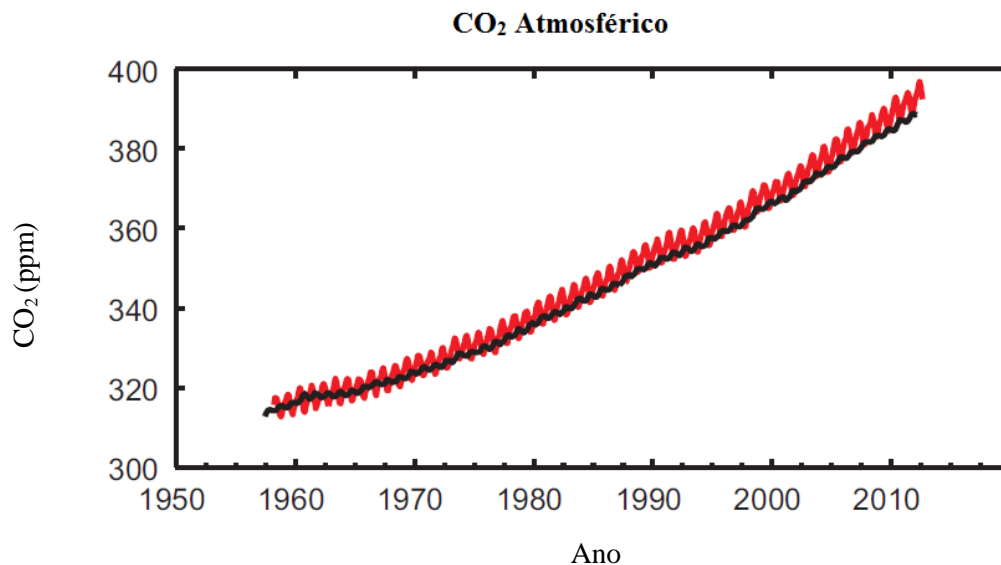


Figura 1.3 – Concentrações atmosféricas de CO₂ de Mauna Loa e Polo Sul (adaptado de IPCC, 2013).

Quanto a Portugal, desde 1979 que participa num programa de recolha de amostras de ar, sendo esta a série de dados mais longa obtida em território Português. As amostras são recolhidas na ilha Terceira, nos Açores, por parte do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e analisadas pela NOAA (IPMA, n.d.). A figura 1.4 mostra as concentrações de CO₂ estimadas na ilha a partir dessa data.

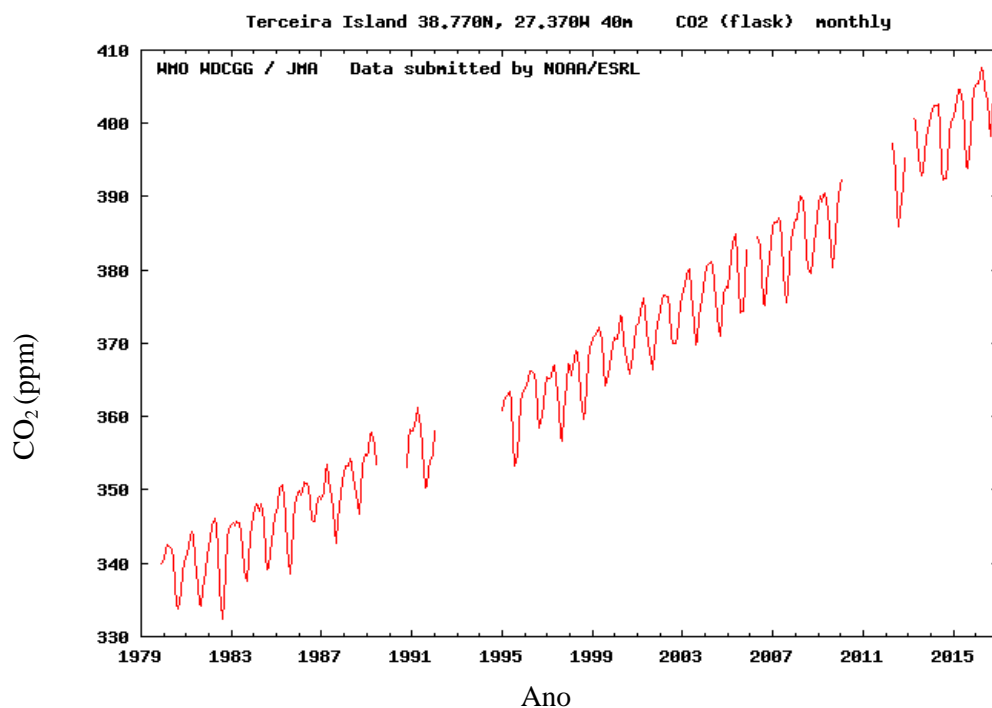


Figura 1.4 – Concentrações atmosféricas de CO₂ da Ilha Terceira (adaptado de GAW WDCGG, 2017).

Pode observar-se o aumento contínuo de CO₂ durante os últimos 36 anos. Em dezembro de 2015 a concentração de CO₂ na atmosfera superou os 404 ppm e a tendência é para continuar a aumentar. Visto isto, são necessárias ações imediatas para reduzir as emissões de CO₂.

1.3.2 Reduções de CO₂

A UE impôs aos Estados-Membros objetivos energéticos e climáticos para 2020, 2030 e 2050. A tabela 1.1 apresenta esses objetivos.

Tabela 1.1 – Objetivos energéticos e climáticos impostos pela UE (UE, 2016).

Ano	Objetivos
2020	<ul style="list-style-type: none">• 20 % de redução das emissões de GEE face aos níveis de 1990;• 20 % da energia obtida a partir de fontes renováveis;• 20 % de melhoria da eficiência energética.
2030	<ul style="list-style-type: none">• 40 % de redução das emissões de GEE;• 27 % da energia da UE obtida a partir de fontes renováveis;• 27 % a 30 % de aumento da eficiência energética;• 15 % de interligação elétrica. Ou seja, 15 % da eletricidade produzida na UE pode ser transferida para outros países da UE.
2050	<ul style="list-style-type: none">• 80 % a 95 % de diminuição das emissões de GEE relativamente aos níveis de 1990.

Acredita-se que é possível reduzir o suficiente de emissões de CO₂, sem destabilizar a economia global, implementando rapidamente fortes medidas políticas previamente ponderadas (Stern, 2006). Segundo Stern (2006), para uma resposta mundial eficaz, são necessários três elementos políticos: o preço do carbono, estipulado através de taxas, comércio ou regulamentação; o apoio à inovação e à implementação de tecnologias de baixo carbono; a remoção de barreiras para a eficiência energética, e para informar, educar e persuadir as pessoas sobre o que podem fazer para responder às alterações climáticas. Para que estas políticas sejam

eficazes é necessário um método de quantificação das emissões de carbono – Pegada de Carbono.

Como referido anteriormente, o JRC tem vindo a desenvolver um documento de referência setorial sobre as melhores práticas de gestão ambiental para o setor da administração pública, com foco em municípios e autoridades locais (Canfora *et al.*, 2015). O objetivo do documento é estabelecer descrições detalhadas de técnicas praticáveis, medidas ou ações que possam ser implementadas por cidades ou vilas para minimizar os seus impactes ambientais, com base na experiência dos municípios pioneiros da sustentabilidade, em diferentes áreas. O relatório apresenta indicadores que os municípios podem utilizar para gerir o seu desempenho ambiental, bem como a possibilidade de uma análise comparativa do seu desempenho com municípios pioneiros. O relatório abrange os diferentes serviços da responsabilidade dos municípios e as áreas de atuação são a energia, a mobilidade, a qualidade do ar, o ordenamento do território, a poluição sonora, as áreas verdes urbanas, a educação ambiental e a gestão de RU (Canfora *et al.*, 2015).

1.4 Consumo final de energia elétrica

As indústrias de energia e o setor dos transportes foram aqueles que mais contribuíram para as emissões de CO₂ em Portugal, entre os anos 2000 e 2014 (figura 1.5). Como se pode observar, as atividades associadas ao setor da energia são uma das grandes causas de emissões de CO₂ em Portugal, sendo este setor o mais emissor em 2014, onde se inclui a produção de eletricidade. A eletricidade é a forma mais comum de energia utilizada em quase todas as casas, escritórios, outros edifícios e na iluminação pública (WRI *et al.*, 2014).

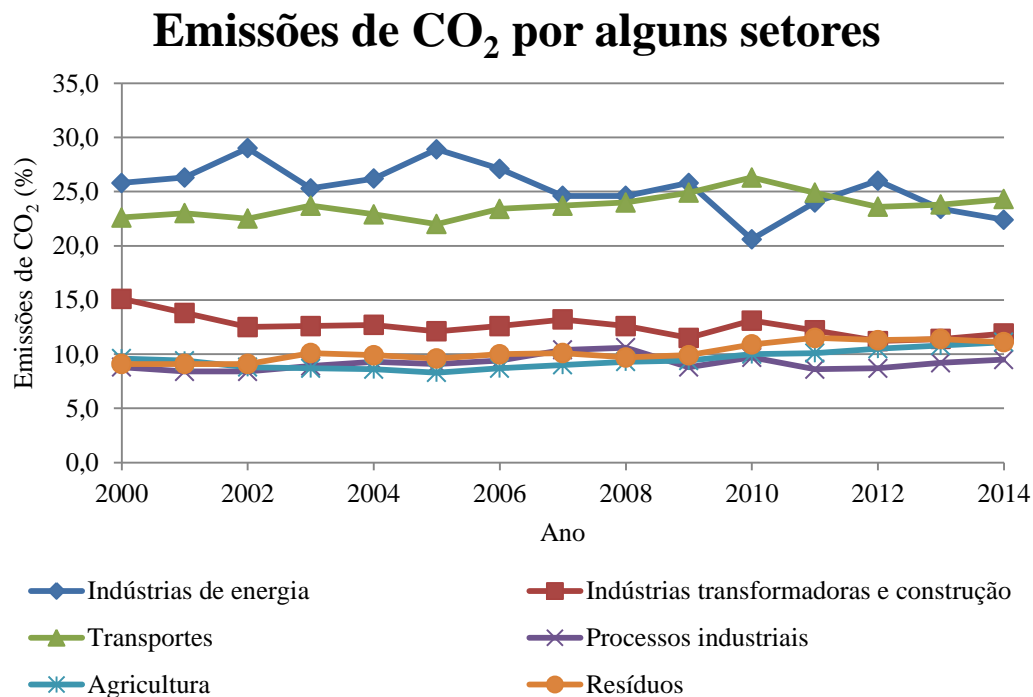


Figura 1.5 – Emissões de CO₂ em Portugal por alguns setores de emissão (adaptado de (PORDATA, 2017).

A energia elétrica pode ser produzida através de fontes renováveis e fontes não renováveis. As fontes renováveis podem ser a água, o vento, o sol, as ondas, as marés, a biomassa, a geotermia, a cogeração renovável e os RU. As fontes não renováveis utilizam combustíveis fósseis (derivados do petróleo, carvão e gás natural) e urânio que geram emissões de CO₂ para a atmosfera (EDP Comercial, 2016).

Como já foi referido acima, a principal fonte de emissões de CO₂ para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis. Por todo o planeta, o carvão é a maior fonte de energia na produção de eletricidade e o maior contribuidor de emissões de CO₂ (Cooper & Alley, 2002). Em Portugal, no ano de 2014 a utilização de carvão como fonte de energia na produção de energia elétrica foi de 23 % do total produzido (IEA, 2016). No que diz respeito ao município de Loulé, a eletricidade consumida nas instalações da CML em 2014 proveio 29 % do carvão (EDP Comercial, 2014).

Assim sendo, as emissões provenientes do consumo de eletricidade incorporam uma oportunidade significativa para a gestão e redução de GEE. Os governos locais

podem reduzir a utilização de energia elétrica através do investimento em tecnologias de eficiência energética e conservação de energia (ARB *et al.*, 2010).

O consumo final de energia ao nível municipal inclui (Canfora *et al.*, 2015):

- edifícios municipais, equipamentos/instalações;
- edifícios de terceiros (não municipais), equipamentos/instalações;
- edifícios residenciais;
- iluminação pública municipal;
- frota municipal;
- transportes públicos;
- transporte privado e comercial.

No que diz respeito somente à eletricidade associada aos serviços municipais, esta é consumida por (Canfora *et al.*, 2015):

- iluminação;
- tecnologias da informação e da comunicação (TIC);
- sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC);
- refeições;
- distribuição e tratamento de água.

2. ESTADO DE ARTE

2.1 Pegada de Carbono

O conceito da Pegada de Carbono originou-se a partir do conceito da Pegada Ecológica e passou a ser amplamente conhecido desde 2005 (Safire, 2008 *in* Chakraborty & Roy, 2013). A Pegada de Carbono é uma medição do total de emissões de carbono, em toneladas, causadas direta (no local) e indiretamente (fora do local) por uma ou várias atividades ou acumuladas ao longo do ciclo de vida de um produto (Wiedmann & Minx, 2007). Segundo Wiedmann & Minx (2007), as emissões de carbono resultam das atividades da população, governos, empresas, organizações, setores industriais e na utilização de produtos, isto é, bens e serviços.

A Pegada de Carbono resultante da prestação de serviços municipais inclui todas as emissões provenientes das atividades efetuadas pela administração municipal (emissões diretas) e todas as emissões integradas na compra de produtos e serviços por parte da administração municipal (emissões indiretas). Exclui-se qualquer forma de consumo privado e outras atividades governamentais fora da responsabilidade da administração municipal (Larsen & Hertwich, 2009).

Embora haja outros GEE com grande potencial, para Wiedmann & Minx (2007) a Pegada de Carbono, como o próprio nome indica, deve apenas quantificar as emissões de CO₂, defendendo que a quantificação de todos os GEE deveria chamar-se ‘Pegada Climática’. O presente estudo adota este princípio e, portanto, serão quantificadas apenas as emissões de CO₂.

2.2 Fontes de emissão (âmbitos)

Por forma a identificar quais as emissões diretas e indiretas e facilitar o cálculo da Pegada de Carbono, foram desenvolvidos três âmbitos por parte do Protocolo de

GEE (WRI & WBCSD, 2004) e do Protocolo de Operações do Governo Local (ARB *et al.*, 2010):

- âmbito 1 – corresponde às emissões diretas de GEE que ocorrem em fontes dentro dos limites operacionais da administração local, ou seja, que pertencem ou são controladas pela empresa (ARB *et al.*, 2010; WRI & WBCSD, 2004). Por exemplo, as emissões de caldeiras de combustão, fornos e veículos;
- âmbito 2 – contabiliza emissões indiretas e refere-se apenas às emissões de GEE originadas pela compra de energia elétrica consumida pela empresa (ARB *et al.*, 2010; WRI & WBCSD, 2004). As emissões indiretas de GEE são emissões provenientes das atividades que ocorrem dentro dos limites operacionais da empresa, mas que são geradas em fontes pertencentes ou controladas por outra entidade. As emissões ocorrem fisicamente no estabelecimento onde a eletricidade é produzida. Por exemplo, as emissões libertadas por uma central elétrica como resultado da utilização de eletricidade por edifícios administrativos de um governo local representam emissões indiretas desse mesmo governo local;
- âmbito 3 – é um tipo de avaliação facultativa que permite a quantificação de todas as outras emissões indiretas, isto é, todas as emissões indiretas de uma entidade, excluindo o âmbito 2 (ARB *et al.*, 2010; WRI & WBCSD, 2004). As emissões são uma consequência das atividades da empresa, mas que ocorrem em fontes que pertencem ou são controladas por terceiros. Alguns exemplos de atividades associadas a este âmbito são a extração e produção de materiais e combustíveis consumidos, o transporte de veículos não pertencentes ou controlados pela entidade, a utilização de produtos e serviços vendidos e a eliminação de RU.

Embora a quantificação das emissões do âmbito 3 ainda seja considerada facultativa, alguns estudos efetuados em municípios e estabelecimentos escolares têm identificado estas emissões como o principal contribuidor da Pegada de Carbono (Larsen & Hertwich, 2011, 2009; Larsen *et al.*, 2013; Ozawa-Meida *et al.*, 2013).

Para desenvolver uma gestão mais holística e relevante das emissões de carbono à escala da cidade, o âmbito 3 deve ser utilizado pelos protocolos existentes em conjunto com os âmbitos 1 e 2 (Kennedy *et al.*, 2011). A inclusão das emissões de GEE associadas ao âmbito 3 requer uma metodologia que defina de forma consistente os limites organizacionais do sistema para evitar a dupla contagem (Larsen & Hertwich, 2009; WRI & WBCSD, 2004).

De acordo com o Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004), a dupla contagem ocorre quando duas ou mais entidades distintas incluem as mesmas emissões de GEE, nos mesmos âmbitos, nos seus respetivos inventários de emissões ou quando uma entidade contabiliza, em âmbitos diferentes, as mesmas emissões no seu respetivo inventário de emissões. De forma a evitar a dupla contagem, as entidades distintas devem incluir as mesmas emissões em âmbitos diferentes. Por exemplo, as emissões associadas ao consumo de eletricidade relatadas por um governo local como âmbito 2, também podem ser relatadas como emissões do âmbito 1 pela entidade que produz a eletricidade. Por isso, os âmbitos 1 e 2 devem ser contabilizados separadamente (ARB *et al.*, 2010).

O mesmo também se aplica ao âmbito 3, ou seja, as emissões do âmbito 3 de uma entidade, podem ser também as emissões dos âmbitos 1 ou 2 de outra entidade. Além disso, diferentes entidades podem identificar a mesma fonte de emissão como âmbito 3. Por exemplo, tanto uma entidade fabricante de um produto como uma entidade consumidora desse mesmo produto pode reportar as emissões associadas à extração da matéria-prima do produto como âmbito 3. Posto isto, todos os âmbitos devem ser contabilizados separadamente, em particular, as emissões do âmbito 3 não devem ser agregadas entre entidades (ARB *et al.*, 2010).

Definindo os limites organizacionais de uma cidade é possível identificar as emissões que ocorrem dentro ou fora das suas fronteiras geográficas e, assim estabelecer, de forma separada, quais as emissões que fazem parte do âmbito 3. Desta forma a dupla contagem é evitada. Para Larsen & Hertwich (2009), o conceito da Pegada de Carbono deve definir geograficamente a população (cidade ou município) ou a atividade (por exemplo, a prestação de serviços municipais)

geradora das emissões de GEE a quantificar, independentemente se as emissões ocorrem dentro ou fora das suas fronteiras geográficas.

Na figura 2.1 estão ilustrados os limites de uma cidade, diferenciando as emissões que ocorrem dentro (âmbito 1) e fora (âmbito 3) da cidade e a utilização de energia elétrica (âmbito 2) que pode ou não cruzar as fronteiras estabelecidas para o inventário. O contorno a *bordeaux* representa o limite do inventário de emissões (inclui os âmbitos 1, 2 e 3), a verde a fronteira geográfica da cidade (inclui o âmbito 1) e a azul a energia fornecida a partir de rede regional (inclui o âmbito 2).

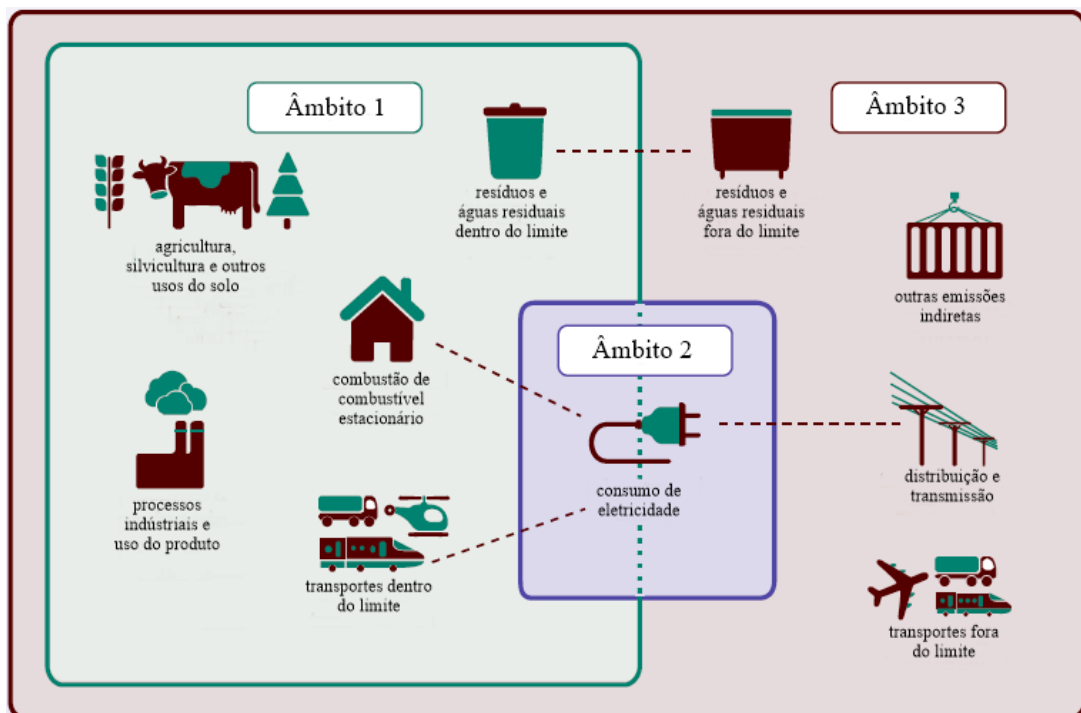


Figura 2.1 – Fontes e limites de emissões de uma cidade (adaptado de WRI *et al.*, 2014).

2.3 Metodologias do cálculo da Pegada de Carbono

De forma a quantificar a Pegada de Carbono é necessário verificar se as emissões provêm da utilização de produtos ou de atividades de entidades. Assim, o cálculo da Pegada de Carbono pode ser abordado, metodologicamente, por dois rumos diferenciados:

- a Análise de Processos (AP) é um método *bottom-up* que foi concebido para compreender os impactes ambientais de produtos individuais do “berço ao túmulo”, isto é, considerando todo o ciclo de vida de um determinado produto, desde a sua produção à sua deposição (Wiedmann & Minx, 2007). Este método baseia-se na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto e, deste modo, sofre de um problema no limite do seu sistema: os impactes analisados são apenas no local, a maioria de primeira ordem (Lenzen, 2001 *in* Wiedmann & Minx, 2007). Além disso, este método levanta novas questões sobre a padronização da recolha de dados; se diferentes municípios ou cidades escolherem diferentes formas de recolha de dados para o inventário de GEE, o resultado não será comparável. Ainda, a recolha normalmente é demorada, o que torna difícil a execução numa base anual. Assim, se um inventário de GEE não tem possibilidade de ser comparado externamente (com outros municípios) ou internamente (de ano para ano), o seu valor é limitado (Larsen & Hertwich, 2009);
- a Análise Ambiental *Input-Output* (AAIO) é um método que fornece uma abordagem *top-down* ao cálculo da Pegada de Carbono. O método consiste em tabelas *input-output* que apresentam as atividades económicas ao nível do setor em combinação com dados ambientais que possam ser utilizados para estabelecer estimativas da Pegada de Carbono de uma forma abrangente, tendo em conta todos os impactes de ordem superior e definindo o sistema económico como limite (Wiedmann & Minx, 2007). Contudo, esta integridade vem em detrimento do detalhe. A adequação desta análise a produtos é bastante limitada, uma vez que assume homogeneidade de preços, *outputs* e emissões de carbono ao nível setorial. Neste contexto, pode ser facilmente calculada, por meio de uma análise *input-output*, a Pegada de Carbono dos setores industriais, empresas individuais, grandes grupos de produtos, famílias, organizações, governos, entre outros (Wiedmann & Minx, 2007).

Uma metodologia que combina a AAIO e a ACV tem sido desenvolvida por vários autores para compensar as debilidades e unir os pontos fortes de ambos os métodos (Matthews *et al.*, 2008; Minx *et al.*, 2008; Strømman & Solli, 2008). Esta análise

híbrida que combina os dois métodos é adequada para enfrentar os desafios da introdução das emissões de GEE do âmbito 3, isto é, a dupla contagem (Minx *et al.*, 2008).

Atualmente existem algumas metodologias de cálculo da Pegada de Carbono para entidades. Entre elas, o Guia para Inventários Nacionais de GEE (IPCC, 2006), o Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004), o Protocolo de Operações do Governo Local (ARB *et al.*, 2010), a normativa ISO 14064 (ISO, 2006) e o Guia para Inventário de GEE (EPA, 2016a). As metodologias para o cálculo da Pegada de Carbono variam dependendo da sua finalidade, da disponibilidade de dados e dos limites de medição impostos (Wiedmann & Minx, 2007).

2.3.1 Guia para Inventários Nacionais de GEE

O Guia para Inventários Nacionais de GEE (IPCC, 2006) foi concebido através de um guia elaborado em 1996 pelo IPCC. Estas novas orientações abrangem novas fontes e GEE, bem como alterações dos métodos previamente publicados, onde o conhecimento técnico e científico tem melhorado. Este Guia ajuda os países a elaborar inventários nacionais completos de GEE. O guia foi estruturado de modo a que qualquer país, independentemente da sua experiência ou recursos, seja capaz de produzir estimativas confiáveis das suas emissões e remoções desses gases. Em particular, os valores padrão dos vários parâmetros e fatores de emissão necessários para elaborar o inventário são fornecidos para todos os setores, de modo a que, na sua forma mais simples, um país só necessite de fornecer dados das atividades nacionais (IPCC, 2006).

Na metodologia, o guia não se refere ao consumo de energia elétrica, apenas menciona fontes estacionárias que se referem à queima de combustíveis para a sua produção. A estimativa das emissões de cada GEE, em geral, é calculada multiplicando o consumo de combustível utilizado na produção de eletricidade, em TJ, pelo correspondente fator de emissão, em kg CO₂/TJ (IPCC, 2006). Assim, aplicando o método às emissões de CO₂ tem-se a seguinte equação (equação 2.1):

Equação 2.1

$$\text{Emissões } CO_2 = \text{consumo de combustível} \times \text{fator de emissão}$$

2.3.2 Protocolo de GEE

O Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004) é a ferramenta de quantificação de emissões de GEE mais utilizada internacionalmente pelos líderes governamentais e empresariais para entender, quantificar e gerir as suas emissões de GEE. As normas e as diretrizes deste protocolo foram concebidas, tendo em conta os seguintes objetivos (WRI & WBCSD, 2004):

- ajudar as empresas a preparar o inventário de emissões de GEE, que represente um registo justo e verdadeiro das suas emissões, através da utilização de princípios e abordagens padronizadas;
- fornecer às áreas de negócios informações necessárias para a construção de uma estratégia eficaz na gestão e redução das emissões de GEE;
- fornecer a informação necessária de maneira a facilitar a participação em programas voluntários e obrigatórios de GEE;
- aumentar a conformidade e transparência dos registos e relatórios de GEE, entre as várias empresas e programas de GEE.

No *web site* do protocolo, <http://www.ghgprotocol.org/>, há várias ferramentas de cálculo disponíveis, sendo que todas elas são consistentes com as ferramentas propostas pelo Guia para Inventários Nacionais de GEE (IPCC, 2006). Entre as várias ferramentas disponíveis, inclui-se o documento para o cálculo das emissões indiretas de CO₂ a partir do consumo de eletricidade, calor e/ou vapor (WRI & WBCSD, 2007). Esta é uma ferramenta intersectorial que deve ser aplicada por todas as entidades responsáveis pelas operações que envolvem o consumo da compra de eletricidade, calor e/ou vapor.

Esta ferramenta é fundamentada na metodologia baseada no fator de emissão, que é o método mais adequado e prático para calcular as emissões associadas ao consumo de energia elétrica, calor e/ou vapor adquiridos (WRI & WBCSD, 2007). A

metodologia baseada no fator de emissão estima as emissões de GEE através da multiplicação dos dados de uma atividade, neste estudo de caso a eletricidade consumida em kWh, por um fator de emissão associado à atividade em estudo, neste caso em toneladas de CO₂/kWh. Visto isto, o método de cálculo das emissões de CO₂ disponibilizado por esta ferramenta do Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004) é dado pela equação 2.2.

Equação 2.2

$$\text{Emissões } CO_2 = \text{dados da atividade} \times \text{fator de emissão}$$

2.3.3 Protocolo de Operações do Governo Local

O Protocolo de Operações do Governo Local (ARB *et al.*, 2010) é projetado para fornecer um conjunto padronizado de orientações para auxiliar os governos locais na quantificação das suas emissões de GEE. O protocolo foi desenvolvido em parceria pela *California Air Resources Board* (ARB), pela *California Climate Action Registry* (CCAR) e pelo *Local Governments for Sustainability* (ICLEI) em colaboração com o *The Climate Registry* (TCR) e dezenas de partes interessadas. O protocolo fornece os princípios, a abordagem, a metodologia e os procedimentos necessários para desenvolver um inventário de emissões de GEE das operações que dizem respeito ao governo local (ARB *et al.*, 2010).

A metodologia do cálculo das emissões indiretas de CO₂ associadas ao consumo de energia elétrica disponibilizada por este protocolo é a mesma metodologia do Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004), onde se efetua a multiplicação do consumo de eletricidade por um fator de emissão associado a esse consumo (ARB *et al.*, 2010).

2.3.4 *The Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*

O WRI, o C40 *Cities Climate Leadership Group* (C40) e o ICLEI em colaboração com o Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004), elaboraram o relatório “The Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories” (GPC) adaptado a cidades (WRI *et al.*, 2014). O protocolo ajustado às cidades e aos governos locais oferece um procedimento vigoroso, transparente e globalmente aceite para identificar, calcular e reportar as emissões de GEE geradas pelas cidades. Este estabelece uma contabilidade credível das emissões e práticas de comunicação, que ajudem as cidades a desenvolver uma linha-base de emissões, metas de redução, bem como criar planos de ação do clima. Com este documento, essas cidades têm um padrão global para acompanhar o desempenho dos GEE e liderar o caminho para um futuro mais sustentável (WRI *et al.*, 2014).

As metodologias de cálculo das emissões de GEE definem as fórmulas e os parâmetros necessários para a sua realização: dados das atividades que originam emissões e fatores de emissão para determinar as emissões totais das atividades de interesse. As cidades devem escolher as metodologias mais adequadas com base na finalidade do seu inventário, na disponibilidade de dados e consoante a consistência dos inventários nacionais do seu país e/ou um programa no qual participem (WRI *et al.*, 2014), ou seja, o que varia na metodologia é a forma como são obtidos os dados da atividade e os fatores de emissão.

Tendo em conta que o GPC (WRI *et al.*, 2014) é baseado no Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004), as metodologias de cálculo referidas neste relatório também são consistentes com as do Guia para Inventários Nacionais de GEE (IPCC, 2006). Nalgumas atividades, as cidades são capazes de calcular as suas emissões de GEE através de medição direta. No entanto, para a maioria das fontes de emissões é necessário calcular as emissões de GEE através da multiplicação dos dados de uma atividade por um fator de emissão associado à atividade em estudo (WRI *et al.*, 2014). É possível verificar que este protocolo disponibiliza uma metodologia de cálculo consistente com os protocolos anteriormente apresentados.

2.3.5 Normativa ISO 14064

A normativa ISO 14064 está dividida em três partes. A primeira parte da ISO 14064 (ISO, 2006) detalha os princípios e normas para a conceção, desenvolvimento, gestão e elaboração de inventários de GEE de uma organização ou de uma empresa. Esta inclui requisitos para a determinação dos limites de emissão de GEE, quantificando as emissões e remoções de GEE de uma organização. A segunda parte da normativa foca-se em projetos de GEE ou atividades baseadas em projetos especificamente destinados a reduzir as emissões de GEE. Esta inclui princípios e requisitos para determinar cenários de referência e para monitorização, quantificando e reportando projetos de desempenho em relação ao cenário de referência e fornece a base para projetos de GEE serem validados e verificados. A ISO 14064-3, terceira parte, detalha princípios e normas para a verificação e validação de inventários de GEE.

2.3.6 Guia para Inventário de GEE

O Guia para Inventário de GEE (EPA, 2016a) da autoria da *United States Environmental Protection Agency* (EPA) é baseado no Protocolo de GEE (WRI & WBCSD, 2004) e tem como objetivo aplicar metodologias mais específicas para cada âmbito, incluindo o documento para emissões indiretas provenientes da compra de eletricidade (EPA, 2016a).

O método de cálculo das emissões indiretas provenientes da compra de eletricidade disponibilizado por este documento é multiplicando a eletricidade adquirida por um fator de emissão apropriado (EPA, 2016a). O método de cálculo das emissões é novamente o mesmo apresentado pelos documentos acima.

2.4 Exemplos de estudos referentes à Pegada de Carbono

Em seguida são apresentados alguns estudos já realizados relativos ao cálculo da Pegada de Carbono. Os estudos revistos na bibliografia são sobre as atividades associadas a municípios, escolas, entre outras entidades.

No estudo realizado pelo GAP *et al.* (2006) estimou-se, através de uma AAI0, que todas as escolas do Reino Unido têm uma Pegada de Carbono de cerca de 9,2 milhões de toneladas de CO₂ por ano. Este valor representa 1,32 % do total de emissões do Reino Unido. As emissões produzidas pelo consumo de eletricidade representam cerca de 22 % do total de emissões deste estudo. Segundo consta no relatório do estudo, o setor escolar tem potencial para desempenhar um papel significativo na redução de emissões de carbono pelas TIC. O consumo de energia pelos computadores nas escolas já duplicou nos últimos cinco anos (GAP *et al.*, 2006).

Foi em Barcelona que se realizou um dos primeiros estudos na contabilização de emissões de carbono numa cidade, entre 1987 e 1996 (Baldasano *et al.*, 1999). Neste estudo, foram estimadas as emissões de CO₂ e CH₄ (embora em quantidades bastante pequenas), utilizando como metodologia uma AP, a partir de atividades relacionadas com o homem. O consumo de eletricidade neste período de tempo foi de cerca de 13 % do total de emissões de CO₂ libertadas na cidade. Embora este setor não seja aquele que emite as maiores concentrações de carbono, os dados recolhidos para o consumo de eletricidade mostram um aumento gradual, mas constante, de ano para ano. Segundo Baldasano *et al.* (1999), a principal fonte de emissões em Barcelona foi o tráfego de veículos, maioritariamente de veículos privados, onde se atingiram cerca de 34 % do total de emissões de CO₂.

Num estudo realizado na Tailândia, em Bangkok, que representa 9 % da população do país, utilizou-se um modelo designado “The Long-range Energy Alternatives Planning System” (LEAP). Estimou-se que a utilização de eletricidade libertou cerca de 13 % das emissões de carbono emitidas pelo consumo total de energia em 2005 (Phdungsilp, 2010). O gásóleo e a gasolina são os setores da energia que mais CO₂ emitem, estimando-se cerca de 32 % e 28 % de emissões, respetivamente, do

total de energia consumida nesse ano (Phdungsilp, 2010). Assim, com este estudo, observou-se que os transportes são aqueles que mais contribuem para a libertação de CO₂ em Bangkok. A análise de um cenário com produção de energia elétrica através de fontes renováveis mostra que é possível reduzir significativamente as emissões de CO₂ (Phdungsilp, 2010).

Os resultados de um outro estudo realizado entre 2000 e 2009 no município de Chongqing, na China (Tan *et al.*, 2014), indicaram que entre 2004 e 2009 houve um aumento contínuo nas emissões de carbono libertadas. As emissões de CO₂ em 2009 cresceram 103,2 % em relação a 2003 e, entre 2000 e 2009, a taxa de crescimento anual de emissões da cidade foi de 5,5 %. O setor da indústria é o maior contribuinte de emissões de CO₂, geradas pela queima de combustíveis fósseis, na cidade de Chongqing, em que uma das finalidades é a produção de energia elétrica. De acordo com o estudo realizado por Tan *et al.* (2014), em 2009, a queima de combustíveis fósseis correspondeu a 73,9 % do total de emissões de CO₂ do município. O Guia para Inventários Nacionais de GEE fornecido pelo IPCC (IPCC, 2006) foi utilizado neste estudo.

Um estudo realizado por Larsen & Hertwich (2009) utilizou um método de AAIO para calcular a Pegada de Carbono dos serviços municipais da cidade de Trondheim, na Noruega, modificando a metodologia na contabilização das emissões indiretas para evitar a dupla contagem. As emissões diretas registaram apenas 7 % do total de emissões de carbono destes serviços, sendo que as emissões indiretas estimadas foram de 93 % (Larsen & Hertwich, 2009). A compra de eletricidade (âmbito 2) representa 8 % do total de emissões de GEE. De acordo com a análise efetuada neste estudo, a compra de energia elétrica para as escolas constitui uma das principais atividades, no âmbito 2, que emitem GEE no município, indicando, assim, um possível potencial de redução do consumo de energia elétrica nos edifícios escolares (Larsen & Hertwich, 2009).

Outro estudo realizado também por Larsen & Hertwich (2011) no condado de Sogn og Fjordane, na Noruega, volta a mostrar que as emissões indiretas nos serviços do condado são aquelas que representam maiores emissões de GEE, principalmente do âmbito 3. A metodologia aplicada foi uma AAIO desenvolvida pelos próprios

autores. A aplicação desta metodologia no condado para o ano de 2008 estimou que a Pegada de Carbono atingiu quase 57.000 toneladas de CO₂ equivalente. O estudo releva que a compra de energia elétrica por parte da autarquia (âmbito 2) apresentou cerca de 3.000 toneladas de CO₂ equivalente, o que corresponde a aproximadamente 5,3 % do total de emissões calculadas no condado (Larsen & Hertwich, 2011). Mais uma vez, o âmbito 3, ou seja, as restantes emissões indiretas, têm um peso bastante elevado a nível regional, atingindo neste estudo quase 94 % da Pegada de Carbono. Assim, evidencia-se uma enorme importância na inclusão do âmbito 3 no cálculo da Pegada de Carbono (Larsen & Hertwich, 2011).

Na Universidade de Ciências e Tecnologias da Noruega, a segunda maior do país, para estudar a Pegada de Carbono, também foi aplicada uma AAIIO (Larsen *et al.*, 2013). A Pegada de Carbono total da universidade foi de 92.000 toneladas de CO₂ equivalente no ano 2009, incluindo as emissões provenientes de todas as atividades operacionais. O elemento que mais contribuiu para a Pegada de Carbono estimada foi a eletricidade, com aproximadamente 14 % do total de emissões de GEE libertadas (Larsen *et al.*, 2013). De acordo com Larsen *et al.* (2013), a elevada contribuição de emissões indiretas (âmbito 3) neste estudo, revela a necessidade de incluir este segmento no inventário de emissões para que seja possível obter uma Pegada de Carbono completa.

Um estudo realizado na Universidade De Montfort adotou uma metodologia baseada na AAIIO combinada com dados da ACV disponíveis, de forma a possibilitar o cálculo de todos os âmbitos da Pegada de Carbono. As emissões totais de GEE produzidas pelas atividades da universidade no ano letivo 2008/09 foram de 51.080 toneladas de CO₂ equivalente (Ozawa-Meida *et al.*, 2013). No que diz respeito à utilização de energia, segundo o estudo, foi o setor que mais emissões libertou. As emissões provenientes deste setor corresponderam a 34 % do total da Pegada de Carbono estimada, onde o consumo de eletricidade é um dos elementos que mais contribui para as emissões do setor da energia. Mais uma vez as emissões do âmbito 3 revelaram-se significantes na quantificação da Pegada de Carbono da Universidade De Montfort, contribuindo para cerca de 79 % do total de emissões estimadas.

Num estudo realizado em Portugal foi calculada a Pegada Ecológica da Universidade do Algarve, onde se incluiu a quantificação das emissões de carbono associadas à mobilidade dos veículos no Campus de Gambelas, em 2013 (Nunes *et al.*, 2013). O objetivo do estudo foi fazer uma análise de incerteza da Pegada Ecológica calculada em várias universidades, de forma a perceber se é possível comparar Pegadas Ecológicas com diferentes parâmetros associados. Os resultados mostraram um total de 160,5 toneladas de CO₂. Este valor representou entre 41 a 41,9 % da Pegada Ecológica calculada no Campus de Gambelas (Nunes *et al.*, 2013).

Na tabela 2.1, de forma sintetizada, estão representados os principais estudos mencionados no presente trabalho.

Tabela 2.1 – Resumo dos principais estudos mencionados no presente trabalho.

Fonte	Objetivos do estudo	Tipos de GEE	Metodologia aplicada	Principais resultados obtidos
GAP <i>et al.</i> (2006).	Providenciar orientações de boas práticas nas escolas.	CO ₂ .	AAIO.	O consumo de eletricidade representa cerca de 22 % do total de emissões.
Baldasano <i>et al.</i> (1999).	Calcular a Pegada de Carbono de várias atividades de Barcelona.	CO ₂ e CH ₄ .	AP.	O consumo de eletricidade representa 13 % do total de emissões.
Phdungsilp (2010).	Opções de energia e desenvolvimento de carbono em Bangkok.	CO ₂ .	Modelo LEAP.	O consumo de eletricidade representa 13 % do total de emissões.
Tan <i>et al.</i> (2014).	Estabelecer um modelo de análise que integra a situação presente e a análise dos fatores que a influenciam.	CO ₂ .	Guia para Inventários Nacionais de Gases com Efeito de Estufa (IPCC, 2006).	As emissões de CO ₂ em 2009 cresceram 103,2 % em relação a 2003. A queima de combustíveis fósseis correspondeu a 73,9 % do total de emissões.

Tabela 2.1 (continuação) – Resumo dos principais estudos mencionados no presente trabalho.

Fonte	Objetivos do estudo	Tipos de GEE	Metodologia aplicada	Principais resultados obtidos
Larsen & Hertwich (2009).	Apresentação de desafios no desenvolvimento de um inventário de emissões de GEE associadas à prestação de serviços municipais.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O e CO.	Metodologia que combina a AAIO e a ACV.	As emissões do âmbito 2 correspondem a 8 % do total de emissões. O âmbito 3 representa 85 %.
Larsen & Hertwich (2011).	Investigação da Pegada de Carbono resultante das atividades no condado de Sogn og Fjordane.	CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O.	Metodologia que combina a AAIO e a ACV.	As emissões do âmbito 2 correspondem a 5,3 % do total de emissões. O âmbito 3 representa 94 %.
Larsen <i>et al.</i> (2013)	Cálculo da Pegada de Carbono da Universidade de Ciências e Tecnologias da Noruega.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO, HFC, PFC e SF ₆ .	Metodologia que combina a AAIO e a ACV.	A eletricidade foi o elemento que mais contribuiu para a Pegada de Carbono, com 14 % do total de emissões.
Ozawa-Meida <i>et al.</i> (2013).	Estudo da Pegada de Carbono associada à Universidade De Montfort.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO, HFC, PFC e SF ₆ .	Metodologia que combina a AAIO e a ACV.	A energia foi o setor que mais contribuiu para a Pegada de Carbono, correspondendo a 34 % do total de emissões.

2.5 Medidas de redução do consumo de energia elétrica

Tal como já foi referido acima, a UE instou os Estados-Membros a alcançarem uma redução das emissões de GEE em 20 % até 2020 face aos valores de 1990 (UE, 2016). Com isto, surge o Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES) que deve ser implementado pelos municípios de forma a cumprir esta meta. O Guia do PAES (Comissão Europeia, 2010), desenvolvido pelo JRC em colaboração com a Direção-Geral da Energia e dos Transportes ambos da Comissão Europeia e pelo Pacto de Autarcas, providencia recomendações para que se possa implementar este plano ao nível local e dentro das capacidades da autarquia em questão, concentrando as medidas na redução das emissões de CO₂ e do consumo final de energia (Comissão Europeia, 2010). Em Portugal já aderiram ao PAES 114 municípios (ANMP, n.d.). Posteriormente surgiu o Plano de Ação para a Energia Sustentável e o Clima (PAESC) de modo a cumprir com a meta de redução das emissões de GEE em 40% até 2030 (UE, 2016). O Guia para a apresentação dos resultados do Pacto de Autarcas para o Clima e Energia desenvolvido pelo Pacto de Autarcas em colaboração com o JRC da Comissão Europeia pretende orientar os signatários no processo de desenvolvimento e comunicação dos resultados (Neves *et al.*, 2016).

A produção, compra e o posterior consumo de energia elétrica por parte dos governos locais são uma das principais causas da libertação de GEE para a atmosfera (ARB *et al.*, 2010).

As medidas de redução de energia elétrica podem ser aplicadas na sua distribuição ou no seu consumo final (Pasquier & Heffner, 2012). Na presente dissertação, as medidas sugeridas focam-se na redução do consumo final de energia elétrica da responsabilidade da autarquia.

Há cinco formas de poupar eletricidade no seu consumo final (Pasquier & Heffner, 2012): alteração de preços, mudança de comportamento, substituição da tecnologia existente, racionamento e mecanismos de mercado. Estas medidas de redução do consumo de eletricidade devem ser utilizadas em simultâneo para atingir uma maior eficiência energética. No entanto, para tornar possível a implementação destas medidas é necessário alguns pré-requisitos (anexo A). Neste estudo sugerem-se

medidas de mudança de comportamento, visto que é possível alcançar os indivíduos que ocupam e utilizam as instalações e os respetivos equipamentos elétricos a cargo da autarquia e a substituição da tecnologia existente nas instalações da autarquia por tecnologia mais eficiente.

2.5.1 Medidas de mudança de comportamento

A educação ambiental tem um papel base na compreensão das mudanças que os indivíduos alvo têm de adotar no seu comportamento e para que estes estejam dispostos a tal. A CML foca-se atualmente na educação ambiental nas escolas (CML, n.d.a), embora também seja necessário formação contínua referente às componentes da educação e sensibilização ambiental para os trabalhadores em regime de funções públicas, bem como para os munícipes. De acordo com a avaliação efetuada na participação da CML no projeto “Município Eco XXI” em 2016 na qual foi galardoada com o primeiro prémio obtendo um índice Eco XXI de 86,6 %, entre os 21 indicadores analisados, a educação ambiental teve um valor de 2,5 em 5,5 possíveis (CML, n.d.b), mostrando que a autarquia ainda pode melhorar neste indicador.

As medidas de mudança de comportamento têm sido cada vez mais utilizadas nos últimos anos pela administração pública (Canfora *et al.*, 2015). De acordo com Pasquier & Heffner (2012), a experiência mostra que as medidas de mudança de comportamento dos consumidores de energia elétrica podem atingir grandes poupanças de energia. O facto de serem medidas de fácil criação, rápida e ampla aplicação e de baixo custo (Canfora *et al.*, 2015; Pasquier & Heffner, 2012), visto que os ocupantes têm controlo direto no manuseamento dos equipamentos, pode levar toda a administração pública a obter reduções no seu consumo de energia. Contudo, a autarquia também tem um papel chave nesta questão, pois as reduções do consumo de energia elétrica dependem não só a nível individual mas também das atitudes da entidade gestora em questão (Staddon *et al.*, 2016), neste estudo de caso a CML.

O governo central do Reino Unido, em maio de 2010, definiu como objetivos reduzir a sua Pegada de Carbono em 10 % num ano e em 25 % até 2015 (data.gov.uk, 2011). A campanha definiu como alvos 3.000 edifícios públicos e 300.000 trabalhadores civis que mudaram os seus comportamentos. Em maio de 2011, o governo reduziu a sua Pegada de Carbono em 104.532 t CO₂, salvando um total de 13,8 % relativamente a 2010, o que corresponde a cerca de 238.000.000 kWh de eletricidade poupada (data.gov.uk, 2011). Segundo o estudo, esta poupança foi alcançada, em grande parte, por duas ações principais: alteração dos *settings* dos equipamentos elétricos e mudança de comportamento dos indivíduos que fizeram parte desta campanha, como por exemplo, desligando a iluminação e equipamentos elétricos quando desnecessários.

De acordo com um relatório da Agência Europeia do Ambiente (EEA) (2013), a literatura revista no documento mostra que é possível alcançar até 20 % de poupança no consumo de energia elétrica através de mudanças de comportamento. O intervalo das reduções do consumo de energia dos vários estudos analisados varia entre os 5 e os 20 %, onde a maioria dos estudos alcançou reduções na ordem dos 10 % (EEA, 2013).

As medidas de mudança de comportamento que devem ser transmitidas aos consumidores da autarquia dependem do tipo de instalação/edifício e dos respetivos equipamentos elétricos. De forma a alcançar uma gestão mais eficiente destes equipamentos, as medidas nas mudanças de comportamento incluem:

- alteração do *setting* dos termóstatos, seja para aquecimento ou arrefecimento, de forma a diminuir o seu consumo (Pasquier & Heffner, 2012). Por exemplo, em vez de colocar o sistema AVAC para arrefecer a 20°C, colocar a 25°C desde que se mantenha o conforto, reduzindo, assim, o consumo de eletricidade;
- evitar ter o sistema AVAC ligado com as janelas ou portas abertas (EnerBuilding.eu, 2008);
- efetuar com regularidade a limpeza das lâmpadas, refletores e difusores para que estes mantenham a sua eficácia (EnerBuilding.eu, 2008; Lopes *et al.*, 2013);

- manter as entradas de luz natural devidamente desobstruídas (EnerBuilding.eu, 2008; Lopes *et al.*, 2013);
- desligar a iluminação sempre que desnecessária (CML, 2016; Pasquier & Heffner, 2012);
- reduzir os consumos de *stand by* das TIC, desligando completamente os equipamentos após a sua utilização (EnerBuilding.eu, 2008);
- retirar o cabo de alimentação dos equipamentos de refrigeração da tomada, em casos em que estes não sejam utilizados durante um determinado período de tempo (Pasquier & Heffner, 2012). Por exemplo, durante o encerramento de uma escola no verão, visto que os equipamentos de refrigeração não serão utilizados nesse período, estes podem ser desconectados da corrente elétrica para poupar energia;
- o indivíduo responsável por encerrar determinada instalação, no fim do dia, deve encarregar-se de que todos os equipamentos elétricos e iluminação estão devidamente desligados (Canfora *et al.*, 2015). O mesmo deve ser efetuado em períodos de férias.

2.5.2 Substituição da tecnologia existente

A substituição da tecnologia existente por tecnologia mais eficiente pode levar mais tempo a implementar do que a mudança no comportamento, mas proporcionam reduções de energia elétrica mais sustentáveis (Pasquier & Heffner, 2012).

As medidas de substituição da tecnologia já comprovadas incluem (Pasquier & Heffner, 2012):

- implementação de iluminação com maior eficiência energética: substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas fluorescentes e lâmpadas equipadas com tecnologia *Light Emitting Diode* (LED). É necessário um plano de deposição das lâmpadas antigas que contenham substâncias perigosas;
- substituição de equipamentos antigos por equipamentos novos com tecnologia mais eficiente, por exemplo, frigoríficos, semáforos ou TIC;

- ajuste, quando possível, do equipamento de forma a torná-lo mais eficiente;
- instalação de dispositivos de controlo de carga nos equipamentos que necessitem.

Os principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica nos edifícios de serviços são os sistemas AVAC e a iluminação, estando estes associados às exigências de conforto térmico e visual (EnerBuilding.eu, 2008). Neste trabalho, as medidas sugeridas na substituição da tecnologia atualmente instalada por tecnologia mais eficiente incidem na substituição da iluminação existente nas instalações da autarquia.

Uma das utilizações finais de eletricidade em que a substituição do equipamento existente por outro energeticamente mais eficiente é compensatória, em termos económicos e de conforto, é a iluminação (EnerBuilding.eu, 2008).

Existem várias tecnologias de iluminação:

- lâmpadas incandescentes;
- lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (fluorescentes);
- lâmpadas com tecnologia LED;
- lâmpadas de descarga de alta intensidade – vapor de mercúrio de alta pressão, iodetos metálicos e vapor de sódio de alta pressão.

Com o objetivo de reduzir a Pegada de Carbono da autarquia é necessário verificar três indicadores importantes na decisão de que tipo de tecnologia substituirá as existentes: a eficiência luminosa, o tempo de vida útil e o custo de aquisição. A eficiência luminosa, indicador que representa a eficiência energética das diferentes tecnologias de iluminação, é calculada em lúmen/Watt (lm/W) e expressa a quantidade de energia, isto é, a potência (Watt) necessária para emitir determinada quantidade de luz – fluxo luminoso (lúmen) (Canfora *et al.*, 2015). Assim, uma lâmpada é mais eficiente que outra quando necessita de menos energia para gerar o mesmo fluxo luminoso. O tempo de vida útil da lâmpada e o seu custo de aquisição permitem verificar se o investimento inicial é compensatório, visto que se espera diminuir a quantidade de eletricidade consumida através de tecnologia mais eficiente, permitindo reduzir o valor da fatura da autarquia ao longo desse tempo.

2.5.2.1 *Lâmpadas incandescentes*

Este tipo de lâmpadas foi o primeiro equipamento produzido a utilizar energia elétrica para iluminação e foi comercializado pela primeira vez em 1879 por Thomas Edison (Comissão Europeia, 2009). Uma lâmpada incandescente produz luz a partir de uma corrente elétrica que atravessa um filamento de tungsténio, aquecendo-o até ficar incandescente. Devido a isto, as lâmpadas incandescentes dissipam cerca de 90 % da sua energia em forma de calor, tornando-as no tipo de iluminação menos eficiente (ENERGY STAR, n.d.a). Para além desta grande desvantagem, este tipo de lâmpadas também tem um curto tempo de vida útil e a sua manutenção é mais dispendiosa do que os mais recentes tipos de iluminação, como as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LED (DOE, n.d.).

Embora menos eficientes, as lâmpadas incandescentes têm as vantagens do seu custo de aquisição ser, geralmente, o mais baixo e de emitirem luz instantaneamente e, portanto, não necessitam de balastro (DOE, n.d.).

As lâmpadas de halogéneo são um tipo de lâmpadas incandescentes com muito menor tamanho relativamente às primeiras lâmpadas incandescentes, projetadas para serem mais eficientes. Esta lâmpada contém uma cápsula com halogéneo em volta do filamento de tungsténio de forma a aumentar a eficácia da incandescência (Comissão Europeia, 2009; DOE, n.d.). O seu custo de aquisição é mais elevado relativamente às lâmpadas incandescentes convencionais, mas a sua manutenção é menos dispendiosa devido à maior eficiência e tempo de vida útil (DOE, n.d.).

No enquadramento dos objetivos energéticos e climáticos da UE para 2020, devido à fraca eficiência luminosa destes tipos de lâmpadas, iniciou-se em setembro de 2009 a sua descontinuação no mercado da UE, incluindo Portugal. As primeiras lâmpadas retiradas foram as incandescentes, posteriormente as lâmpadas de halogéneo até Setembro de 2016 (Comissão Europeia, 2009).

Com o fim da comercialização das lâmpadas incandescentes, cerca de 8.000 milhões de lâmpadas instaladas nas casas, nos escritórios e nas ruas foram substituídas, ao

longo do tempo, por soluções de iluminação que garantem menor consumo – tecnologia LED (Comissão Europeia, 2017).

2.5.2.2 *Lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão*

As lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão, geralmente denominadas de lâmpadas fluorescentes, funcionam através de uma corrente elétrica conduzida por um tubo contendo árgon e uma pequena quantidade de vapor de mercúrio. Esta corrente gera uma luz ultravioleta invisível que excita um revestimento fluorescente, chamado fósforo, que cobre a superfície interior do tubo, convertendo eficientemente essa luz em luz branca visível (DOE, 2013a; ENERGY STAR, n.d.a; Philips, n.d.).

Quando uma lâmpada fluorescente é ligada precisa de um pouco mais de energia, mas quando a eletricidade começa a consumir-se e a lâmpada aquece, esta utiliza cerca de 70 % menos energia do que uma lâmpada incandescente (ENERGY STAR, n.d.a). Devido a isso, as lâmpadas fluorescentes requerem uma fonte de alimentação especial, chamada de balastro, necessária para regular a corrente de funcionamento da lâmpada e fornecer uma tensão de arranque compatível (DOE, 2013a; Philips, n.d.). Todo este processo demora entre 30 segundos a 3 minutos a completar-se, dependendo do equipamento, razão pela qual este tipo de tecnologia leva mais tempo a atingir a sua capacidade de iluminação máxima (ENERGY STAR, n.d.a).

Existem dois tipos de balastros, os magnéticos e os eletrónicos. Ambos cumprem a mesma função mas os balastros eletrónicos têm um melhor desempenho, pois funcionam a altas frequências, o que elimina a cintilação e o ruído, aumentando simultaneamente a eficiência (Philips, n.d.). Os balastros eletrónicos permitem desempenhar funções de *dimming* na lâmpada que controlam, que consiste na redução do fluxo luminoso (Canfora *et al.*, 2015; DOE, 2013a). Este tipo de equipamento também potencia o aumento de vida útil das lâmpadas (Canfora *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2013).

Os dois tipos de lâmpadas fluorescentes são as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas fluorescentes compactas. O que as distingue maioritariamente é o seu formato, sendo que as lâmpadas fluorescentes tubulares, em formatos reto, dobrado ou circular, podem ter os modelos T12, T8 ou T5 (DOE, 2013a) e as lâmpadas fluorescentes compactas, com menor comprimento do que as tubulares, foram concebidas para apresentarem forma similar às lâmpadas incandescentes (Lopes *et al.*, 2013), contendo o balastro incorporado nelas (Comissão Europeia, 2009). No caso da utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares deve-se optar pelo modelo T5, devido ao facto de apresentarem menor diâmetro, menores quantidades de mercúrio e maior eficiência luminosa (Lopes *et al.*, 2013).

Após o seu fim de vida é necessário tratar estas lâmpadas como um resíduo perigoso, visto que contêm mercúrio na sua composição e, devido a isso, podem provocar impactes ambientais negativos. De acordo com o Decreto-Lei n.º 79/2013, de 11 de junho, a concentração de mercúrio por lâmpada não pode exceder os 5 mg e para lâmpadas iguais ou superiores a 150 W não pode exceder os 15 mg por lâmpada. Geralmente em pequenas quantidades, cerca de 4 mg por lâmpada, o mercúrio pode ser libertado no ambiente quando a lâmpada se parte ou não é devidamente depositada no fim da sua vida útil (EPA, 2016b).

Reciclar as lâmpadas fluorescentes permite a reutilização de praticamente todos os seus componentes, como o vidro, os metais, incluindo o mercúrio, e outros materiais das lâmpadas fluorescentes (EPA, 2016c).

2.5.2.3 Lâmpadas com tecnologia LED

Os LED, que significam díodos emissores de luz, são dispositivos semicondutores que convertem energia elétrica diretamente em luz visível quando a corrente elétrica passa através deles (ENERGY STAR, n.d.b). Quando comparados com outras tecnologias de iluminação, os LED permitem atingir economias de energia e reduções nas faturas na ordem dos 70 % (Comissão Europeia, 2017).

As lâmpadas com tecnologia LED diferem de outros tipos de iluminação, como as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas incandescentes. Estas são mais eficientes, têm uma maior durabilidade, necessitam de pouca manutenção, são mais versáteis e o seu tempo de vida útil é mais elevado (Canfora *et al.*, 2015; DOE, 2013b; ENERGY STAR, n.d.b). Como não apresentam filamentos nem vidros na sua composição – tecnologia de estado sólido, as lâmpadas LED têm mais robustez e, portanto, uma maior durabilidade (Lopes *et al.*, 2013). Os produtos LED geralmente não queimam nem falham como os outros tipos de iluminação, sendo estimado o seu tempo de vida útil quando a saída do fluxo luminoso decresce 30 % (ENERGY STAR, n.d.b), podendo atingir uma média de tempo de vida útil até 50.000 horas (DOE, 2013c; Lopes *et al.*, 2013). Esta tecnologia está disponível para a maioria das aplicações em iluminação, desde lâmpadas para secretárias a luzes de alta potência para estádios desportivos (DOE, 2013b).

Para além destas características vantajosas, as fontes de luz LED também têm algumas desvantagens. Estes dispositivos são constituídos por material semicondutor avançado, tornando o seu custo de aquisição mais dispendioso do que as outras tecnologias (Lopes *et al.*, 2013); muitos municípios encontram dificuldades de financiamento devido a esta condição (Canfora *et al.*, 2015). Embora produzam menor calor relativamente a outros tipos de iluminação, pois não emitem radiação infravermelha, é necessário dispositivos de dissipação de calor que impeçam a lâmpada de sobreaquecer e queimar, absorvendo o calor produzido e dissipando-o no meio envolvente. Já que o fluxo luminoso emitido pelos LED degrada-se com o aumento da temperatura, a gestão térmica é provavelmente o fator mais importante no desempenho dos produtos LED ao longo do seu tempo de vida útil (ENERGY STAR, n.d.b; Lopes *et al.*, 2013).

As lâmpadas LED não necessitam de ser recicladas da mesma forma que as lâmpadas fluorescentes, isto é, como um resíduo perigoso, pois não possuem mercúrio na sua composição (Comissão Europeia, 2009; ENERGY STAR, n.d.c). Estas podem ser depositadas num contentor indiferenciado tal como as lâmpadas incandescentes. No entanto, alguns componentes dos LED podem ser reciclados (ENERGY STAR, n.d.c).

2.5.2.4 *Lâmpadas de descarga de alta intensidade*

Uma lâmpada de descarga de alta intensidade estabelece um arco elétrico, entre dois eletrodos, que produz um fluxo luminoso intenso. O gás condutor da lâmpada pode ser mercúrio, iodetos metálicos ou sódio. Por conseguinte, neste tipo de iluminação existem as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, as lâmpadas de iodetos metálicos e as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Devido ao intenso fluxo luminoso que produzem com uma alta eficiência luminosa, estas lâmpadas são geralmente utilizadas na iluminação exterior e em grandes áreas interiores (DOE, 2013d).

As lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão são o tipo de iluminação de descarga de alta intensidade mais antigo e era o mais utilizado na iluminação pública, onde têm perdido mercado para os iodetos metálicos e os LED (DOE, 2013d), visto que são o tipo de lâmpadas de descarga de alta intensidade mais ineficiente (Canfora *et al.*, 2015).

As lâmpadas de iodetos metálicos são idênticas às lâmpadas de vapor de mercúrio na construção e aparência. A adição de iodetos metálicos ao mercúrio dentro da lâmpada resulta numa maior emissão de luz, ou seja, numa maior eficiência luminosa (DOE, 2013d).

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão antigas podem apresentar baixa eficiência luminosa, pelo que devem ser substituídas por lâmpadas mais recentes ou lâmpadas com tecnologia LED (Canfora *et al.*, 2015).

Tal como as lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de descarga de alta intensidade também necessitam de balastro. Estas podem levar até 10 minutos para atingir a sua capacidade de iluminação máxima, dado que o balastro necessita de tempo para estabelecer o arco elétrico. Portanto, são adequadas em zonas que permaneçam acesas por horas num determinado momento, como é o caso da iluminação pública (DOE, 2013d).

Os LED estão transformando o mercado deste tipo de tecnologia, como nos estádios desportivos e na iluminação pública, porque acendem instantaneamente, o *dimming*

é mais fácil de aplicar e são mais simples de controlar (Canfora *et al.*, 2015; DOE, 2013d).

2.5.2.5 Principais características das lâmpadas

Após a revisão dos vários tipos de tecnologias de iluminação e de forma a optar-se por uma dessas tecnologias para substituir a iluminação existente nas instalações da autarquia, efetuou-se um levantamento do intervalo das suas eficiências luminosas e tempos de vida útil possíveis de encontrar no mercado. A tabela 2.2 apresenta essa informação.

Tabela 2.2 – Principais características dos diferentes tipos de tecnologias de iluminação (in Canfora *et al.*, 2015; Comissão Europeia, 2009; DOE, 2013c; Lopes *et al.*, 2013; Philips, 2017, 2016, n.d.).

Tipo de tecnologia	Eficiência luminosa (lm/W)	Tempo médio de vida útil (h)
Incandescente	10 – 20	750 – 2.500
Halogéneo	12 – 33	1.000 – 4.000
Fluorescente	50 – 92	6.000 – 20.000
LED	28 – 140	15.000 – 100.000
Vapor de mercúrio de alta pressão	34 – 70	10.000 – 20.000
Iodetos metálicos	62 – 115	5.000 – 30.000
Vapor de sódio de alta pressão	50 – 150	12.000 – 40.000

Observando a tabela 2.2, verifica-se que a utilização da tecnologia LED é vantajosa. Para além da grande eficiência luminosa que diminuirá o consumo de energia elétrica atual, também apresenta o maior tempo médio de vida útil relativamente às outras tecnologias, permitindo compensar o investimento inicial ao longo dos anos de utilização. O facto de serem as únicas lâmpadas que não apresentam mercúrio na sua composição é uma mais valia nesta opção, visto que não há risco de contaminação após o fim do seu tempo de vida útil.

2.5.2.6 *Deposição das lâmpadas antigas*

No processo de reciclagem das lâmpadas, estas são trituradas, limpas e tratadas em contentores pressurizados. Quando a lâmpada a ser reciclada contém substâncias perigosas, é necessário equipamentos próprios para efetuar a sua remoção. Em seguida, os restantes materiais – vidro, metais e plásticos são segmentados de acordo com as suas características (ERP Portugal, n.d.a).

É possível reutilizar o fósforo e o mercúrio, recuperados neste processo, no fabrico de novas lâmpadas. O vidro triturado pode ser reutilizado no revestimento interior de fornos ou, no caso de ser suficientemente puro, no fabrico de novas lâmpadas. Os restantes materiais são reciclados (ERP Portugal, n.d.a).

Os pontos de recolha para as lâmpadas são disponibilizados pelas entidades gestoras Amb3E e *European Recycling Platform* (ERP) Portugal. De acordo com a Amb3E, no município de Loulé, as ALGAR de Almancil, Quarteira e Albufeira/Boliqueime, os Bombeiros Municipais de Loulé e o aterro sanitário da Cortelha recolhem as lâmpadas que contêm mercúrio (Amb3E, n.d.). Os supermercados Pingo Doce e a loja *Worten* localizados em Loulé também são pontos de recolha dos equipamentos de iluminação (ERP Portugal, n.d.b).

A ALGAR receciona e encaminha para reciclagem, através da Amb3E, lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas, lâmpadas de descarga de alta intensidade e lâmpadas de tecnologia LED (ALGAR, 2017), sendo que estas últimas não apresentam mercúrio na sua composição, mas o seu material pode ser reciclado (ENERGY STAR, n.d.c).

2.5.3 **Eficiência energética dos equipamentos de abastecimento de água**

O consumo de água a nível mundial quadruplicou nos últimos 50 anos e a tendência é que continue a aumentar (Umweltbundesamt, 2010 *in* Coelho & Andrade-Campos,

2014). Na mesma ordem, o consumo de energia elétrica é uma condição obrigatória no abastecimento de água para consumo humano e na recolha de águas residuais; e embora não seja diretamente evidente, os serviços de abastecimento de água para consumo fornecidos pelas autarquias consomem uma quantidade considerável de eletricidade (Gellings, 2009; Venkatesh *et al.*, 2014), onde, face à dependência de energia elétrica que o bombeamento de água possui, 80 % a 90 % do consumo total dessa eletricidade está associado aos equipamentos responsáveis por bombeá-la (Brandt *et al.*, 2011 *in* Vilanova & Balestieri; Gomes, 2009 *in* Vilanova & Balestieri, 2014). Posto isto, associada ao consumo elétrico está a Pegada de Carbono causada por estes serviços.

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são caracterizados pela sua complexidade e por uma vasta variedade de equipamentos. Os seus componentes básicos são (Gellings, 2009): bomba hidráulica e motor, que juntamente com reservatórios constituem a estação elevatória (EPAL, n.d.), rede de distribuição constituída por condutas adutoras e controlos operacionais. Com isto, surge a oportunidade de melhorar a sua eficiência energética de forma a reduzir a Pegada de Carbono provocada, bem como atuar a nível económico (Coelho & Andrade-Campos, 2014). A tabela 2.3 mostra os fatores com maior responsabilidade no consumo de energia elétrica nos SAA.

Tabela 2.3 – Fatores predominantes associados ao consumo de energia elétrica nos SAA (adaptado de Venkatesh *et al.*, 2014).

Fator	Variável
Geográfico	Altitude da rede de distribuição
	Comprimento da rede de distribuição
Socioeconómico	Quantidade de água bombeada
	Condições das condutas adutoras (fugas)
Tecnológico	Eficiência das bombas hidráulicas e motores

As características topográficas da área em questão, nomeadamente o seu relevo e a localização das fontes de água para abastecimento urbano, a localização dos seus consumidores e algumas infraestruturas, em que estão instalados os SAA têm bastante importância no consumo de energia por parte dos seus equipamentos

(Venkatesh *et al.*, 2014; Vilanova & Balestieri, 2014). A colocação de reservatórios de água em terrenos mais elevados do que a posição dos seus consumidores pode reduzir consideravelmente o consumo de eletricidade no bombeamento da água. No entanto, esta variável depende do perfil topográfico e demográfico da área em questão, pois se os consumidores finais de água estiverem localizados a altitudes elevadas, o bombeamento é necessário (Venkatesh *et al.*, 2014). O planeamento urbano tem um papel chave neste fator. Um SAA eficiente, com um *design* otimizado, deve ter em conta as condições do terreno durante a conceção do seu projeto (Vilanova & Balestieri, 2014).

O comprimento da rede de distribuição influencia o consumo de eletricidade, pois quanto maior for a distância a que a água tem que percorrer, maior a quantidade de energia necessária para bombeá-la. Este consumo é potenciado no caso da rede possuir, simultaneamente, um grande comprimento e os consumidores se encontrem a elevadas altitudes. De acordo com Venkatesh *et al.* (2014), quanto menor área um SAA cobrir, ou seja, quanto mais próximo o sistema estiver dos consumidores finais, menor será a quantidade de eletricidade necessária para bombear água, sendo esta uma forma de diminuir o comprimento da rede de distribuição e principalmente colmatar as consideráveis quantidades de eletricidade consumida no abastecimento de água em áreas com elevadas altitudes.

Tal como a distância, a quantidade de água bombeada parte do mesmo princípio: quanto maior for a quantidade de água bombeada, maior a quantidade de energia necessária no bombeamento (Feldman, 2009). A quantidade de água bombeada está aliada à quantidade de água consumida. Uma das formas de reduzir o consumo de água e o bombeamento associado a este é através da mudança de comportamento dos consumidores (Vilanova & Balestieri, 2014). Em caso de fugas nas condutas adutoras, visto que a água perdida na rede é contabilizada mas não é consumida, a reparação destas diminui a quantidade de água necessária ao abastecimento urbano e o consumo de eletricidade associado (Canfora *et al.*, 2015). De acordo com alguns estudos analisados *in* Venkatesh *et al.* (2014), as perdas de água devido a fugas em condutas adutoras com cerca de 50 anos podem atingir entre os 9 % e os 20 % da quantidade total de água bombeada.

À medida que as condutas adutoras envelhecem tornam-se mais suscetíveis a fugas e posteriormente a uma má gestão da pressão de bombeamento, provocando um maior consumo de eletricidade do que o necessário. Portanto, ao longo do tempo são necessários investimentos para assegurar a manutenção dos serviços, atuando ao nível das fugas das condutas adutoras (Venkatesh *et al.*, 2014). Segundo o autor, a reparação de fugas para além de diminuir a quantidade de água bombeada, também permite otimizar a gestão da pressão de bombeamento, possibilitando a redução de eletricidade através destes dois indicadores.

A grande maioria da energia elétrica consumida nos SAA está geralmente associada ao seu bombeamento. As variáveis descritas anteriormente neste capítulo acabam por influenciar o consumo de eletricidade associado ao bombeamento. A substituição dos equipamentos existentes por equipamentos mais eficientes, nomeadamente as bombas hidráulicas, é uma medida de eficiência energética nos SAA (Vilanova & Balestieri, 2014). No abastecimento de água público a utilização de bombas hidráulicas e motores eficientes tem potencial para atingir reduções de eletricidade entre os 2.600 e os 7.800 kWh por ano (Gellings, 2009).

Na tabela 2.4 estão apresentadas medidas de eficiência energética que podem ser aplicadas aos SAA, incluindo a gestão de fugas, a eficiência das bombas hidráulicas e motores e o *design* da rede de distribuição.

Tabela 2.4 – Medidas de eficiência energética aplicáveis aos SAA (adaptado de Vilanova & Balestieri, 2014).

	Medida	Poupança de energia elétrica estimada (%)
Gestão das fugas de água e da pressão de bombeamento	Redução da pressão; reparação ou substituição das condutas adutoras; controlo das fugas	25-50
Utilização de bombas hidráulicas e motores eficientes	Potência correta das bombas hidráulicas	15-25
	Substituição das bombas hidráulicas existentes por bombas mais eficientes	2-10
	Substituição dos motores existentes por motores mais eficientes	5-10
	Utilização de bombas hidráulicas com velocidades variáveis	30-80
Otimização da capacidade de armazenamento dos reservatórios	Utilização de reservatórios para controlo do caudal e do armazenamento de água	10-20
Otimização do <i>design</i> da rede de distribuição	Eliminação de caudais desnecessários	10-20
	Diâmetro correto das condutas adutoras	5-20
	Redução dos limites sobredimensionados do <i>design</i> de forma a definir a capacidade do SAA	5-10

2.5.3.1 Gestão das fugas de água e da pressão de bombeamento

De acordo com Feldman (2009), o controlo e gestão da pressão de bombeamento podem reduzir o desperdício de água através de fugas existentes e prevenir a

ocorrência de novas fugas nos SAA, evitando desta forma custos de reparação e o consumo de energia associado ao bombeamento da água desperdiçada.

A forma mais eficiente em termos energéticos de redução da pressão de bombeamento na rede de distribuição é através da utilização de turbinas hidráulicas em vez de válvulas, embora as válvulas ainda sejam a tecnologia mais utilizada hoje em dia no controlo da pressão (Fontana *et al.*, 2012 *in* Vilanova & Balestieri, 2014). Ao contrário das válvulas, as turbinas hidráulicas convertem o excesso de pressão em energia útil em vez de dissipá-la. Devido ao elevado custo de aquisição, a implementação de turbinas hidráulicas é uma medida significativa em casos de tempos de *payback* reduzidos, isto é, quando o SAA apresenta zonas de pressão excessiva (Coelho & Andrade-Campos, 2014).

A reparação de fugas ou mesmo a substituição das condutas adutoras degradadas inicia-se com a deteção das mesmas. A forma mais comum de deteção de fugas é através de instrumentos acústicos que detetam o ruído provocado por estas (Gao *et al.*, 2004). Outras formas de deteção de fugas podem ser a análise dos consumos noturnos de áreas delimitadas, paragens do abastecimento de forma sequencial em horário noturno, pontos de medição da quantidade de água ao longo da rede de distribuição e inspeções visuais (Canfora *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2013).

2.5.3.2 *Utilização de bombas hidráulicas e motores eficientes*

A água é bombeada através do motor que transforma a energia elétrica em energia mecânica transmitindo-a para o impulsor – bomba hidráulica, provocando o aumento da pressão de bombeamento através da rotação do impulsor (EPAL, n.d.). A combinação de uma bomba hidráulica e um motor eficientes melhora significativamente o desempenho do bombeamento (Gellings, 2009).

Na aquisição de novas bombas hidráulicas e motores, o modelo selecionado deve ser o mais eficiente em termos energéticos. A utilização de bombas hidráulicas com maior desempenho implica também maior potência, o que se torna energeticamente mais eficiente relativamente à utilização de várias bombas com menor potência. No

entanto, visto que o consumo e o posterior bombeamento de água não é regular ao longo do dia, a utilização de um conjunto de bombas de menor potência proporciona maior flexibilidade, especialmente em SAA em que a variação do caudal é bastante significativa (de la Torre, 2008 *in* Vilanova & Balestieri, 2014). A alternativa mais eficiente para evitar a utilização de várias bombas pequenas e de forma a controlar o caudal bombeado consiste em dispositivos de velocidade variável (DVV) (Gibson, 1994 *in* Vilanova & Balestieri, 2014).

Normalmente os sistemas operam a eficiências baixas devido ao facto das bombas terem potências acima do necessário (Gellings, 2009). No caso em que isto acontece, em que a bomba instalada no SAA estiver dimensionada de acordo com as exigências do caudal máximo necessário, quando o seu caudal for menor o sistema consome mais eletricidade do que o necessário; se o sistema tem variações no seu caudal ao longo do tempo, existe a oportunidade de reduzir a energia elétrica consumida utilizando DVV que diminuem a potência de trabalho da bomba durante períodos de menor bombeamento de água, tornando-a mais flexível (Coelho & Andrade-Campos, 2014; Feldman, 2009; GAMBICA *et al.*, 2016; Xylem, 2016). Esta flexibilidade permite a redução do número de vezes que a bomba se liga e se desliga e conseqüentemente a prevenção de fugas nas condutas adutoras devido à pressão descontrolada (Feldman, 2009). A eficiência destes dispositivos depende da magnitude da variação da velocidade de bombeamento para obter o máximo e o mínimo de caudal necessários (GAMBICA *et al.*, 2016; Gibson, 1994 *in* Vilanova & Balestieri, 2014).

De acordo com Valente & Favero (2017), a mais recente tecnologia da marca Xylem chamada Hydrovar permite corrigir o problema da falta de flexibilidade por parte das bombas, sem que seja necessário a utilização de um conjunto de bombas, eliminando o problema da potência correta da bomba hidráulica. Esta tecnologia consiste em DVV capazes de ampliar a potência de trabalho da bomba de forma a maximizar a sua flexibilidade e melhorar o seu desempenho, uma vez que estes dispositivos adaptam a bomba às necessidades dos seus consumidores finais em tempo real. Esta nova tecnologia pode controlar até 8 bombas e também permite que a bomba seja conectada a um controlador multi-bomba sem haver a necessidade de

um painel de controlo exterior, dando ainda mais flexibilidade e durabilidade ao SAA (Valente & Favero, 2017; Xylem, 2016).

Tendo em conta Xylem (2016), para além de controlar o caudal, o Hydrovar também permite controlar a pressão de bombeamento da água, evitando a ocorrência de fugas no sistema e o desperdício de água; portanto, este dispositivo permite com que não haja necessidade de investir em turbinas hidráulicas. O DVV Hydrovar pode reduzir até 70 % do consumo elétrico gerado pelo SAA e o seu *payback* é inferior a 2 anos, consoante os custos de energia elétrica e tempos de funcionamento da bomba (Xylem, 2016).

2.5.3.3 Otimização da capacidade de armazenamento dos reservatórios

Quando o SAA possui reservatórios com capacidade de armazenamento suficiente, é possível poupar custos na energia consumida. Durante o período de vazio, quando a tarifa de eletricidade é mais baixa, o sistema deve ter extra capacidade de abastecimento e utilizá-la para encher os reservatórios. Assim, durante o período fora de vazio, quando a tarifa de eletricidade é mais elevada e normalmente o consumo de água também é mais elevado, deve utilizar-se a água previamente armazenada para abastecer o consumidor final enquanto se reduz a potência de trabalho da bomba ao mesmo tempo (Feldman, 2009).

2.5.3.4 Otimização do design da rede de distribuição

O método clássico de *design* otimizado da rede de distribuição procura minimizar os custos associados à sua construção e os seus custos de operação, passando a eficiência energética do SAA para segundo plano. Tendo em conta que na maioria dos casos as condições económicas favoráveis não são as mesmas em termos de consumo de energia, surgem os problemas de otimização nos SAA (Coelho & Andrade-Campos, 2014; Vilanova & Balestieri, 2014).

Segundo Vilanova & Balestieri (2014), o *design* ótimo da rede de distribuição passa pela junção de dois módulos: o módulo de otimização, o qual é composto por algoritmos que pretendem minimizar o investimento e os custos de operação da rede de distribuição; o módulo de simulação hidráulica, responsável pela modelação das condições do SAA fundamentado nos balanços de massa e energia e pela determinação das características hidráulicas associadas aos problemas de otimização (consumo de água, pressão de bombeamento e perdas de energia ao longo da rede de distribuição).

No estudo de Tsutiya (1997) *in* Coelho & Andrade-Campos (2014), as perdas de energia ao longo da rede de distribuição podem ser reduzidas através da escolha correta do diâmetro das condutas adutoras com o intuito de obter uma velocidade de abastecimento mais económica (baixas velocidades reduzem perdas de energia durante o abastecimento); bem como através da aplicação de carvão ativado na rede de distribuição, reduzindo as rugosidades e obstáculos presentes nas condutas.

O dimensionamento correto de todo o SAA é necessário em várias medidas. Outro problema que pode ocorrer, a nível operacional, de saúde e ambiental, surge quando a rede de distribuição se encontra dimensionada para um determinado caudal, mas o consumo real de água está abaixo desse valor. Assim, se o caudal é mais reduzido do que o valor para o qual a rede está dimensionada, a água irá permanecer durante um maior período de tempo dentro das condutas adutoras, correndo o risco de contaminação com bactérias e metais pesados (ICLEI, 2012).

As medidas de otimização do *design* da rede de distribuição são normalmente empregadas na conceção dos SAA e por isso não vão ser aplicadas no presente estudo.

3. METODOLOGIA APLICADA

3.1 Método de cálculo

De acordo com a revisão apresentada das metodologias verificou-se que o método de cálculo a aplicar na quantificação da Pegada de Carbono é efetuado através de uma multiplicação. Portanto, aplicando a equação 2.2 ao presente estudo de caso, que analisa o âmbito 2, o método de cálculo da Pegada de Carbono resultante das atividades da autarquia, em toneladas de CO₂ por ano, é dado pela equação 3.1. Os dados da atividade mencionados na equação 2.2 são considerados, para este estudo de caso, o consumo de energia elétrica.

Equação 3.1

$$\text{Pegada de Carbono} = \text{consumo de energia elétrica} \times FE_{CO_2}$$

Onde,

Pegada de Carbono = quantidade de CO₂ emitido (t CO₂/ano).

Consumo de energia elétrica = quantidade de eletricidade adquirida pela CML (kWh/ano).

FE_{CO₂} = fator de emissão de CO₂ (t CO₂/kWh) associado à produção da eletricidade adquirida.

Não será necessária uma metodologia para evitar a dupla contagem, visto que o presente estudo analisa apenas o consumo de energia elétrica (âmbito 2), pelo que não haverá a possibilidade de ocorrer dupla contagem.

3.2 Recolha dos dados da atividade

De acordo com o GPC (WRI *et al.*, 2014), os dados da atividade são uma medida quantitativa de uma determinada atividade, que ocorre durante um determinado

período de tempo, originando emissões de GEE. No presente estudo de caso estes dados são a quantidade de eletricidade consumida que está na origem, indiretamente, das emissões de CO₂ provocadas no município de Loulé.

Os dados da quantidade de eletricidade consumida, em kWh, facultados pela CML, foram obtidos periodicamente através do levantamento das faturas de consumo de energia. De acordo com o sistema de registos (figura 3.1), para se adquirir os consumos elétricos, cada fatura identifica os seguintes elementos:

- código de identificação do local da unidade consumidora a que se refere;
- período de faturação, incluindo identificação da fatura;
- consumo de energia elétrica periódico e histórico de consumos (kWh).

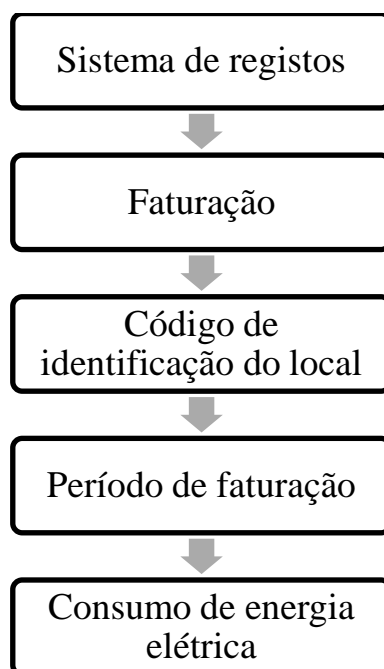


Figura 3.1 – Esquema simplificado do sistema de registos da CML para a obtenção dos consumos de energia elétrica.

3.3 Recolha dos fatores de emissão

Um fator de emissão é uma medida da massa de emissões de um determinado GEE relativamente a uma atividade. Este deve ser relevante para o limite do inventário, específico para a atividade que está a ser mensurada e proveniente de uma entidade

credível (WRI *et al.*, 2014). Neste estudo de caso o fator de emissão está associado somente às emissões de CO₂ provocadas pelo consumo de energia elétrica por parte das instalações da responsabilidade da autarquia.

No caso do consumo de energia elétrica, o valor do fator de emissão depende do tipo de tecnologia e do *mix* de combustíveis utilizados na sua produção, isto é, a fonte de energias utilizadas para produzir a eletricidade consumida. No presente estudo os fatores de emissão de CO₂ associados ao consumo de energia elétrica em 2014, 2015 e 2016 foram facultados pela EDP Comercial, uma das entidades fornecedoras de energia elétrica à autarquia.

3.4 Aplicação das medidas de redução do consumo de energia elétrica

3.4.1 Seleção dos setores a atuar

Após a quantificação da Pegada de Carbono utilizando a equação 3.1, procedeu-se à identificação dos tipos de instalações (setores) responsáveis pelas maiores quantidades de CO₂ libertadas para a atmosfera, que são consequentemente os maiores consumidores de eletricidade no município de Loulé.

Foram selecionados os 3 setores que mais energia consumiram em 2016 de forma a tentar reduzir uma grande parte do total de eletricidade consumida no município; ou seja, atuando nos setores mais consumistas da autarquia é possível atingir maiores reduções nas emissões de CO₂ por eles libertadas. Sendo que na iluminação pública e nos equipamentos de abastecimento de água foram aplicadas medidas em todo o setor, nos edifícios municipais optou-se pela seleção do edifício com maior consumo de eletricidade e também devido ao seu valor patrimonial, histórico e cultural que impõe bastantes restrições no que diz respeito às suas características – o Cine-Teatro Louletano.

Posto isto, identificaram-se os equipamentos elétricos responsáveis pelo consumo de energia elétrica nos 3 setores selecionados e aplicaram-se medidas consoante o tipo de equipamentos e dados disponíveis. Em termos de medidas quantitativas o trabalho foca-se na substituição da tecnologia atualmente existente por tecnologia mais eficiente, nomeadamente ao nível da iluminação, onde são necessários dados como o número de equipamentos instalados, o tempo de funcionamento de cada equipamento no ano de 2016 e as suas respetivas potências. Embora as medidas quantitativas requeiram mais dados do que as medidas qualitativas, esta é uma abordagem mais rigorosa e pode ajudar no desenvolvimento de políticas a adotar nas cidades (Jollands *et al.*, 2008). No setor da iluminação pública propôs-se a substituição da iluminação atualmente instalada por iluminação mais eficiente, isto é, por tecnologia LED. No Cine-Teatro Louletano também foi proposta a substituição de parte da iluminação atualmente instalada – a substituição da iluminação normal, visto que a iluminação cénica tem um grau de exigência que a tecnologia LED ainda não consegue suportar.

No que diz respeito aos equipamentos de abastecimento de água aplicaram-se medidas qualitativas de eficiência energética de acordo com a literatura revista em 2.5.3. Também foram sugeridas medidas qualitativas de mudança de comportamento, onde se incluem os setores dos edifícios municipais, as instalações desportivas, os armazéns e oficinas, as instalações diversas e os estabelecimentos escolares ativos e desativados, visto que são nestes setores que os utilizadores das instalações a cargo da autarquia têm controlo direto sobre os equipamentos elétricos responsáveis pelo consumo de energia.

3.4.2 Seleção dos equipamentos a instalar

Relativamente à seleção da marca das lâmpadas a instalar na iluminação pública e Cine-Teatro, considerou-se a marca Philips visto que esta é uma marca conceituada no ramo da iluminação e o seu material é de qualidade, sendo que há a possibilidade de se utilizar outras lâmpadas de características semelhantes.

As escolhas das lâmpadas propriamente ditas, que se apresentam nos anexos D e E assinaladas a amarelo, foram efetuadas com base nos parâmetros de eficiência luminosa, potência, custo de aquisição e tempo médio de vida útil. De forma a sugerir as lâmpadas mais eficientes e com menor consumo energético, primeiro selecionaram-se as lâmpadas com as eficiências luminosas mais elevadas e dentro dessa seleção verificaram-se aquelas com menores potências. De seguida, para obter o menor tempo de amortização, as lâmpadas com maior custo de aquisição foram excluídas e, por fim, optou-se pelas lâmpadas com maior tempo médio de vida útil, sendo este último parâmetro semelhante na maioria das lâmpadas do catálogo apresentado no anexo D.

Atendendo às exigências de iluminação do Cine-Teatro, a seleção das lâmpadas também teve em consideração a temperatura de cor da lâmpada que não pode exceder os 3.000 K para manter o conforto visual dos clientes, um casquilho do tipo GU10 e deve ser capaz de desempenhar funções de *dimming*. As lâmpadas apresentadas no anexo E sustentam as exigências descritas.

3.4.3 Dimensionamento da substituição dos equipamentos atualmente instalados

Após a seleção das lâmpadas procedeu-se ao dimensionamento da substituição das lâmpadas atualmente instaladas, tanto para o setor da iluminação pública como para o Cine-Teatro. Para o dimensionamento foram efetuados cálculos da potência a instalar (em W), do investimento inicial (em €), do custo do consumo de energia elétrica (em €/ano), do tempo de vida do equipamento (em anos) e do tempo de amortização (*payback*) do investimento inicial (em anos).

Na equação 3.2 apresenta-se a fórmula para calcular a potência instalada ou a instalar, consoante o caso em questão, de um determinado equipamento elétrico.

Equação 3.2

$$Potência\ a\ instalar = n.\ ^o\ de\ equipamentos \times\ potência\ do\ equipamento$$

Onde,

Potência a instalar = quantidade de energia total que os equipamentos a instalar consomem (W).

Número de equipamentos = quantidade de equipamentos a instalar.

Potência do equipamento = quantidade de energia que o equipamento consome (W).

Caso seja aplicável pode-se contabilizar na equação 3.2 o valor de *dimming*.

A equação 3.3 mostra como calcular o investimento inicial para adquirir os equipamentos a instalar.

Equação 3.3

$$\text{Investimento inicial} = n.^{\circ} \text{ de equipamentos} \times \text{preço do equipamento}$$

Onde,

Investimento inicial = preço total dos equipamentos a instalar (€).

Número de equipamentos = quantidade de equipamentos a instalar.

Preço do equipamento = preço para adquirir o equipamento (€).

O custo do consumo de energia elétrica provocado pelos equipamentos a instalar é dado pela equação 3.4.

Equação 3.4

$$\text{Custo do consumo} = \text{consumo de energia elétrica} \times \text{tarifa}$$

Onde,

Custo do consumo = preço total do consumo de energia elétrica provocado pelos equipamentos a instalar (€/ano).

Consumo de energia elétrica = quantidade de eletricidade consumida pelos equipamentos a instalar (kWh/ano).

Tarifa = preço da eletricidade (€/kWh).

Na equação 3.5 apresenta-se o método de cálculo do tempo de vida do equipamento a instalar de acordo com o seu tempo de funcionamento.

Equação 3.5

$$\text{Tempo de vida} = \frac{\text{tempo médio de vida útil}}{\text{tempo de funcionamento}}$$

Onde,

Tempo de vida = quantidade de tempo que o equipamento a instalar estará operacional (anos).

Tempo médio de vida útil = quantidade de tempo que o equipamento a instalar se mantém operacional de acordo com o fornecedor/marca (h).

Tempo de funcionamento = quantidade de tempo que o equipamento se mantém em funcionamento ao longo do ano (h/ano).

Por fim, o cálculo do *payback* é dado pela equação 3.6.

Equação 3.6

$$\text{Payback} = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{lucro}}$$

Onde,

Payback = quantidade de tempo necessário até obter a amortização do investimento inicial (anos).

Investimento inicial = preço total dos equipamentos a instalar (€). Dado pela equação 3.3.

Lucro = diferença entre o custo antes da substituição dos equipamentos (custo do consumo elétrico em 2016) e o custo após a substituição dos equipamentos (€/ano). O custo após a substituição dos equipamentos é dado pela equação 3.4.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do município de Loulé

O estudo de caso proposto para a presente dissertação é o município de Loulé. O município de Loulé é o maior município do Algarve e pertence ao distrito de Faro, abrangendo uma área de 763,67 km² (INE, 2014a), cerca de 15,3 % de todo o Algarve, onde 51,3 % da sua superfície é classificada como área protegida (CML, n.d.c) e 54 % do território municipal é abrangido pela Rede Natura 2000 (CML, 2016). Devido à sua grande dimensão, o concelho é composto por 9 freguesias (INE, 2015): Almancil, Ameixial, Alte, Boliqueime, Quarteira, Salir, São Clemente (Loulé), São Sebastião (Loulé) e a união das freguesias de Querença, Tôr e Benafim, como se pode verificar na figura 4.1.

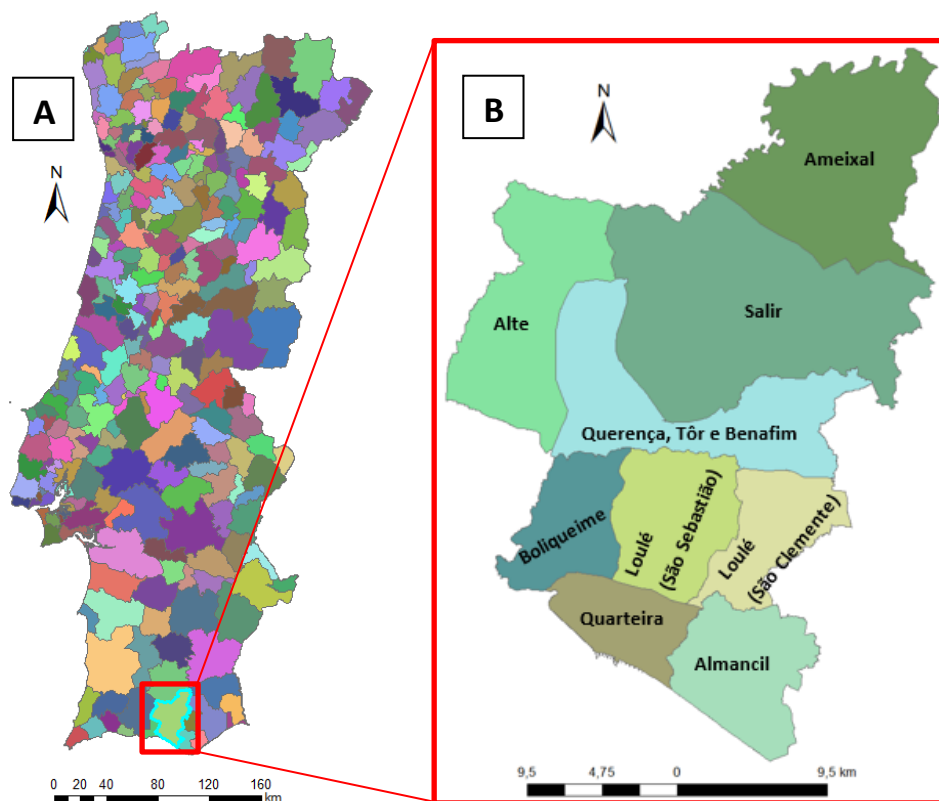


Figura 4.1 – Portugal Continental (A) e município de Loulé (B) (elaborado em ArcGIS).

Loulé faz fronteira com vários concelhos, nomeadamente, com os concelhos de Silves e Albufeira, a Oeste, e com Alcoutim, Tavira, São Brás de Alportel e Faro, a Este.

De acordo com os dados apresentados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), a população residente no município de Loulé, em 2014, era de 69.230 habitantes (INE, 2014b) e a densidade populacional de 90,7 hab./km² (INE, 2014c). Para além da sua dimensão, Loulé é o município Algarvio com maior população, cerca de 15,7 % de toda a população Algarvia.

O perímetro das suas unidades territoriais é de 209 km (INE, 2014d), localizadas na Serra, no Barrocal e no Litoral Algarvio (de norte para sul). O concelho apresenta diversidade de características territoriais, patrimoniais, paisagísticas e ambientais, permitindo dividir, assim, o território em 3 unidades territoriais distintas (figura 4.2) (CML, 2016). O terreno eleva-se progressivamente desde o Litoral até à Serra, atingindo o seu ponto mais alto a 589 metros de altitude (Vicente & Silva, 2006).

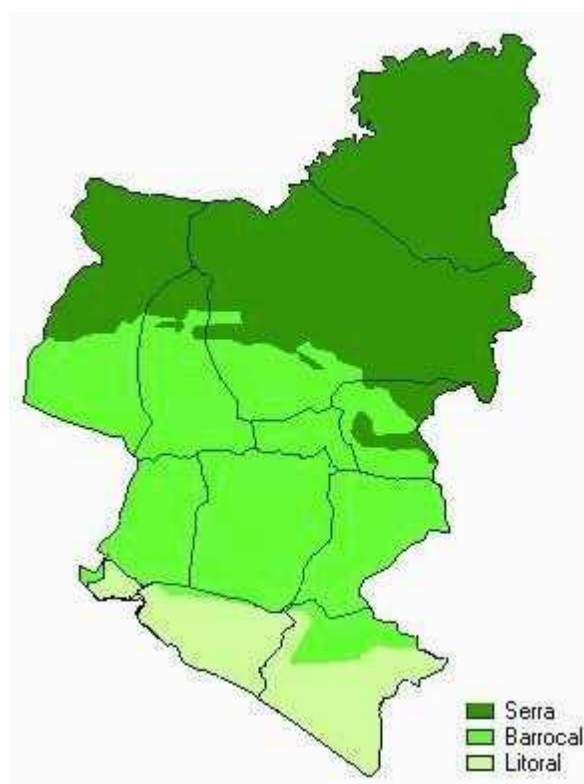


Figura 4.2 – Divisão do território em 3 partes distintas (Vicente & Silva, 2006).

A Serra ocupa o maior território do município, representando cerca de 46 % deste. É uma zona montanhosa de elevadas altitudes, constituída por xistos e grauvaques, pouco permeável e com baixa infiltração. Nalguns locais regista-se escassez de recursos hídricos subterrâneos (Vicente & Silva, 2006).

O Barrocal, área com menor altitude que a Serra, representa cerca de 37 % da superfície do município. Nesta zona de calcários, algumas formas de relevo já apresentam declives mais suaves. Sendo esta uma zona de infiltração máxima, os seus recursos hídricos são de extrema importância, pois é uma das áreas com maior capacidade de armazenamento do país (Vicente & Silva, 2006)

Por fim, o Litoral, caracterizado pelo seu elevado estatuto de uniformidade, integra uma área plana que se estende ao longo da costa, ocupando apenas 12 % da superfície do município. Esta zona é essencialmente constituída por arenitos pouco consolidados e depósitos aluvionares, formações bastante permeáveis, que permitem que se adquira aquíferos porosos (Vicente & Silva, 2006). No entanto, de acordo com a Carta Educativa do Concelho de Loulé, os valores da precipitação anual que ocorre na Serra, são muito superiores aos do Litoral. Para além deste facto, as escorrências de águas que provêm dos declives acentuados da Serra acabam por infiltrar-se, na sua maioria, na zona do Barrocal. Assim, o Litoral torna-se numa zona com escassa infiltração e, portanto, os seus aquíferos têm pouca importância.

O município apresenta um clima temperado com características mediterrânicas (CML, 2016). Isto é, possui uma estação seca durante o verão e uma estação chuvosa durante o inverno. No período chuvoso, de Outubro a Março, regista-se entre 75 % a 85 % da precipitação total anual da região, destacando-se a zona da Serra que apresenta uma precipitação anual superior ao Barrocal e Litoral devido à sua altitude (Vicente & Silva, 2006).

O município de Loulé, desde o ano 2000, tem sido afetado por vários incidentes relacionados com eventos climáticos adversos, que incluem situações de seca (diminuição da precipitação média anual), precipitações excessivas em períodos de tempo curtos, temperaturas elevadas, aumento do número de dias com ondas de calor, subida do nível médio do mar, ventos fortes e aumento da temperatura do

oceano (APA, 2015; CML, 2016), demonstrando assim a vulnerabilidade climática a que estamos sujeitos se nada for feito.

Foram feitas projeções climáticas pelo projeto ClimAdapt.Local para o município de Loulé até ao final do século, mostrando uma subida da temperatura média anual entre 1°C e 4°C (CML, 2016). Estes eventos climáticos adversos provocam também um aumento no consumo de eletricidade por parte dos indivíduos que utilizam as instalações da autarquia (alterações nos estilos de vida), de forma a manterem o seu conforto térmico.

Os impactes registados a que o município se encontra exposto inerentes aos eventos excessivos mencionados abrangem erosão costeira, incêndios, inundações, danos nos edifícios e infraestruturas, alterações na biodiversidade, danos para a saúde, alterações nos estilos de vida, redução no fornecimento e/ou qualidade de água para consumo, entre outros (CML, 2016). As consequências associadas a estes eventos climáticos locais são o melhor exemplo do que pode ocorrer como resultado das alterações climáticas. Segundo a APA (2015), a nível de setores de atividade mais afetados destacam-se o turismo, a floresta, a agricultura e a pesca.

4.2 Limites de emissões do estudo

De acordo com o que já foi dito anteriormente no presente trabalho é necessário criar os limites das emissões em estudo, de forma a identificar quais as emissões que ocorrem dentro ou fora desses limites previamente estabelecidos. Na figura 4.3 estão definidos os limites de emissões do estudo.

Pretende-se, no presente estudo, contabilizar as emissões de carbono provocadas pela autarquia na prestação de serviços municipais. Geograficamente, o limite do estudo abrange todo o município de Loulé. No que diz respeito às atividades efetuadas, o estudo limita-se ao consumo de eletricidade e, portanto, a Pegada de Carbono que será contabilizada, incluirá apenas o âmbito 2. Uma vez que as emissões calculadas ocorrem fora dos limites do estudo, isto é, a energia elétrica

utilizada pela CML é produzida pelas suas entidades fornecedoras, fora dos limites geográficos estipulados, as emissões assumem-se indiretas.

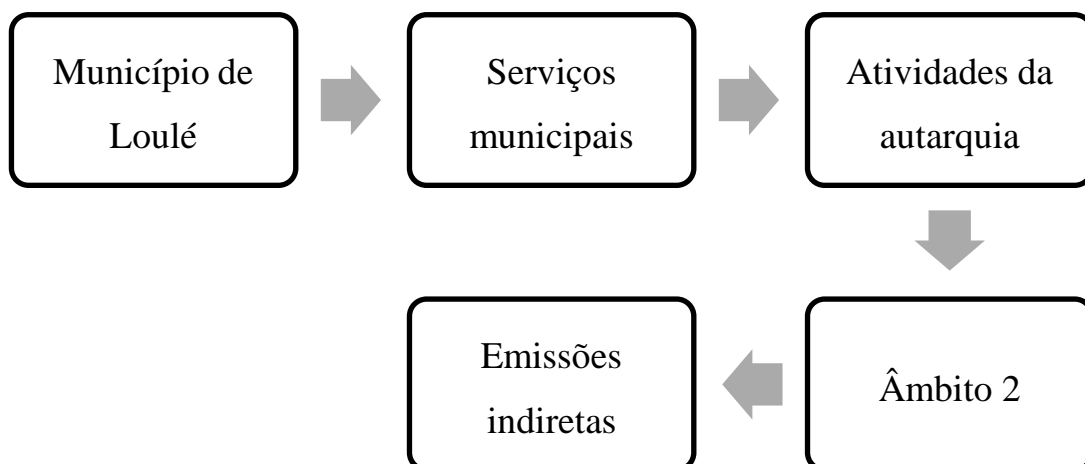


Figura 4.3 – Definição dos limites de emissões do estudo.

Visto isto, a CML não tem controlo operacional na produção de eletricidade, impossibilitando-a de implementar quaisquer políticas operacionais. Ainda assim, pode ter um papel fundamental na forma como utiliza essa energia, podendo aplicar medidas para redução de consumos. Logo, a CML não tem controlo na produção, mas sim no consumo de energia elétrica.

4.3 Setores em estudo

Como já foi referido anteriormente, o âmbito analisado neste estudo é o âmbito 2, onde se incluem vários serviços municipais, consumidores de energia elétrica, pelos quais a autarquia é responsável. Estes serviços da responsabilidade da autarquia estão divididos em 13 tipos de instalações (setores). Esta divisão permite maior facilidade na definição de áreas de atuação para a identificação de medidas de redução de emissões de CO₂ em estudo. Os setores em estudo estão representados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Setores em estudo.

Âmbito	Fonte de emissão	Tipo de instalação (setor)
Âmbito 2	Consumo de energia elétrica	Edifícios municipais
		Instalações desportivas
		Armazéns e oficinas
		Habitacões sociais
		Instalações diversas
		Cemitérios e igrejas
		Equipamentos de RU, painéis e sanitários
		Iluminação pública
		Semáforos
		Equipamentos de abastecimento de água
		Equipamentos de águas residuais
		Estabelecimentos escolares ativos
Estabelecimentos escolares desativados		

Os edifícios municipais incluem a Biblioteca Municipal de Loulé, o quartel dos bombeiros municipais de Loulé, o centro social autárquico, o Cine-Teatro Louletano, entre outros.

Fazem parte das instalações desportivas da responsabilidade da autarquia os pavilhões desportivos, as piscinas municipais do concelho e alguns estádios municipais.

O setor dos armazéns e oficinas abrange armazéns, estaleiros, oficinas, recintos de feiras, entre outros.

As instalações diversas abrangem todas as instalações que não correspondem aos restantes setores. É o setor mais variável de ano para ano porque engloba contadores elétricos temporários, como obras ou eventos que decorram durante um período de tempo em determinado ano e que podem não ocorrer no ano seguinte.

O setor dos equipamentos de abastecimento de água e de águas residuais resumem-se ao consumo de eletricidade por parte de equipamentos e bombas hidráulicas que

impulsionam a água até ao seu destino. Isto é, a distribuição de água para consumo humano até à população Louletana e posteriormente a recolha de água residual (após o seu consumo) até à estação de tratamento de águas residuais.

4.4 Fontes de energia elétrica fornecidas à autarquia

Visto que a CML conseguiu disponibilizar os dados das atividades do presente estudo relativos ao período de 2014, 2015 e 2016, as emissões de CO₂ em estudo serão calculadas tendo como referência esse intervalo de tempo.

4.4.1 Energia fornecida em 2014

Pelo que foi cedido pela EDP Comercial à autarquia, em 2014, a energia fornecida à CML proveio cerca de 40 % de fontes renováveis de energia, entre elas, a hídrica e a eólica (EDP Comercial, 2014). A tabela 4.2 representa a origem da energia elétrica produzida, ou seja, o *mix* de fontes de energia fornecido, em 2014, pela EDP Comercial.

Tabela 4.2 – *Mix* de fontes de energia elétrica em 2014 (EDP Comercial, 2014).

Fonte de energia elétrica	%
Hídrica	29,0
Eólica	10,5
Carvão	29,0
Cogeração fóssil	10,7
Nuclear	9,6
Gás natural	4,7
Outras	6,5
Total	100,0

Como se pode verificar na tabela 4.2, o carvão é a fonte de energia não renovável que mais contribui para a produção de eletricidade, como já tinha sido referido acima.

Associado ao *mix* de fontes de energia elétrica existe um fator de emissão de CO₂ que representa a quantidade de emissões de CO₂ por unidade de energia elétrica produzida. O fator de emissão obtido, em 2014, neste *mix*, projetado na tabela 4.2, foi de 338,24 g CO₂/kWh (EDP Comercial, 2014). Isto é, $3,38 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Deste modo, este será o fator de emissão de CO₂ utilizado no inventário de emissões para os dados das atividades referentes a 2014.

4.4.2 Energia fornecida em 2015

De acordo com a EDP Comercial (2015), o *mix* de fontes de energia durante o ano de 2015 inclui 37 % proveniente de fontes renováveis e 63 % de fontes não renováveis. Na tabela 4.3 apresenta-se o *mix* de fontes de energia fornecido pela EDP Comercial à autarquia em 2015.

Tabela 4.3 – *Mix* de fontes de energia elétrica em 2015 (EDP Comercial, 2015).

Fonte de energia elétrica	%
Hídrica	14,0
Eólica	16,3
Carvão	36,1
Cogeração fóssil	9,9
Gás natural	10,3
Outras	13,4
Total	100,0

O fator de emissão obtido no *mix* de fontes de energia em 2015 foi de 438,64 g CO₂/kWh (EDP Comercial, 2015). Ou seja, $4,39 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Este será o fator

de emissão utilizado para calcular a Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2015.

4.4.3 Energia fornecida em 2016

Da energia fornecida à autarquia de Loulé no ano de 2016, 66,9 % foi a partir de fontes de energia renováveis (EDP Comercial, 2016). Em que, para além das fontes renováveis utilizadas em 2014 e 2015, somam-se a cogeração renovável e os RU. Embora o carvão ainda seja a fonte de energia não renovável que mais se utiliza na produção de eletricidade, a sua contribuição para o total de energia elétrica produzida representa metade do valor de 2014. O *mix* de fontes de energia elétrica fornecido à autarquia em 2016 encontra-se na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – *Mix* de fontes de energia elétrica em 2016 (EDP Comercial, 2016).

Fonte de energia elétrica	%
Hídrica	15,9
Eólica	40,5
Carvão	14,2
Cogeração fóssil	8,8
Nuclear	3,3
Gás natural	6,0
Outras renováveis	5,4
Cogeração renovável	4,2
RU (renovável)	0,8
RU (não renovável)	0,8
Total	100,0

O fator de emissão associado ao *mix* de fontes de energia elétrica em 2016, apresentado na tabela 4.4, foi de 196,02 g CO₂/kWh (EDP Comercial, 2016), ou seja, $1,96 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Este foi o valor utilizado no cálculo da Pegada de Carbono para este ano civil.

4.5 Consumo de energia elétrica pela autarquia

O consumo de energia elétrica nas instalações da autarquia foi solicitado pela CML, a qual efetuou o levantamento das faturas elétricas da autarquia, referentes a 2014, 2015 e 2016.

4.5.1 Consumo de energia elétrica em 2014

O consumo de eletricidade em 2014, por setor de atividade, está representado na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2014.

Tipo de instalação (setor)	Consumo de eletricidade (kWh)
Edifícios municipais	2.242.563,20
Instalações desportivas	1.847.781,27
Armazéns e oficinas	172.019,00
Habitacões sociais	33.734,00
Instalações diversas	246.684,00
Cemitérios e igrejas	42.335,00
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	172.344,00
Iluminação pública	19.043.454,00
Semáforos	107.858,00
Equipamentos de abastecimento de água	1.802.578,15
Equipamentos de águas residuais	163.871,00
Estabelecimentos escolares ativos	902.125,77
Estabelecimentos escolares desativados	65.240,57
Total	26.842.587,96

De acordo com os dados disponibilizados pela CML, em 2014, o consumo total de eletricidade nos serviços municipais da autarquia foi de 26.842.587,96 kWh.

Destaca-se, de todos os setores, a iluminação pública com um consumo de 19.043.454,00 kWh, representando 70,9 % do total do consumo de energia elétrica.

4.5.2 Consumo de energia elétrica em 2015

O consumo de eletricidade, em 2015, pelos serviços municipais da responsabilidade da autarquia, por setor de atividade, apresenta-se na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2015.

Tipo de instalação (setor)	Consumo de eletricidade (kWh)
Edifícios municipais	2.258.202,92
Instalações desportivas	1.918.053,42
Armazéns e oficinas	163.042,00
Habitacões sociais	34.237,00
Instalações diversas	418.589,00
Cemitérios e igrejas	46.775,00
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	185.441,00
Iluminação pública	16.973.591,00
Semáforos	109.698,00
Equipamentos de abastecimento de água	2.029.388,08
Equipamentos de águas residuais	130.128,00
Estabelecimentos escolares ativos	1.085.212,00
Estabelecimentos escolares desativados	32.661,00
Total	25.385.018,42

Em 2015 o consumo total de eletricidade dos serviços municipais da responsabilidade da autarquia foi de 25.385.018,42 kWh. Comparando com o consumo total de energia elétrica em 2014, tabela 4.5, o consumo total em 2015 diminuiu.

A iluminação pública, como seria de esperar, volta a ser o setor com maior consumo de eletricidade, embora o seu consumo tenha diminuído de 2014 para 2015.

4.5.3 Consumo de energia elétrica em 2016

A energia elétrica consumida pelos setores da CML, em 2016, apresenta-se na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Consumo de energia elétrica pela autarquia em 2016.

Tipo de instalação (setor)	Consumo de eletricidade (kWh)
Edifícios municipais	2.320.503,50
Instalações desportivas	1.900.713,41
Armazéns e oficinas	202.586,00
Habitacões sociais	35.615,05
Instalações diversas	293.074,00
Cemitérios e igrejas	45.870,00
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	176.946,00
Iluminação pública	16.523.743,00
Semáforos	97.460,00
Equipamentos de abastecimento de água	2.012.169,13
Equipamentos de águas residuais	197.040,10
Estabelecimentos escolares ativos	1.019.631,00
Estabelecimentos escolares desativados	54.745,00
Total	24.880.096,19

O consumo total de energia elétrica em 2016 foi de 24.880.096,19 kWh, valor que voltou a diminuir relativamente ao ano transato.

Uma vez mais, e como seria de esperar, a iluminação pública embora tenha diminuído o seu consumo de eletricidade de 2015 para 2016, atingiu o maior consumo entre todos os setores.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo aplicou-se a equação 3.1 para quantificar a Pegada de Carbono provocada pelo consumo de energia elétrica nos serviços municipais da responsabilidade da autarquia nos anos de 2014, 2015 e 2016. Como já foi referido, a Pegada de Carbono calculada neste estudo de caso refere-se apenas ao consumo de energia elétrica (âmbito 2) a cargo da autarquia e contabiliza apenas as emissões de CO₂.

5.1 Pegada de Carbono em 2014

Tabela 5.1 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2014.

Tipo de instalação (setor)	Pegada de Carbono (t CO₂)
Edifícios municipais	758,52
Instalações desportivas	624,99
Armazéns e oficinas	58,18
Habitacões sociais	11,41
Instalações diversas	83,44
Cemitérios e igrejas	14,32
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	58,29
Iluminação pública	6.441,26
Semáforos	36,48
Equipamentos de abastecimento de água	609,70
Equipamentos de águas residuais	55,43
Estabelecimentos escolares ativos	305,14
Estabelecimentos escolares desativados	22,07
Total	9.079,24

A equação 3.1 aplicada para 2014 teve em consideração os consumos de energia elétrica presentes na tabela 4.5 e o fator de emissão de $3,38 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Visto que o cálculo da Pegada de Carbono é a multiplicação direta entre o consumo de eletricidade e o fator de emissão, as emissões de CO₂ são diretamente proporcionais ao respetivo consumo. Na tabela 5.1 estão representados os resultados dos cálculos efetuados para cada setor.

A Pegada de Carbono total dos serviços municipais a cargo da autarquia, em 2014, foi de 9.079,24 t CO₂.

A iluminação pública é o setor com maior consumo de energia elétrica no município (tabela 4.5), e como expectável, também é o setor com maior Pegada de Carbono, pois o número de luminárias, fornecido pela CML, excede as 35.000 unidades. Este setor emitiu, em 2014, 6.441,26 toneladas de CO₂ para a atmosfera. Com isto, surge a possibilidade de atingir reduções se houver equipamentos mais eficientes capazes de substituírem os existentes.

Na figura 5.1 estão representadas as partes de cada setor, em percentagem, relativamente ao valor total da Pegada de Carbono provocada pela autarquia em 2014.

As percentagens dos consumos são as mesmas uma vez que o cálculo da Pegada de Carbono é efetuado por multiplicação direta e o valor do fator de emissão, em cada ano, é o mesmo para todos os setores.

Pegada de Carbono em 2014

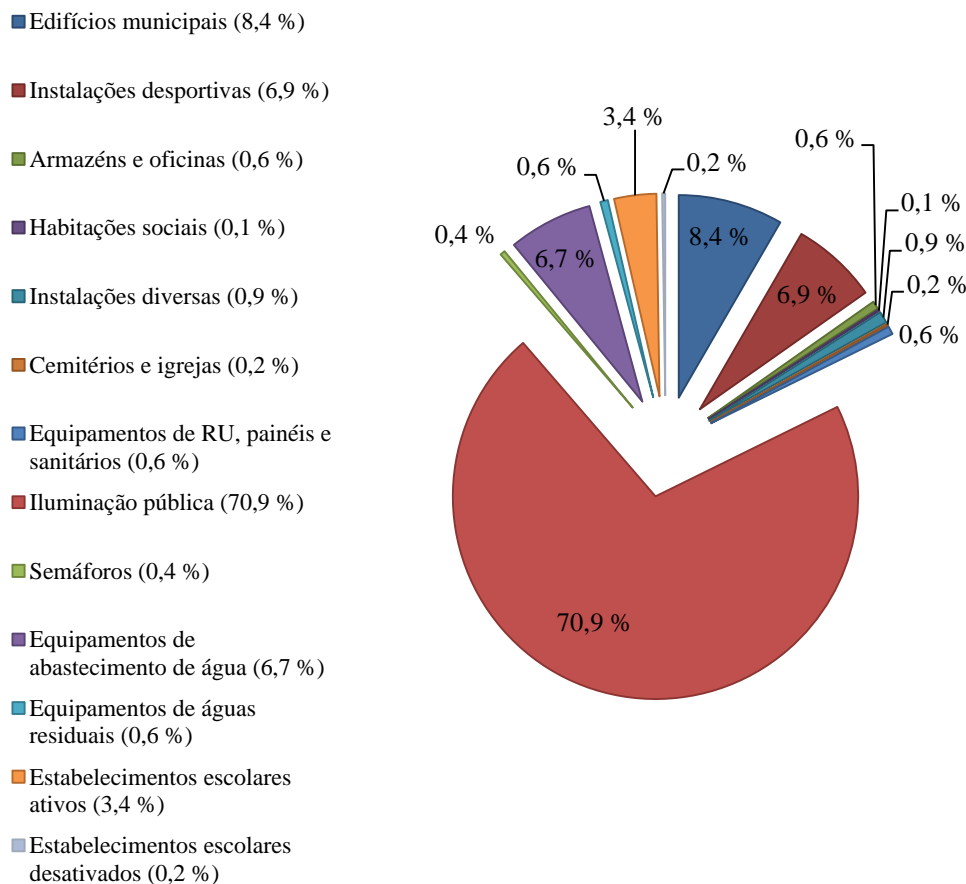


Figura 5.1 – Pegada de Carbono da autarquia em 2014.

Para além da iluminação pública com 70,9 % do total da Pegada de Carbono, os edifícios municipais, as instalações desportivas, os equipamentos de abastecimento de água e os estabelecimentos escolares ativos também se destacam dos restantes setores (todos eles com emissões de CO₂ inferiores a 1 % do total).

Os edifícios municipais atingiram 8,4 % do total da Pegada de Carbono provocada pela autarquia em 2014. As instalações desportivas, os equipamentos de abastecimento de água e os estabelecimentos escolares ativos obtiveram, respetivamente, 6,9 %, 6,7 % e 3,4 % do total da Pegada de Carbono. Assim, as medidas de mitigação passam por estes setores por serem os mais consumistas e os responsáveis pelas maiores libertações de CO₂.

5.2 Pegada de Carbono em 2015

Comparando a tabela 4.2 com a tabela 4.3 é possível verificar que a produção de energia elétrica a partir de energia eólica cresceu. Em 2015 a produção de eletricidade a partir da energia hídrica decresceu em cerca de metade relativamente ao ano transato, uma vez que esta é bastante variável ano após ano, dependendo das condições climáticas (IEA, 2016). Devido a este facto, a quantidade de carvão e gás natural utilizados na produção de energia elétrica aumentou em 2015. Tendo em conta que a eletricidade produzida a partir de fontes de energia renovável diminuiu de 2014 para 2015, é provável que haja influência nas emissões de CO₂ libertadas pelos serviços da CML, aumentando a Pegada de Carbono em 2015.

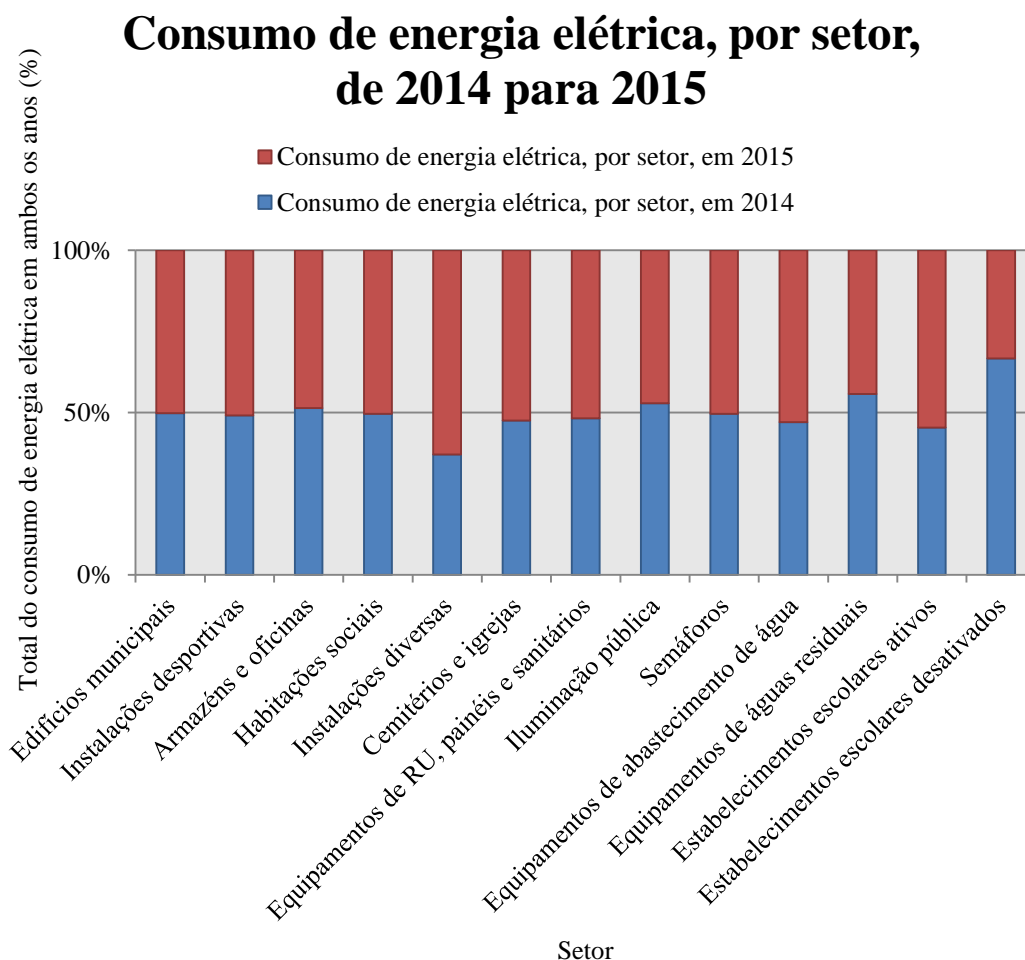


Figura 5.2 – Análise comparativa, por setor, do consumo de energia elétrica de 2014 para 2015.

Embora o consumo total de eletricidade tenha diminuído de 2014 para 2015, 9 em 13 setores aumentaram o seu consumo, com destaque para as instalações diversas, para os equipamentos de abastecimento de água e para os estabelecimentos escolares ativos (figura 5.2).

Como já foi explicado anteriormente, as instalações diversas são um setor bastante variável, pois inclui atividades temporárias a cargo da autarquia. Verifica-se que este foi o setor que mais variou no aumento percentual do consumo de eletricidade, onde 2015 representa mais de 60 % do seu consumo total em ambos os anos.

Quanto aos equipamentos de abastecimento de água, o seu aumento deve-se ao número de equipamentos instalados que aumentou de 2014 para 2015 de acordo com a CML. Este setor, relativamente a 2014, aumentou o seu consumo em 226.809,93 kWh, correspondendo ao maior aumento, em valor absoluto, entre todos os setores.

Os estabelecimentos escolares ativos também aumentaram o seu consumo de 2014 para 2015, visto que a escola básica da Fonte Santa iniciou atividade no ano letivo 2014/15. Quanto aos estabelecimentos escolares desativados, pode verificar-se na figura 5.2 que este foi o setor que mais variou na diminuição percentual do consumo, em que o seu consumo em 2015 representa pouco mais de 30 % do seu consumo total em ambos os anos.

Ainda que com 9 setores a aumentarem o seu consumo de energia elétrica de 2014 para 2015, o valor total em 2015 é menor graças aos valores de consumo da iluminação pública relativamente aos restantes setores. Poupou-se cerca de 2.069.863,00 kWh só neste setor, compensado o aumento nos 9 setores. Desde 2013 que as luminárias instaladas na iluminação pública do município de Loulé estão a ser substituídas por luminárias com tecnologia LED, razão pela qual se obteve esta diminuição no consumo de energia elétrica.

A equação 3.1 aplicada para calcular a Pegada de Carbono em 2015 teve em consideração os consumos de energia elétrica presentes na tabela 4.6 e o fator de emissão de $4,39 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Estão representados os resultados dos cálculos efetuados para cada setor na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2015.

Tipo de instalação (setor)	Pegada de Carbono (t CO₂)
Edifícios municipais	990,54
Instalações desportivas	841,33
Armazéns e oficinas	71,52
Habitacões sociais	15,02
Instalações diversas	183,61
Cemitérios e igrejas	20,52
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	81,34
Iluminação pública	7.445,30
Semáforos	48,12
Equipamentos de abastecimento de água	890,17
Equipamentos de águas residuais	57,08
Estabelecimentos escolares ativos	476,02
Estabelecimentos escolares desativados	14,33
Total	11.134,88

Em 2015, a Pegada de Carbono total provocada pelas atividades da autarquia foi de 11.134,88 t CO₂, aumentando face ao ano de 2014 embora o consumo total de 2014 para 2015 tenha diminuído. Com isto verifica-se que quanto mais fontes de energia não renovável forem utilizadas na produção de eletricidade, maior será a libertação de emissões de CO₂ para a atmosfera.

Ao contrário dos restantes setores, os estabelecimentos escolares desativados diminuíram a sua Pegada de Carbono de 2014 para 2015 devido ao seu elevado consumo em 2014 (figura 5.2).

A contribuição de cada setor relativamente ao total da Pegada de Carbono originada pelos serviços municipais a cargo da autarquia em 2015 apresenta-se na figura 5.3.

Pegada de Carbono em 2015

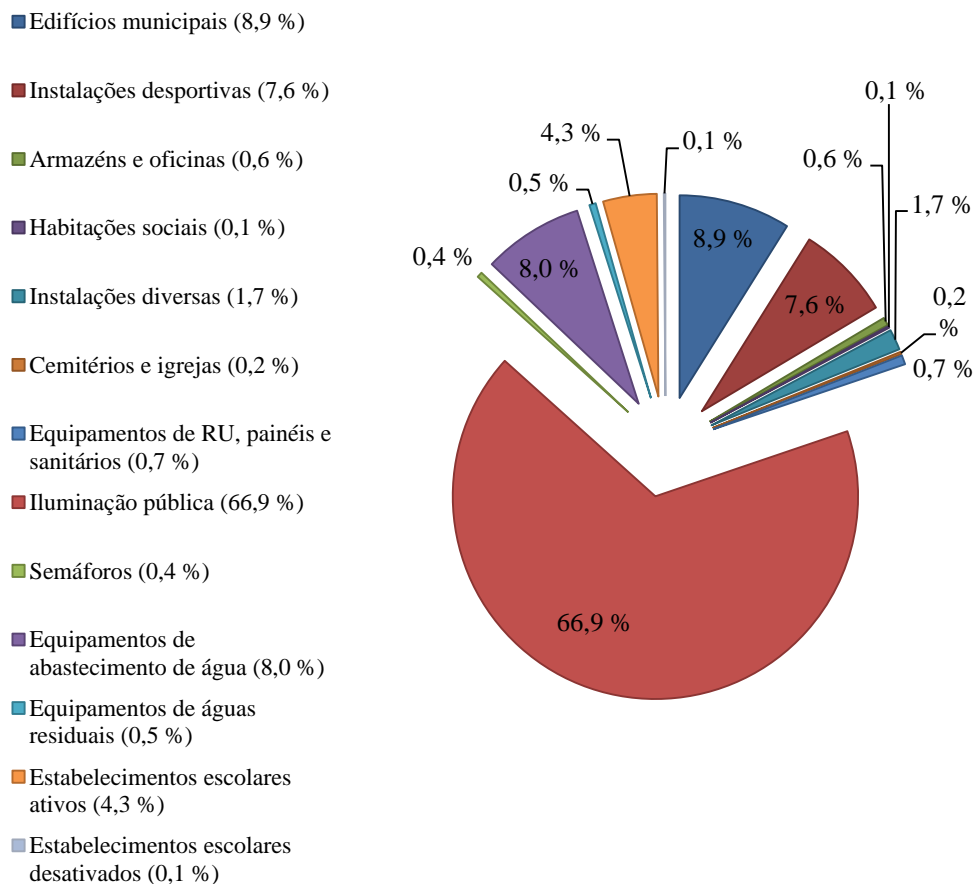


Figura 5.3 – Pegada de Carbono da autarquia em 2015.

A iluminação pública volta a ser o setor com maior Pegada de Carbono, libertando 7.445,30 t CO₂ (tabela 5.2), o que corresponde a 66,9 % do total.

Os restantes setores que se destacam relativamente ao total da Pegada de Carbono em 2015 são os mesmos que em 2014: edifícios municipais com 8,9 %; equipamentos de abastecimento de água com 8,0 %; instalações desportivas com 7,6 %; estabelecimentos escolares ativos com 4,3 %.

Tal como se verificou para 2014, surge a oportunidade de atuação sobre estes quatro setores que mais contribuem para a libertação de CO₂ para a atmosfera juntamente com a iluminação pública, com o objetivo de atingir a maior redução possível no valor total. Isto é, atuando nos setores mais consumistas da autarquia é possível atingir maiores reduções nas emissões de CO₂ por eles libertadas.

Observando as variações da Pegada de Carbono, por setor, de 2014 para 2015 na figura 5.4, verifica-se que embora alguns setores tenham diminuído o seu consumo de energia elétrica de 2014 para 2015 (figura 5.2), como é o caso da iluminação pública, a utilização de um fator de emissão maior em 2015 foi suficiente para provocar esse aumento; mostrando que as fontes de energia utilizadas na produção de energia elétrica têm preponderância nas emissões de CO₂ libertadas para a atmosfera. Esta situação foi observada por Tan *et al.* (2014) onde mostrou que a queima de combustíveis fósseis tem um grande peso na origem da Pegada de Carbono, correspondendo a 73,9 % desta.

Pegada de Carbono, por setor, de 2014 para 2015

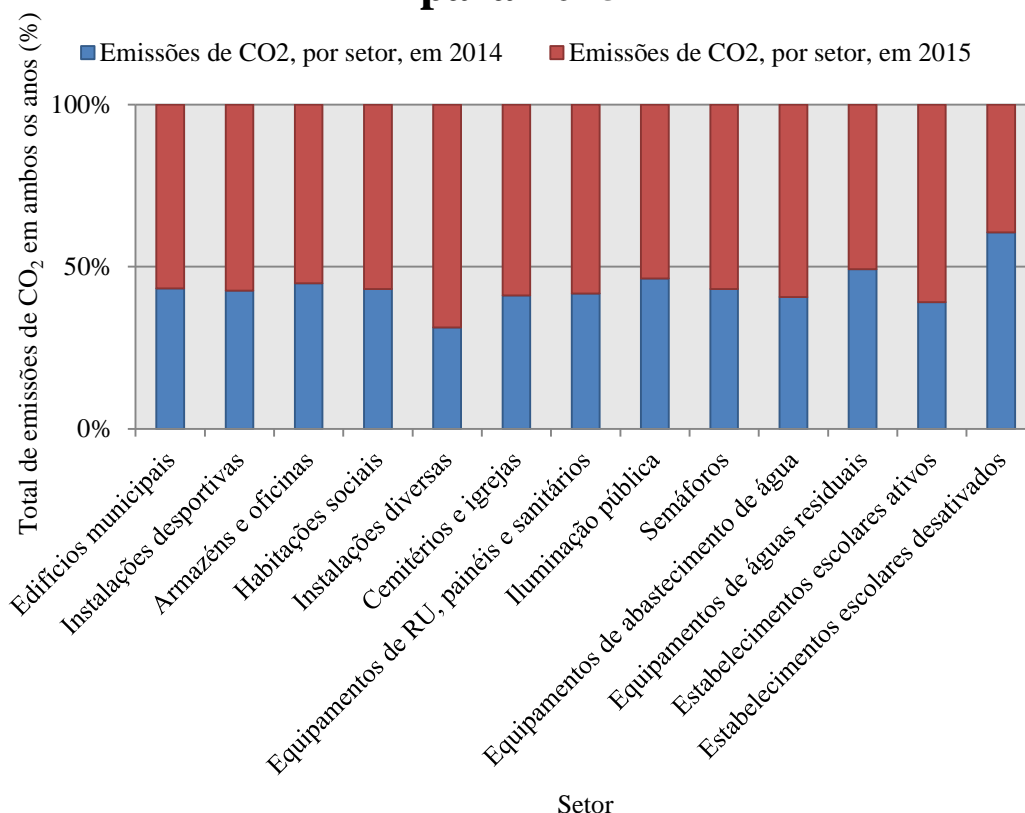


Figura 5.4 – Análise comparativa, por setor, da Pegada de Carbono de 2014 para 2015.

5.3 Pegada de Carbono em 2016

Em 2016 produziu-se e consumiu-se mais eletricidade com base em fontes renováveis (66,9 %) do que em 2014 e 2015, como se pode comparar entre as tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, onde o aumento da utilização das fontes de energia eólica na sua produção contribuíram significativamente para isso. Ainda, nos *mix* de 2014 e 2015 não havia referência à cogeração renovável, bem como a outras fontes renováveis.

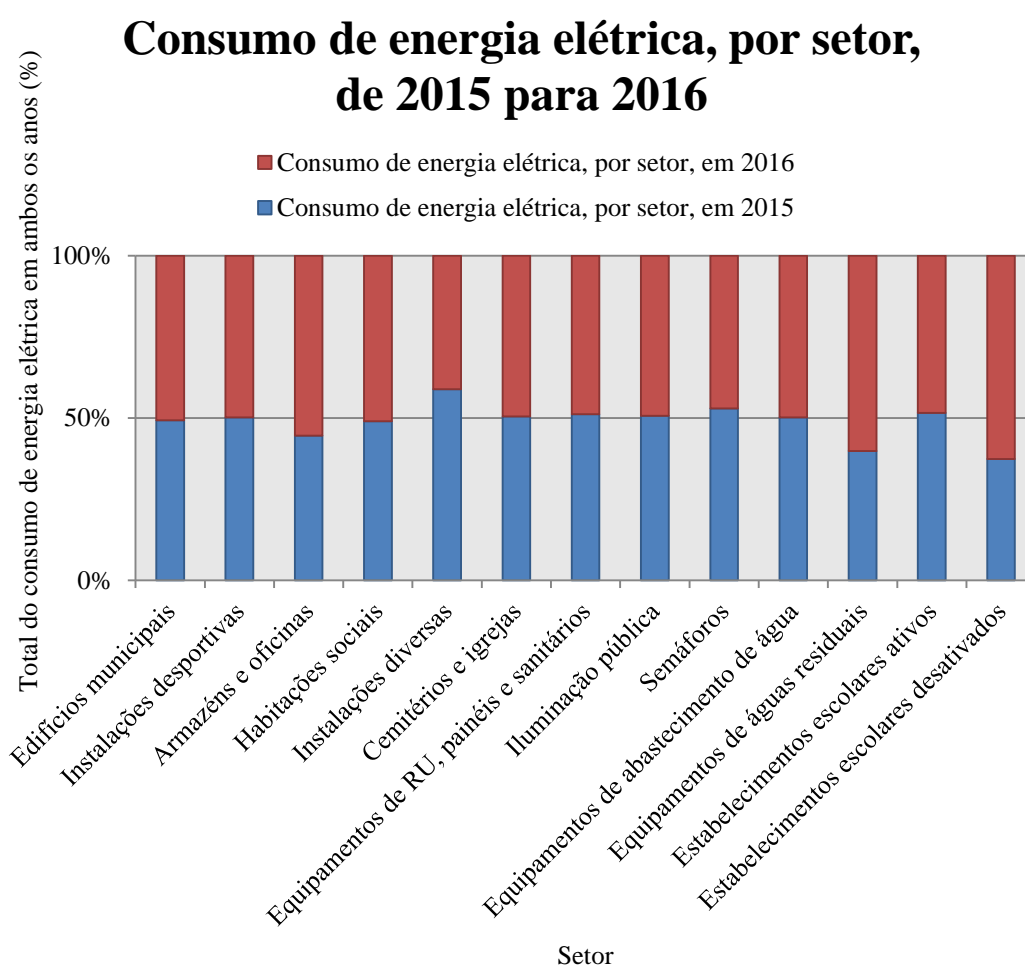


Figura 5.5 – Análise comparativa, por setor, do consumo de energia elétrica de 2015 para 2016.

O consumo total de energia elétrica voltou a diminuir relativamente ao ano anterior, reduzindo-se 504.922,23 kWh de 2015 para 2016, em grande parte devido à iluminação pública que diminuiu 449.848,00 kWh. Ainda assim 5 em 13 setores

aumentaram o seu consumo de eletricidade. Na figura 5.5 pode verificar-se o consumo de energia elétrica em ambos os anos (2015 e 2016).

Os edifícios municipais, os armazéns e oficinas, as habitações sociais, os equipamentos de águas residuais e os estabelecimentos escolares desativados são os 5 setores que aumentaram o seu consumo de 2015 para 2016.

Entre os setores que aumentaram o seu consumo elétrico em 2016, os estabelecimentos escolares desativados são o setor que mais variou em termos percentuais, onde 2016 representa mais de 60 % do seu consumo em ambos os anos. A razão do seu aumento está relacionada com estimativas efetuadas nas faturas elétricas pelo fornecedor de energia e que posteriormente foram corrigidas.

Os equipamentos de águas residuais, em valor absoluto, foram o setor que mais aumentou o seu consumo em 2016, consumindo mais 66.912,10 kWh relativamente ao ano anterior. De acordo com a CML, este aumento deve-se ao surgimento de novos sistemas de drenagem.

Uma vez mais as instalações diversas mostram que são um setor bastante variável. Este foi o setor que, em valor percentual, mais diminuiu o seu consumo elétrico em 2016, situação oposta a 2015.

A Pegada de Carbono em 2016 foi calculada através da equação 3.1, onde os consumos de energia elétrica estão presentes na tabela 4.7 e o fator de emissão é de $1,96 \times 10^{-4}$ t CO₂/kWh. Tendo em conta que o consumo de energia elétrica diminuiu em quase todos os setores entre 2015 e 2016 e o fator de emissão é menor relativamente a 2015, espera-se que as emissões de CO₂ também diminuam. Na tabela 5.3 apresentam-se os resultados dos cálculos efetuados para a Pegada de Carbono em 2016.

Tabela 5.3 – Pegada de Carbono dos serviços municipais em 2016.

Tipo de instalação (setor)	Pegada de Carbono (t CO₂)
Edifícios municipais	454,87
Instalações desportivas	372,58
Armazéns e oficinas	39,71
Habitacões sociais	6,98
Instalações diversas	57,45
Cemitérios e igrejas	8,99
Equipamentos de RU, painéis e sanitários	34,68
Iluminação pública	3.238,98
Semáforos	19,10
Equipamentos de abastecimento de água	394,43
Equipamentos de águas residuais	38,62
Estabelecimentos escolares ativos	199,87
Estabelecimentos escolares desativados	10,73
Total	4.877,00

A Pegada de Carbono total diminuiu face a 2015 (tabela 5.2), uma redução de 6.257,89 toneladas de CO₂, superior ao total da Pegada de Carbono quantificada em 2016, que corresponde a 56,20 % do total de 2015. Ainda assim, as instalações da autarquia originaram a libertação de 4.877,00 toneladas de CO₂ em 2016, valor superior às 3.000 toneladas calculadas no estudo de Larsen & Hertwich (2011).

A figura 5.6 mostra, em percentagem, a influência de cada setor face à Pegada de Carbono total em 2016.

Pegada de Carbono em 2016

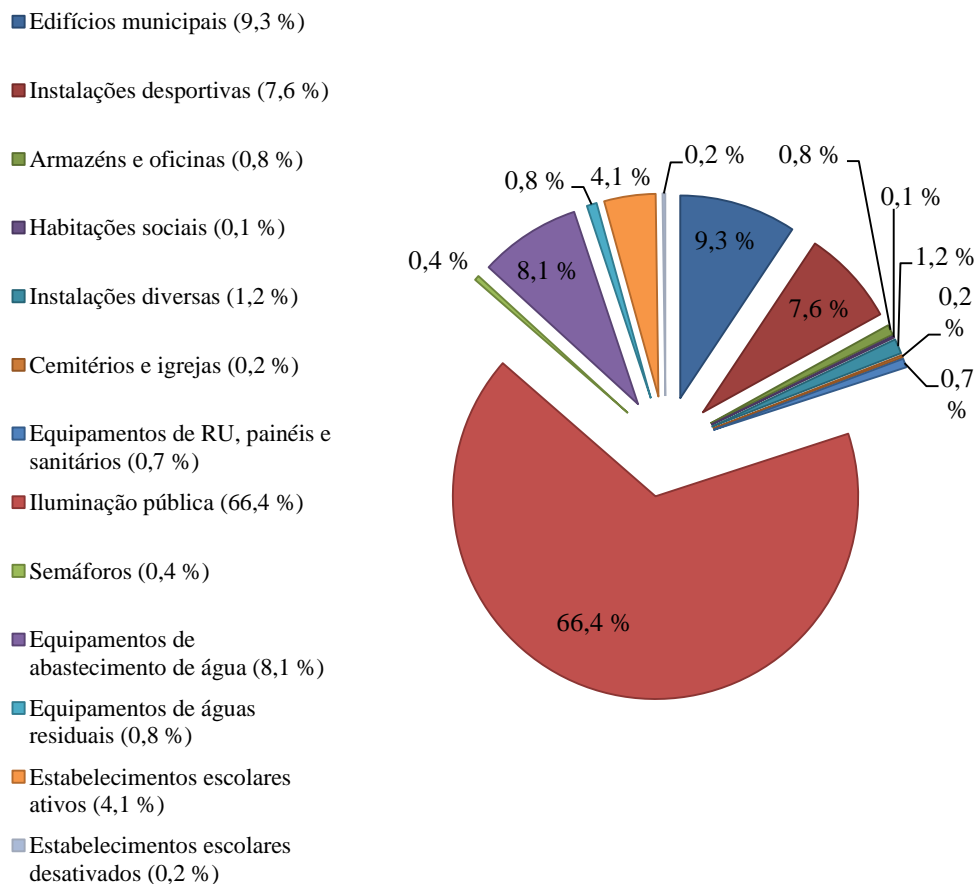


Figura 5.6 – Pegada de Carbono da autarquia em 2016.

Da Pegada de Carbono provocada pela autarquia em 2016, embora mais baixa do que em 2015, o setor da iluminação pública voltou novamente a ser o responsável pela maior libertação de CO₂ devido ao seu elevado consumo de energia elétrica relativamente aos restantes setores. A iluminação pública representa 66,4 % da Pegada de Carbono total.

Os outros setores com influência significativa na Pegada de Carbono em 2016 foram os edifícios municipais, os equipamentos de abastecimento de água, as instalações desportivas e os estabelecimentos escolares ativos com, respetivamente, 9,3 %, 8,1 %, 7,6 % e 4,1 %.

A figura 5.7 mostra as variações da Pegada de Carbono, por setor, de 2015 para 2016.

Pegada de Carbono, por setor, de 2015 para 2016

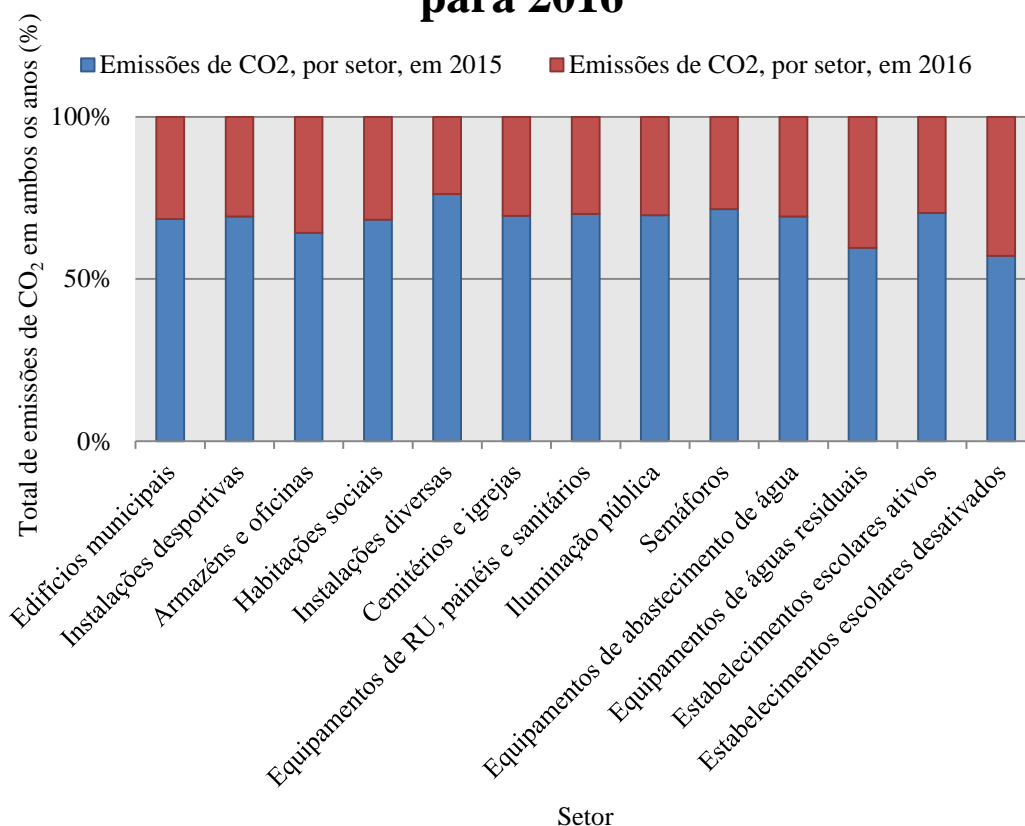


Figura 5.7 – Análise comparativa, por setor, da Pegada de Carbono de 2015 para 2016.

A redução registada no consumo de energia elétrica de 2015 para 2016 foi de 1,99 %, enquanto que a redução na Pegada de Carbono foi de 56,20 %. Isto mostra que à medida que o fator de emissão diminui, a proporção de redução da Pegada de Carbono aumenta, indicando que o fator de emissão tem grande relevância no CO₂ libertado para a atmosfera.

Observando a figura 5.7, todos os setores diminuíram a sua Pegada de Carbono de 2015 para 2016 de forma significativa. Se se comparar a figura 5.7 com a figura 5.5 pode-se verificar que quando se aplicou a equação 3.1 a influência do *mix* de fontes de energia utilizado na produção de energia elétrica sobre o consumo de energia elétrica fez com que os setores que aumentaram o seu consumo elétrico de 2015 para 2016, diminuíssem a sua Pegada de Carbono.

Esta situação deveu-se à utilização de uma maior percentagem de fontes de energia renovável em 2016 relativamente a 2015, fazendo com que se libertassem menores quantidades de CO₂ por cada kWh consumido. Posto isto, a aposta em fontes de energia renováveis deve ser uma medida prioritária a adotar no combate às alterações climáticas, tendo em conta que se começa a reduzir nas emissões de CO₂ a partir da origem.

A figura 5.8 que ilustra a Pegada de Carbono global calculada para os 3 anos em estudo demonstra que, embora o consumo elétrico tenha diminuído constantemente ao longo destes anos, as variações nos valores provocadas pelo tipo de fonte de energia utilizada na produção de eletricidade.

Pegada de Carbono no município de Loulé

■ 2014: 9.079,24 t CO₂ ■ 2015: 11.134,88 t CO₂ ■ 2016: 4.877,00 t CO₂

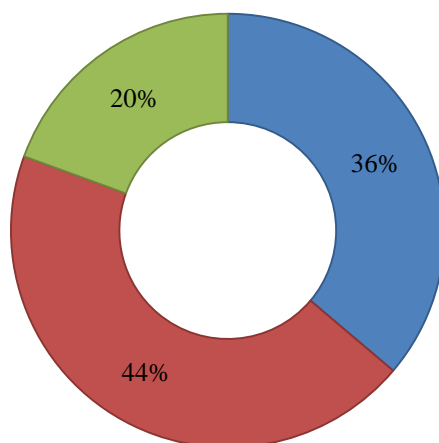


Figura 5.8 – Pegada de Carbono global, durante os 3 anos em estudo, no município de Loulé.

5.3 Setores selecionados para aplicar as medidas de redução do consumo de energia elétrica

Os setores onde se pretende aplicar medidas são os maiores consumidores de eletricidade e consequentemente os responsáveis, de forma indireta, pelas maiores quantidades de emissões de CO₂.

Na figura 5.9 está representada a Pegada de Carbono dos serviços municipais da responsabilidade da autarquia para os 3 anos em estudo. O setor da iluminação pública foi excluído do gráfico devido aos seus elevados valores; assim, é possível verificar com pormenor os restantes setores e perceber em quais deles se deve atuar.

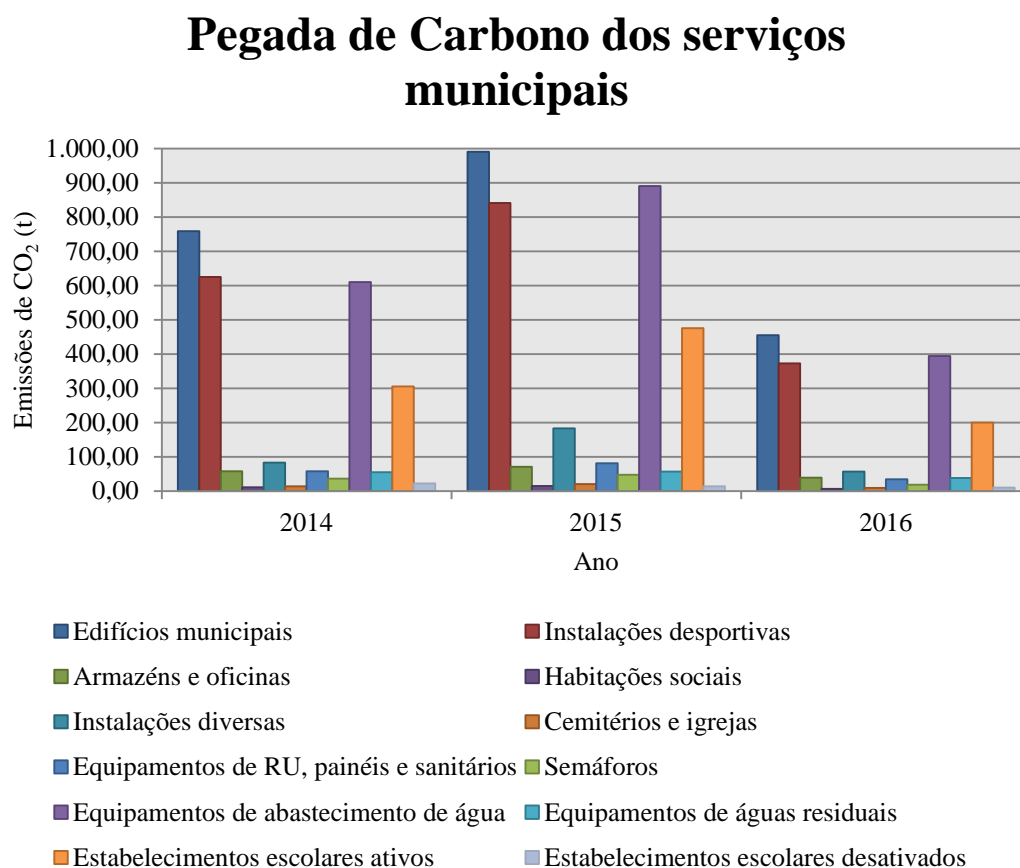


Figura 5.9 – Pegada de Carbono dos serviços municipais, por setores, excepto a iluminação pública.

À parte da iluminação pública onde também se sugeriram medidas de eficiência energética, os edifícios municipais são o setor que mais CO₂ emitem para a atmosfera, tanto em 2014 como em 2015 e 2016, mostrando que o consumo de

energia elétrica neste setor é mais elevado comparativamente com os restantes. Portanto, é um setor onde se deve aplicar medidas para que se possa reduzir o consumo de eletricidade e as emissões de CO₂ a ele associadas. Optou-se por eleger o Cine-Teatro Louletano para aplicar medidas de redução do consumo elétrico tendo em conta o seu carácter especial e visto que é uma das instalações mais consumidoras do setor dos edifícios municipais (10,12 %), como se pode observar assinalado a amarelo no anexo B. Sendo que o Cine-Teatro abrange apenas 10,12 % do consumo elétrico total provocado pelo setor dos edifícios públicos, esperam-se reduções baixas relativamente a esse consumo.

Como já se verificou anteriormente, os equipamentos de abastecimento de água aumentaram a sua Pegada de Carbono de 2014 para 2015, superando os valores das instalações desportivas tanto em 2015 como em 2016, ou seja, é o segundo setor com maior Pegada de Carbono. Neste setor as medidas de redução de energia elétrica propostas são qualitativas e não quantitativas.

Os setores das instalações desportivas e dos estabelecimentos escolares ativos também registam emissões de CO₂ significativas relativamente ao valor da Pegada de Carbono total do município de Loulé. Neste trabalho não foram aplicadas medidas nestes dois setores. Sugere-se, num futuro estudo, a aplicação de medidas de eficiência energéticas nestes setores, de forma a dar continuidade ao trabalho realizado no presente estudo de caso.

6. MEDIDAS DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

6.1 Medidas de mudança de comportamento

Sugere-se a implementação das medidas mencionadas em 2.5.1 e que estas sejam colocadas nas entradas das instalações da CML, incluindo apenas as medidas que sejam possíveis de aplicar atendendo ao tipo de equipamentos elétricos de cada instalação, bem como via *e-mail* para todos os funcionários da autarquia e também através do *website* da autarquia, de forma a alcançar todos os ocupantes que usufruam dos equipamentos elétricos das instalações. Embora não seja possível quantificar o impacto que estas medidas possam ter na Pegada de Carbono provocada pelas instalações da responsabilidade da autarquia, pelo que foi referido em 2.5.1, espera-se que se consiga alcançar uma redução no consumo total do município de pelo menos 10 %, e por isso define-se essa meta no presente estudo.

Na aplicação destas medidas incluem-se apenas os setores dos edifícios municipais, as instalações desportivas, os armazéns e oficinas, as instalações diversas e os estabelecimentos escolares ativos e desativados, visto que os trabalhadores da autarquia não têm controlo direto sobre os equipamentos elétricos dos restantes setores. O consumo total e a Pegada de Carbono associada destes setores em 2016 foram de 5.791.252,91 kWh e de 1.135,20 t CO₂, respetivamente. Assumindo uma redução de 10 %, estas instalações podem vir a emitir apenas 1.021,68 t CO₂ o que significa reduções de 579.125,29 kWh e de 113,52 t CO₂.

A recolha regular do consumo de energia elétrica na autarquia associada a cada equipamento irá ajudar a CML nas mensagens que devem ser transmitidas aos consumidores de energia. Propõe-se a instalação de contadores automáticos, que registam o consumo elétrico em tempo real, associados a cada equipamento elétrico para possibilitar uma análise completa dos comportamentos dos seus utilizadores e o consumo a eles associado. Isto permite saber quais os equipamentos mais consumidores e onde se deve aplicar medidas, como por exemplo, limitar a

climatização aos espaços efetivamente ocupados (EnerBuilding.eu, 2008). A leitura dos consumos também permite dar a conhecer aos funcionários da autarquia e outros ocupantes das instalações os seus consumos, definir pontos de partida e objetivos individuais e motivá-los a reduzi-los (Canfora *et al.*, 2015).

6.2 Substituição da tecnologia atualmente existente

Como já foi atrás referido no presente estudo de caso, os quatro indicadores tidos em conta na decisão de que tipo de tecnologia substituirá as que estão atualmente instaladas são a sua eficiência luminosa, a potência, o tempo de vida útil e o custo de aquisição do equipamento.

6.2.1 Iluminação pública

No município de Loulé estão instalados 35.964 equipamentos de iluminação pública como apresenta a figura 6.1. Entre eles, as tecnologias atualmente instaladas são as luminárias com lâmpadas fluorescentes, LED, de vapor de mercúrio de alta pressão, de iodetos metálicos e de vapor de sódio de alta pressão. A tabela presente no anexo C mostra os tipos de tecnologias existentes, as suas quantidades e as respetivas potências.

Número de luminárias instaladas no município de Loulé

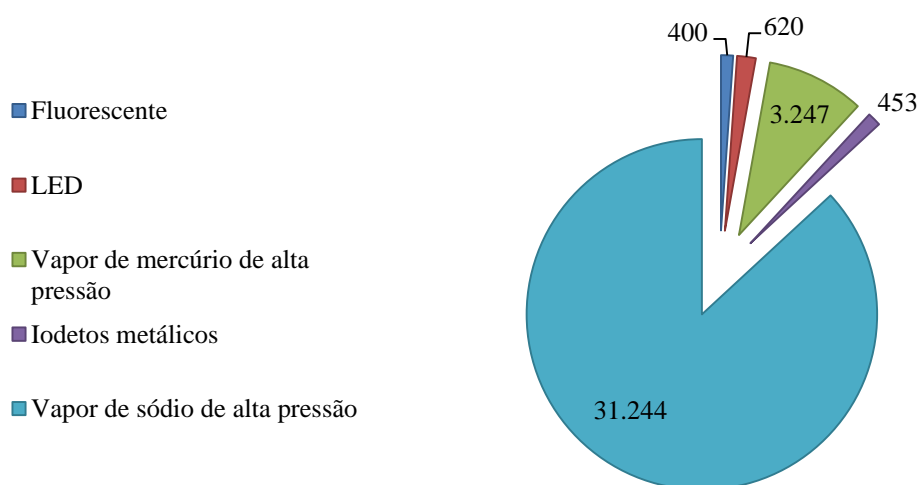


Figura 6.1 – Número de luminárias atualmente instaladas no município de Loulé.

Como se pode observar no anexo C as luminárias com um consumo de energia mais significativo são aquelas com lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão e de vapor de sódio de alta pressão, estando instaladas 3.247 e 31.244 luminárias, respetivamente. Para além da quantidade, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão destacam-se de todas as outras luminárias com 3.254.850 W de potência instalada.

As lâmpadas de tecnologia LED têm sido instaladas no município desde 2013. Com isto, o consumo de energia elétrica neste setor tem diminuído ao longo do tempo, como já se observou neste estudo entre os anos de 2014 e 2016. Atualmente estão instaladas 620 luminárias LED no município de Loulé.

Pretende-se propor a substituição de todas as luminárias atualmente instaladas no município de Loulé equipadas com as tecnologias descritas no anexo C por luminárias mais eficientes equipadas com tecnologia LED e, assim, dar continuidade ao que tem sido feito até agora. A proposta apresentada pretende diminuir o consumo de energia elétrica no município e as emissões de CO₂ a ele associadas.

Posto isto, mantendo as 620 luminárias LED atualmente instaladas com uma potência de 38.230 W, serão propostas 35.344 novas luminárias LED em detrimento

da iluminação existente, com uma potência instalada de 3.617.635 W. Optou-se por dois tipos de luminárias LED, através do catálogo da Philips (assinaladas a amarelo no anexo D), pela qualidade do material que apresentam.

As luminárias têm eficiências luminosas idênticas, mas variam na sua potência e preço de aquisição. De forma a verificar dois cenários diferentes em termos de consumo elétrico, proveniente da potência do equipamento a instalar, e de *payback*, que consiste no tempo de amortização do investimento inicial. Na tabela 6.1 apresentam-se os dois cenários respetivos a cada tipo de luminária selecionada. A potência a instalar foi calculada a partir da equação 3.2 e o investimento inicial a partir da equação 3.3.

Tabela 6.1 – Luminárias propostas na substituição da iluminação pública atualmente instalada.

Tipo de luminária	N.º de luminárias a instalar	Potência (W)	Potência a instalar (W)	Investimento (€)
Clear Way (cenário 1)	35.344	16,8	385.956,48	18.118.394,72
UniStreet (cenário 2)	35.344	19,8	454.877,28	16.555.836,48

Para o cálculo da potência a instalar considerou-se um *dimming* de 65 %, valor médio concordado pela CML. No cenário 1 a potência a instalar é menor, mas o investimento inicial é maior e o cenário 2 apresenta a situação oposta. Uma vez que o investimento é elevado em ambos os cenários devido ao número de luminárias a substituir, deve optar-se por substituir primeiro as luminárias com menor eficiência luminosa, como é o caso das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta e baixa pressão.

Os dados utilizados para os cálculos do dimensionamento desta substituição são respetivos a 2016, por serem os dados mais recentes deste estudo. Considerou-se o fator de emissão proveniente do *mix* da tabela 4.4. Na tabela 6.2 podem verificar-se os resultados do dimensionamento desta substituição, onde se utilizou um tempo de utilização médio anual dos equipamentos, cedido pela CML, de 4.000 horas/ano e um preço de eletricidade de 0,16 €/kWh. O custo do consumo de eletricidade é dado pela equação 3.4.

Tabela 6.2 – Dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada.

Cenário	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO ₂ /ano)	Custo do consumo (€/ano)
1	1.543.825,92	302,59	247.012,15
2	1.819.509,12	356,62	291.121,46

Como seria de esperar, o cenário 1 apresenta um consumo de energia elétrica menor do que o cenário 2 e, por conseguinte, uma Pegada de Carbono e custo associado também menor. Para comparar estes valores com os valores obtidos do consumo de energia elétrica e Pegada de Carbono na iluminação pública em 2016 (tabelas 4.7 e 5.3), é necessário contabilizar as luminárias LED existentes que se manterão instaladas, somando aos valores da tabela 6.2. Na tabela 6.3 apresentam-se os valores dessas luminárias tendo em conta o seu número e potência instalada. O custo do consumo é dado pela equação 3.4.

Tabela 6.3 – Consumo de energia elétrica, Pegada de Carbono e custo associado das luminárias LED que se manterão instaladas no município de Loulé.

LED atualmente instaladas	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO ₂ /ano)	Custo do consumo (€/ano)
	152.920,00	29,97	24.467,20

Assim, os valores totais para cada cenário apresentam-se na tabela 6.4. O custo do consumo é dado pela equação 3.4.

Tabela 6.4 – Valores totais do dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada e valores antes da substituição.

Período	Cenário	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO ₂ /ano)	Custo do consumo (€/ano)
Antes da substituição	Atual (2016)	16.523.743,00	3.238,98	2.643.798,88
Após a substituição	1	1.696.745,92	332,56	271.479,35
	2	1.972.429,12	386,59	315.588,66
Poupança	1	14.826.997,08	2.906,42	2.372.319,53
	2	14.551.313,88	2.852,39	2.328.210,22

Como se pode observar na tabela 6.4, os cenários 1 e 2 apresentam reduções de 89,73 % e 88,06 %, respetivamente, face ao consumo de energia elétrica da iluminação pública calculado em 2016 (tabela 4.7). Quanto à Pegada de Carbono, as percentagens de redução são as mesmas. Estes valores mostram que ambos os cenários correspondem aos objetivos do presente estudo.

Embora o cenário 1 consuma menos energia elétrica e emita menos CO₂ para a atmosfera, o investimento inicial é maior. Tendo em conta esse investimento, apresentado na tabela 6.1, e as reduções nos custos da eletricidade que podem ser obtidas, calculou-se o *payback* para cada cenário, como mostra a tabela 6.5. Visto que o tempo de vida das luminárias é o mesmo (anexo D), o tempo de lucro da CML depende do *payback* e, por isso, o cenário que apresenta menor *payback*, apresenta maior tempo de lucro. O *payback* e o tempo de vida são dados pelas equações 3.6 e 3.5, respetivamente.

Tabela 6.5 – *Payback* do dimensionamento da substituição da iluminação pública atualmente instalada.

Cenário	<i>Payback</i> (anos)	Tempo de vida (anos)	Tempo de lucro (anos)
1	7,64	25,00	17,36
2	7,11	25,00	17,89

Verifica-se que embora seja possível obter maiores reduções no cenário 1, o tempo de amortização do investimento inicial é maior, em cerca de meio ano. Atendendo aos impactes ambientais que advêm da Pegada de Carbono, sendo que é maior no cenário 2, e tendo em conta que consegue-se lucrar em ambos os cenários, a longo prazo, ou seja, após o tempo de amortização, sugere-se a aquisição das luminárias propostas no cenário 1.

6.2.2 Cine-Teatro Louletano

O Cine-Teatro Louletano, inaugurado em 1930 (CINE-TEATRO LOULETANO, n.d.), é um edifício público de carácter especial devido ao seu valor na área do património histórico-cultural, consentido de várias restrições no que diz respeito aos componentes do edifício. O tipo de espetáculos que o Cine-Teatro recebe é diversificado, passando desde a arte dramática, lírica, cinematográfica, dança e concertos musicais (CINE-TEATRO LOULETANO, n.d.); para além desta diversidade, o número de espetáculos varia ano após ano. Consequentemente o consumo de eletricidade também varia dependendo do tipo e número de espetáculos, seja a nível de iluminação, som e sistema AVAC, dificultando a noção do consumo médio anual para cada equipamento. É necessário haver, periodicamente, testes de bombas de incêndio no edifício o que também provoca consumo de energia elétrica. Embora o consumo de energia elétrica seja variável, esta é uma das instalações que regista maior consumo no município, representando cerca de 10,12 % do consumo total do setor dos edifícios municipais em 2016.

Ao nível da iluminação, para além dos espetáculos – iluminação cénica, a iluminação restante do edifício (normal e de segurança) também apresenta um consumo significativo. Na tabela 6.6 estão apresentados os tipos de equipamentos de iluminação instalados no Cine-Teatro Louletano.

Tabela 6.6 – Tipos e características da iluminação instalada em 2016 no Cine-Teatro.

Tipo de iluminação	Tipo de tecnologia	N.º de luminárias	Potência (W)	Potência instalada (W)	Tempo de funcionamento (h/ano)
Segurança	Fluorescente	247	8	1.976	8.760 (ligadas em permanência todo o ano*)
Cénica (espetáculo)	Halogéneo	35	1.000	35.000	800
	LED	10	108	1.080	
Normal	Halogéneo	29	75	2.175	1.000
	Halogéneo	24	50	1.200	
	Fluorescente	21	36	756	

*Conforme o Projeto de Segurança Contra Incêndios.

A iluminação do espetáculo propriamente dito é altamente especializada, composta por 35 projetores de halogéneo (figura 6.2 A). Esta iluminação não é a mais eficiente do ponto de vista energético tendo em conta o seu tipo de tecnologia e a potência de cada projetor, onde durante o espetáculo se utiliza entre 20.000 e 30.000 W em simultâneo, dependendo das características de cada um. Como foi mencionado em 2.5.2.1, este tipo de lâmpadas dissipa cerca de 90 % da potência fornecida em calor, aquecendo os compartimentos do edifício. Uma vez que as potências dos projetores são elevadas, a quantidade de calor dissipado para o edifício também o é.

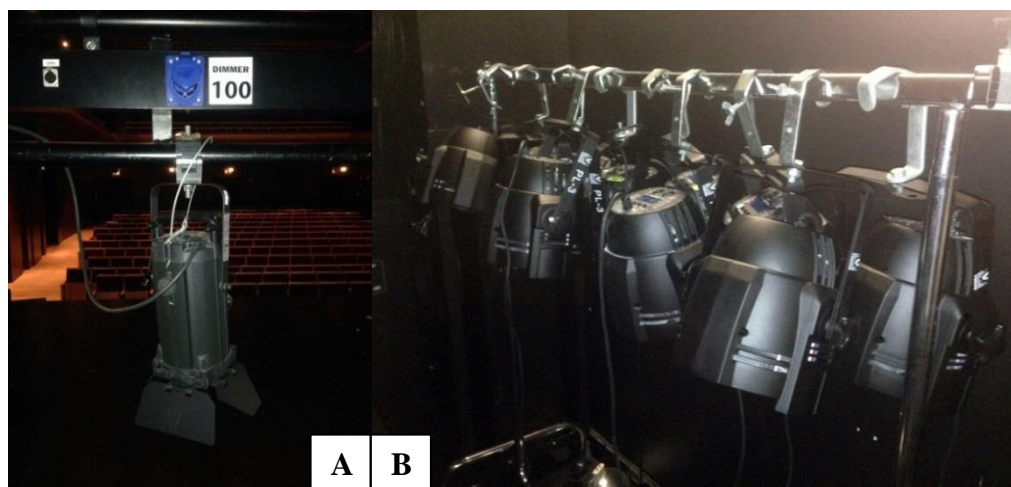


Figura 6.2 – Projetor de halogéneo (A) e os projetores LED (B) utilizados no Cine-Teatro em 2016.

Hoje em dia já existem alternativas equipadas com tecnologia LED para iluminação de espetáculos; como se pode observar na figura 6.2 B, o Cine-Teatro já possui 10 projetores da marca VSOUND, cada um com 36 LED de apenas 3 W cada (VSOUND, 2017). A substituição dos restantes projetores de halogéneo por projetores LED diminuiria o consumo elétrico da iluminação do edifício, bem como as transferências de calor provenientes dos projetores de halogéneo que o sistema AVAC tem que colmatar. No entanto, por motivos cénios, estéticos e de exigência dos artistas é necessário manter os projetores de halogénio no Cine-Teatro. A tecnologia LED está a avançar no que diz respeito à iluminação cénica mas ainda tem uma capacidade limitada em comparação com os projetores de halogéneo, em que na maioria dos espetáculos ainda não consegue cumprir as exigências necessárias.

Quanto ao sistema AVAC do edifício, este sustenta algumas desvantagens obrigando-o a grandes consumos de energia elétrica. As desvantagens são:

- a porta de entrada do edifício necessita de se manter sempre aberta para que os clientes saibam que o Cine-Teatro se encontra operacional, perdendo ou recebendo calor do exterior;
- embora o edifício tenha sido remodelado entre 2008 e 2010, este é antigo e portanto o isolamento não é o melhor, obrigando a utilização do sistema AVAC durante mais tempo do que em caso de bom isolamento;
- a sala de espetáculos do Cine-Teatro (figura 6.3), com 325 lugares disponíveis, é ampla com um volume aberto equivalente a quatro andares; o palco tem cinco andares de altura aberta e o átrio três. O sistema AVAC tem um grande volume de tratamento do ar, necessitando de mais tempo de funcionamento para manter a temperatura dos compartimentos num intervalo de conforto aceitável para as pessoas e para os equipamentos;
- o sistema AVAC tem que arrefecer o calor dissipado pelos projetores de halogéneo de forma a manter o conforto térmico das pessoas e dos equipamentos.

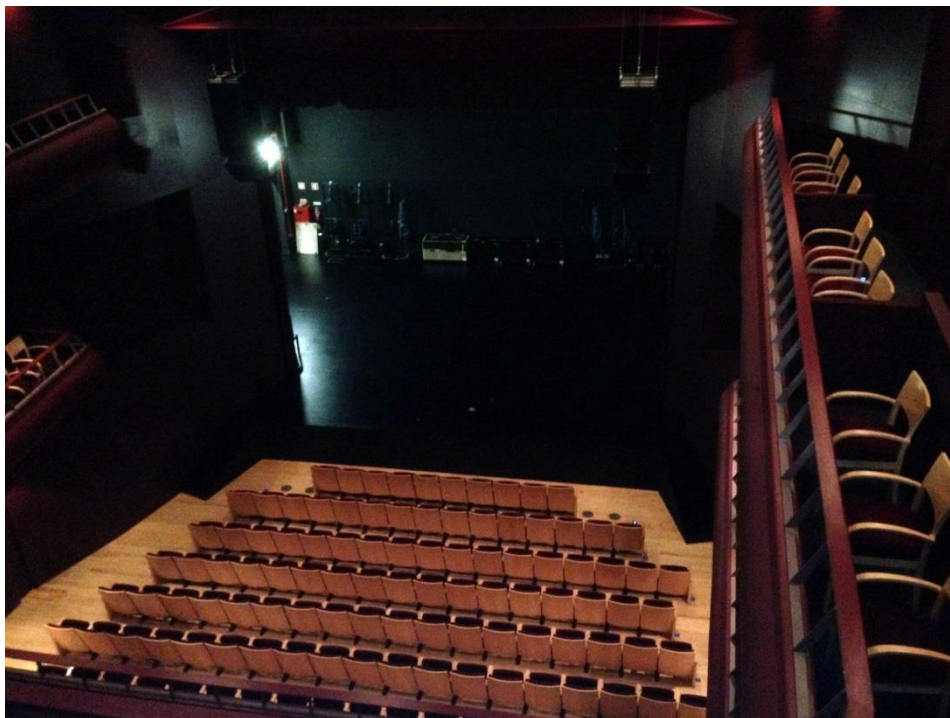


Figura 6.3 – Sala de espetáculos e palco do Cine-Teatro.

Visto isto, surge a oportunidade de propor medidas nalgumas destas desvantagens. Relativamente à situação da porta de entrada aberta, segundo a informação recolhida, já foi analisado um sistema de duas portas mas por motivos de segurança não foi possível implementá-lo. Sugere-se então a colocação de uma cortina de ar. Embora esta medida não seja quantificada no presente trabalho, a sua função permite minimizar as transferências de calor entre o interior do edifício e o exterior (Soler&Palau, 2015), e assim, diminuir o consumo de eletricidade do sistema AVAC.

O isolamento térmico condicionado e a amplitude dos compartimentos devem-se às restrições que o Cine-Teatro possui devido ao seu valor na área do património histórico-cultural.

No que diz respeito à situação contraditória entre a utilização de projetores de halogéneo que dissipam calor e a execução do sistema AVAC para o colmatar, esta ainda não pode ser evitada devido às exigências estéticas e cénicas. Futuramente o avanço da tecnologia permitirá utilizar projetores LED com as mesmas capacidades em todos os tipos de espetáculos; numa situação em que a dissipação de calor é

praticamente nula, para além da diminuição do consumo de energia elétrica por parte da iluminação, também se diminui o consumo provocado pelo sistema AVAC.

Tendo em consideração estas limitações, a iluminação normal do Cine-Teatro é onde se pode atuar em termos de eficiência energética; propôs-se a sua substituição por tecnologia LED. Tendo em conta o tipo de tecnologia, a potência e que o número de lâmpadas na iluminação de segurança é elevado e que estas estão ligadas em permanência todo o ano, sugere-se a substituição das mesmas consoante o término do seu tempo de vida útil, e por isso, a iluminação de segurança do Cine-Teatro não será substituída neste estudo.

A substituição sugerida engloba 53 lâmpadas de halogéneo mais 21 lâmpadas fluorescentes por 74 lâmpadas LED. O anexo E apresenta as lâmpadas possíveis de instalar no Cine-Teatro de acordo com as exigências referidas em 3.4.2, obtidas através do catálogo da Philips de outubro de 2017 (Philips, 2017). A lâmpada selecionada para o dimensionamento da substituição da iluminação atualmente existente encontra-se assinalada a amarelo no anexo E. Na tabela 6.7 apresentam-se os valores para o dimensionamento de acordo com as características da lâmpada selecionada. A potência a instalar é dada pela equação 3.2 e o investimento inicial pela equação 3.3.

Tabela 6.7 – Lâmpada proposta na substituição da iluminação normal atualmente instalada no Cine-Teatro.

Tipo de Lâmpada	N.º de lâmpadas a instalar	Potência (W)	Potência a instalar (W)	Investimento (€)
Lâmpada Philips 4,9-50W GU10 830 36º	74	4,9	362,6	646,76

A tabela 6.8 mostra os resultados do dimensionamento da substituição da iluminação acima mencionada, onde os dados utilizados são respetivos a 2016. Foi utilizado uma tarifa para calcular o custo do consumo de eletricidade, cedido pela CML, de 0,20 €/kWh. O custo do consumo foi calculado a partir da equação 3.4.

Tabela 6.8 – Dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro.

Tipo de lâmpada	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO₂/ano)	Custo do consumo (€/ano)
Lâmpada Philips 4,9- 50W GU10 830 36°	362,60	0,07	72,52

No que diz respeito apenas à iluminação normal, os cálculos mostram que se pode reduzir cerca de 91 % do consumo de eletricidade que estava a ser provocado pelas lâmpadas a substituir, de acordo com os dados da tabela 6.6. Para se perceber o quanto esta substituição pode reduzir o consumo de energia elétrica do Cine-Teatro registado em 2016, a Pegada de Carbono a este associada e o custo do consumo, é necessário contabilizar estes indicadores das lâmpadas e projetores que se manterão instalados, isto é, a iluminação de segurança e a iluminação cénica. Na iluminação cénica assumiu-se apenas o consumo dos projetores de halogéneo visto que são utilizados na maior parte dos espetáculos relativamente aos projetores LED e ambos não se utilizam em simultâneo. Assim, a tabela 6.9 mostra os cálculos das tecnologias que não serão substituídas. O custo do consumo é dado pela equação 3.4.

Tabela 6.9 – Consumo de energia elétrica, Pegada de Carbono e custo associado da iluminação que se manterá instalada no Cine-Teatro.

Tipo de iluminação	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO₂/ano)	Custo do consumo (€/ano)
Segurança	17.309,76	3,39	3.461,95
Cénica	24.000,00	4,70	4.800,00

Somando os valores das tabelas 6.8 e 6.9 tem-se o dimensionamento total após a substituição da iluminação atualmente instalada pelos novos equipamentos propostos. A tabela 6.10 apresenta os valores antes e após a substituição da iluminação atualmente instalada. O custo do consumo é dado pela equação 3.4.

Tabela 6.10 – Valores totais do dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro e valores antes da substituição.

Período	Consumo de eletricidade (kWh/ano)	Pegada de Carbono (t CO ₂ /ano)	Custo do consumo (€/ano)
Antes da substituição (2016)	45.440,76	8,91	9.088,15
Após a substituição	41.672,36	8,17	8.334,47
Poupança	3.768,40	0,74	753,68

Segundo a autarquia, o Cine-Teatro Louletano em 2016 consumiu ao todo 234.888,95 kWh de eletricidade (assinalado a amarelo no anexo B), o que representa cerca de 10,12 % do setor dos edifícios municipais, fazendo desta instalação das mais consumidoras do setor. Tendo isto em conta, a iluminação do Cine-Teatro em 2016 foi 19,35 % do total do consumo elétrico do edifício, onde a restante parte do consumo provém maioritariamente do sistema AVAC. Na figura 6.4 apresenta-se a poupança obtida com a substituição da iluminação normal.

Poupança na iluminação do Cine-Teatro

■ Iluminação de segurança ■ Iluminação cénica ■ Iluminação normal ■ Poupança

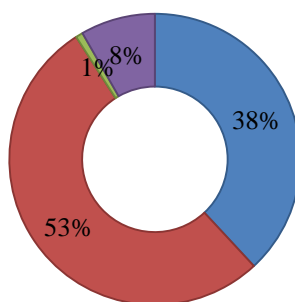


Figura 6.4 – Poupança do consumo elétrico e da Pegada de Carbono na iluminação do Cine-Teatro.

Pode verificar-se diretamente na tabela 6.10 que após a substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro Louletano, o consumo de energia elétrica, a Pegada de Carbono e o custo do consumo diminuem face aos valores registados em

2016. Isto representa uma redução de cerca de 8,3 % (figura 6.4) relativamente ao consumo elétrico e Pegada de Carbono da iluminação do Cine-Teatro antes da substituição. Após a substituição o Cine-Teatro passará a consumir 231.120,55 kWh, representando uma redução face ao valor registado em 2016 pelo edifício de 1,6 %. Assim, embora em quantidades mínimas, pode-se reduzir as emissões de CO₂ associadas ao consumo elétrico por parte do Cine-Teatro.

A poupança anual (lucro) do custo da eletricidade é de 753,68 €, valor superior ao investimento inicial necessário. Calculou-se o *payback* como se pode verificar na tabela 6.11. O tempo médio de vida útil da lâmpada Philips sugerida pode ser consultado no anexo E. O *payback* foi calculado a partir da equação 3.6 e o tempo de vida pela equação 3.5.

Tabela 6.11 – *Payback* do dimensionamento da substituição da iluminação atualmente instalada no Cine-Teatro.

Tipo de lâmpada	<i>Payback</i> (anos)	Tempo de vida (anos)	Tempo de lucro (anos)
Lâmpada Philips 4,9-50W GU10 830 36°	0,86	25	24,14

Como se verifica na tabela 6.11, o *payback* da lâmpada Philips é bastante baixo, pois face à poupança anual que é possível obter, o investimento inicial considera-se baixo. Sendo que as lâmpadas operam anualmente, em média, durante 1.000 horas, o tempo de lucro é de 24,14 anos.

6.2.3 Equipamentos de abastecimento de água

Atualmente o abastecimento de água no concelho de Loulé é assegurado pelas albufeiras das barragens de Odeleite e do Beliche. Em zonas carenciadas há a possibilidade de utilizar reservas subterrâneas de água (CML, n.d.d).

As condutas adutoras integradas na rede de distribuição têm cerca de 100 km de distância e diâmetro entre 200 e 1.200 mm (CML, n.d.d). Para além disso, a rede

apresenta sete estações elevatórias e seis reservatórios (pontos de entrega de água) (Teixeira *et al.*, 2016).

Os SAA existentes no município de Loulé apresentam-se caracterizados na tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Caracterização dos SAA no município de Loulé (adaptado de CML, n.d.d).

SAA	Origem da água	Capacidade (m ³)	Estação elevatória	
			Caudal (m ³ /h)	Elevação (m)
Almancil	Subterrânea	600	-	-
Alte	Subterrânea	200	32	90
Ameixial	Subterrânea	22,5	-	-
Benafim	Subterrânea	150	-	-
Boliqueime	Subterrânea	600	80	80
Loulé	Subterrânea e superficial	6.025	300	60
			50	50
			200	120
Salir	Subterrânea	150	32	90
Quarteira	30 % subterrânea e 70 % superficial	3.050	200	30
Total	-	10.797,5	894	520

De acordo com um estudo realizado no município de Loulé entre 2013 e 2014 com o objetivo de testar o desempenho de indicadores através de uma matriz de gestão de energia em serviços de água municipais, verificou-se que, embora a percentagem de fugas nos SAA tenha melhorado entre os dois anos de estudo, em 2014 ocorreram perdas totais de água acima dos 30,7 % (Teixeira *et al.*, 2016). Outra oportunidade de redução do consumo de eletricidade e da Pegada de Carbono a este associada é através da utilização de DVV, pois como se pode observar na tabela 6.12 os caudais das bombas hidráulicas são fixos e com a utilização destes dispositivos a bomba pode operar com caudais mais baixos e adequados ao consumo de água em tempo

real e consequentemente com consumos de eletricidade mais reduzidos, para além de prevenir a ocorrência de furos nas condutas.

Portanto, de acordo com o que foi apresentado neste trabalho em 2.5.3 e tendo em conta a informação contida na tabela 2.4, sugere-se que se apliquem medidas relativamente ao controlo das fugas e reparação das condutas adutoras degradadas.

Sugere-se também que se substitua as bombas hidráulicas atualmente instaladas no sistema por bombas mais eficientes, bem como os motores atualmente instalados por motores mais eficientes e que se utilize DVV pois, como se pode observar na tabela 6.12, o caudal das bombas hidráulicas é fixo. Para todas as medidas sugeridas assumem-se os valores mínimos das poupanças elétricas estimadas presentes na tabela 2.4, visto não haver informação suficiente para saber se se podem obter percentagens de redução maiores.

Tabela 6.13 – Reduções obtidas no consumo de energia elétrica nos equipamentos de abastecimento de água após a aplicação de medidas.

Medida	Poupança estimada (%)	Consumo de eletricidade poupado (kWh)
Controlo das fugas e reparação das condutas adutoras	25	503.042,28
Substituição das bombas hidráulicas	2	40.243,38
Substituição dos motores	5	100.608,46
Utilização de DVV	30	603.650,74
Total	62	1.247.544,86

A tabela 6.13 mostra os valores do consumo de energia elétrica e Pegada de Carbono, para cada medida, após a aplicação da redução estimada. Os valores foram calculados tendo em conta o consumo de eletricidade dos equipamentos de abastecimento de água em 2016, de 2.012.169,13 kWh (tabela 4.7).

De acordo com os valores calculados pode obter-se uma redução de 1.247.544,86 kWh para os equipamentos de abastecimento de água. Subtraindo o consumo deste

setor em 2016 (tabela 4.7) ao obtido na tabela 6.13, tem-se um consumo de 764.624,27 kWh provocado pelos equipamentos de abastecimento de água após a aplicação das medidas. Este valor representa uma redução de 62 % face ao valor do consumo calculado em 2016. Embora não sejam medidas de instantânea aplicabilidade, o potencial de redução do consumo de energia elétrica nos equipamentos de abastecimento de água é bastante elevado e os SAA da responsabilidade da autarquia podem vir um dia a operar apenas com este consumo elétrico.

Aplicando novamente a equação 3.1 com o fator de emissão associado ao *mix* de energia da tabela 4.4 e assumindo o valor de 764.624,27 kWh, obtém-se uma Pegada de Carbono de 149,87 t CO₂. Menos 244,56 t do que o valor calculado em 2016 (tabela 5.3).

6.3 Resumo dos resultados obtidos

Para se perceber efetivamente os impactes provocados por estas medidas, abaixo apresenta-se a tabela 6.14 com o resumo das reduções obtidas após a aplicação das medidas, quer do consumo de energia elétrica, quer da Pegada de Carbono provocados pelas instalações da responsabilidade da autarquia.

Tabela 6.14 – Resumo dos valores obtidos após a aplicação das medidas de redução do consumo de energia elétrica.

Tipo de instalação (setor)	Consumo de eletricidade (kWh/ano)		Pegada de Carbono (t CO ₂ /ano)		Poupança anual (%)
	Antes das medidas (2016)	Após as medidas	Antes das medidas (2016)	Após as medidas	
Iluminação pública	16.523.743,00	1.696.745,92	3.238,98	332,56	89,73
Edifícios municipais	2.320.503,50	2.316.735,10	454,87	454,13	0,16
Equipamentos de abastecimento de água	2.012.169,13	764.624,27	394,43	149,87	62,00
Município de Loulé (total)	24.880.096,19	8.801.785,85	4.877,00	1.725,28	64,62

No setor da iluminação pública foi onde se atingiu a maior redução do consumo de energia elétrica e das emissões de CO₂ a este associadas, sendo as medidas aplicadas neste setor as que mais contribuíram para a redução dos valores totais do município de Loulé, e por isso, é um investimento que deve ser feito.

Quanto aos edifícios municipais, mais propriamente o Cine-Teatro Louletano, este reduziu uma pequena parte do consumo elétrico (0,16 %) uma vez que representa apenas 10,12 % do consumo total do setor.

No que diz respeito ao setor dos equipamentos de abastecimento de água, apesar das medidas serem qualitativas, estas contribuem significativamente para a poupança do consumo de eletricidade e Pegada de Carbono e devem ser consideradas. Neste setor pode-se atingir reduções nas emissões de CO₂ de 244,56 toneladas por ano.

Posto isto, o consumo total de eletricidade no município de Loulé passou de 24.880.096,19 kWh em 2016 para 8.801.785,85 kWh anuais após as medidas propostas, representando uma poupança de 64,62 % relativamente ao valor total obtido em 2016, tanto a nível de consumo elétrico como de Pegada de Carbono. A Pegada de Carbono pode ser reduzida até 3.151,72 t CO₂ por ano. A autarquia pode vir a operar com estes valores num futuro próximo ou até com valores abaixo dos indicados, isto se aplicar medidas também a outras instalações da sua

responsabilidade, nomeadamente aos setores das instalações desportivas e dos estabelecimentos escolares ativos.

Contabilizando também as reduções que podem ser obtidas através de mudanças de comportamento de 579.125,29 kWh e 113,52 t CO₂, mencionadas em 6.1, o consumo total do município de Loulé passa a 8.222.660,56 kWh/ano e a Pegada de Carbono total a 1.611,76 t CO₂/ano. Isto significa uma redução de 66,95 % face aos valores totais do consumo de energia elétrica e Pegada de Carbono antes da aplicação das medidas (2016).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Pegada de Carbono originada indiretamente pelo consumo de energia elétrica por parte das instalações a cargo da CML sofreu um aumento entre 2014 e 2015 e uma redução entre 2015 e 2016. Em 2014, 2015 e 2016 contabilizaram-se 9.079,24, 11.134,88 e 4.877,00 toneladas de CO₂, respetivamente.

Embora se tenha registado um decréscimo contínuo no consumo de eletricidade no município de Loulé entre 2014 e 2016, esta variação na Pegada de Carbono deve-se em grande parte à alteração na utilização de energias renováveis como fonte de produção de eletricidade. O aumento na Pegada de Carbono em 2015 foi provocado pela diminuição na utilização de energia hídrica (fonte renovável) e pelo aumento na utilização de carvão como fonte de energia elétrica (fonte não renovável).

Em 2016 utilizou-se 66,9 % de fontes de energia renovável na produção de energia elétrica em vez de 37 % (2015), reduzindo-se cerca de 56 % da Pegada de Carbono de 2015 para 2016. A aposta em fontes de energia renovável deve ser uma medida prioritária a adotar no combate às alterações climáticas, tendo em conta que se começa a reduzir as emissões de CO₂ a partir da origem.

Ao nível individual, o setor da iluminação pública foi o responsável pelas maiores emissões de CO₂ para a atmosfera durante os 3 anos em estudo, influenciando a Pegada de Carbono em 70,94 % (2014), 66,86 % (2015) e 66,41 % (2016). De acordo com isso, aplicaram-se medidas a este setor obtendo uma redução na Pegada de Carbono de 89,73 % em relação ao valor de 2016. Tendo em conta que o investimento inicial é elevado devido ao número de luminárias a substituir, deve optar-se por substituir primeiro aquelas com menor eficiência luminosa, como é o caso das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta e baixa pressão. Sugere-se ainda a instalação de dispositivos com sensores de presença neste setor de forma a aumentar os níveis de intensidade da luz apenas quando a estrada está em uso, que tal como a tecnologia LED também pode revolucionar o consumo de eletricidade provocado pela iluminação pública.

Os edifícios municipais também representam uma grande parte da Pegada de Carbono do município de Loulé. O Cine-Teatro Louletano foi o edifício do setor onde se aplicaram medidas de eficiência energética, alcançando uma redução de 1,6 % relativamente aos valores da Pegada de Carbono de 2016. Isto traduz-se numa redução total no setor de 0,16 %, valor que se esperava baixo devido ao facto do Cine-Teatro representar apenas 10,12 % do consumo total do setor dos edifícios públicos. Tendo em conta que este setor representou, em 2016, 9,3 % da Pegada de Carbono total do município, sugere-se como trabalho futuro auditorias aos edifícios municipais através do Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios, gerido pela ADENE (ADENE, n.d.), com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios.

Relativamente aos equipamentos de abastecimento de água, as medidas aplicadas foram qualitativas e não quantitativas. As reduções da Pegada de Carbono calculadas atingiram os 62 % do consumo de energia elétrica total registado em 2016 neste setor.

Também foram sugeridas medidas qualitativas de mudança de comportamento. Isto traduziu-se na redução de 2,33 % do total da Pegada de Carbono calculada em 2016. Propõe-se a instalação de contadores automáticos que registam o consumo elétrico em tempo real, associados a cada equipamento elétrico, de modo a possibilitar a análise do comportamento dos seus utilizadores e facilitar a implementação de medidas de mudança de comportamento. A informação registada por estes dispositivos também permite melhorar o rigor das auditorias propostas como trabalho futuro.

A instalação destes contadores inteligentes também possibilita a obtenção de dados necessários à aplicação de medidas nos restantes setores, tais como as instalações desportivas e os estabelecimentos escolares ativos.

A aplicação de medidas nos setores das instalações desportivas e estabelecimentos escolares ativos devem ser tomadas em consideração num futuro estudo, uma vez que estes dois setores também apresentaram Pegadas de Carbono elevadas.

De modo geral, o impacto que as medidas de redução do consumo de energia elétrica tiveram na Pegada de Carbono provocada pelas instalações da responsabilidade da autarquia foi positivo. Após a aplicação das medidas, o município de Loulé reduziu a sua Pegada de Carbono de 4.877,00 toneladas de CO₂ por ano, valor obtido em 2016, a 1.611,76 toneladas de CO₂ por ano. Isto significa uma redução na ordem dos 66,95 % face ao valor obtido em 2016. As poupanças alcançadas neste estudo mostram que é possível combater a quantidade de emissões de CO₂ libertadas para a atmosfera e conseqüentemente as alterações climáticas que se têm registado nos últimos anos.

Considerando que o PAESC tem como pré-requisito um inventário de emissões do território municipal, a CML encontra neste estudo de caso um ponto de partida para implementar este plano no município.

Sugere-se, ainda como trabalho futuro e de forma a completar o presente trabalho, o cálculo da Pegada de Carbono associado ao consumo de energia elétrica do município de Loulé abrangendo o âmbito 3. Tendo em conta os estudos referenciados em 2.4, o âmbito 3 é responsável por grande parte da Pegada de Carbono, nomeadamente ao nível do transporte associado à aquisição de energia elétrica.

8. BIBLIOGRAFIA

- ADENE, n.d. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS [WWW Document]. Agência para a Energ. URL <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios> (accessed 1.7.18).
- ALGAR, 2017. Comunicação pessoal via e-mail de Idalécia Rodrigues a 1.25.17.
- Amb3E, n.d. Locais de Recolha da Rede Electrão [WWW Document]. URL <http://www.amb3e.pt/reciclar/locaisrecolha/> (accessed 1.19.17).
- ANMP, n.d. Pacto de Autarcas [WWW Document]. Assoc. Nac. Municípios Port. URL <http://www.anmp.pt/index.php/59-informacoes-dpeas/dpeas-2009-2013/117-pacto-de-autarcas> (accessed 1.5.18).
- APA, 2015. Relatório de Vulnerabilidades Climáticas Atuais: Município de Loulé. Loulé.
- ARB, CCAR, ICLEI, TCR, 2010. Local Government Operations Protocol: For the quantification and reporting of greenhouse gas emissions inventories.
- Baldasano, J.M., Soriano, C., Boada, L., 1999. Emission inventory for greenhouse gases in the City of Barcelona, 1987–1996. *Atmos. Environ.* 33, 3765–3775. doi:10.1016/S1352-2310(99)00086-2
- Canfora, P., Antonopoulos, I., Dri, M., Gaudillat, P., Schoenberger, H., 2015. Best Environmental Management Practice for the Public Administration Sector.
- Chakraborty, D., Roy, J., 2013. Energy and carbon footprint: numbers matter in low energy and low carbon choices. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 5, 237–243. doi:10.1016/j.cosust.2013.04.001
- CINE-TEATRO LOULETANO, n.d. HISTORIA [WWW Document]. URL <http://cine-teatro.cm-loule.pt/pt/menu/465/historia.aspx#prettyPhoto> (accessed 1.3.18).
- CML, 2016. Alterações Climáticas em Loulé: Desenvolvimento de uma Estratégia Municipal de Adaptação. Loulé.
- CML, n.d.a. EDUCAÇÃO AMBIENTAL [WWW Document]. URL <http://www.cm-loule.pt/pt/menu/165/educacao-ambiental.aspx> (accessed 8.16.17a).
- CML, n.d.b. MUNICÍPIO ECO XXI [WWW Document]. URL <http://www.cm-loule.pt/pt/menu/682/municipio-eco-xxi.aspx> (accessed 8.16.17b).
- CML, n.d.c. LOCAIS DE INTERESSE PARA A OBSERVAÇÃO DE AVES NO CONCELHO DE LOULÉ [WWW Document]. URL <http://www.cm-loule.pt/pt/menu/689/locais-de-interesse-para-a-observacao-de-aves-no-concelho-de-loule.aspx> (accessed 5.18.16c).
- CML, n.d.d. CARACTERIZAÇÃO ÁREA DE INTERVENÇÃO DA DERS [WWW

- Document]. URL <http://www.cm-loule.pt/pt/menu/593/caracterizacao-area-de-intervencao-da-ders.aspx> (accessed 8.24.17d).
- Coelho, B., Andrade-Campos, A., 2014. Efficiency achievement in water supply systems—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30, 59–84. doi:10.1016/j.rser.2013.09.010
- Comissão Europeia, 2009. FAQ: phasing out conventional incandescent bulbs [WWW Document]. URL http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-368_en.htm?locale=EN#footnote-1 (accessed 1.10.17).
- Comissão Europeia, 2010. HOW TO DEVELOP A SUSTAINABLE ENERGY ACTION PLAN (SEAP) – GUIDEBOOK. Luxemburgo.
- Comissão Europeia, 2012. Energy performance [WWW Document]. URL http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2012/07/Section-12-Energy-performance_Copenhagen.pdf (accessed 1.7.16).
- Comissão Europeia, 2016. Best Environmental Management Practice [WWW Document]. Jt. Res. Cent. URL http://susproc.jrc.ec.europa.eu/activities/emas/public_admin.html (accessed 1.6.16).
- Comissão Europeia, 2017. Digital Agenda: Commission consults on massive expansion of LED lighting in Europe [WWW Document]. *Eur. Comm. - Press release.* URL http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-1554_en.htm (accessed 3.15.17).
- Cooper, C.D., Alley, F.C., 2002. *Air Pollution Control*, 3rd ed. Waveland Press, Inc., USA.
- data.gov.uk, 2011. Government reduces its carbon emissions by 13.8% in 12 months [WWW Document]. URL <https://data.gov.uk/departmental-performance-co2-emissions-reduction-date> (accessed 11.28.16).
- Decreto-Lei n.º 79/2013 de 11 de junho do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013. . Portugal.
- de Nevers, N., 2000. *Air Pollution Control Engineering*, 2nd ed. McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore.
- DOE, 2013a. Fluorescent Lighting Basics [WWW Document]. *Off. Energy Effic. Renew. Energy.* URL <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/fluorescent-lighting-basics> (accessed 12.28.16).
- DOE, 2013b. LED Lighting Basics [WWW Document]. *Off. Energy Effic. Renew. Energy.* URL <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/led-lighting-basics> (accessed 4.18.17).
- DOE, 2013c. Lighting Basics [WWW Document]. *Off. Energy Effic. Renew. Energy.* URL <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/lighting-basics> (accessed 3.15.17).

- DOE, 2013d. High-Intensity Discharge Lighting Basics [WWW Document]. Off. Energy Effic. Renew. Energy. URL <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/high-intensity-discharge-lighting-basics> (accessed 3.15.17).
- DOE, n.d. INCANDESCENT LIGHTING [WWW Document]. Energy Saver. URL <https://energy.gov/energysaver/incandescent-lighting> (accessed 10.8.16).
- EDP Comercial, 2014. Rotulagem de Energia Elétrica da EDP Comercial. Lisboa.
- EDP Comercial, 2015. Rotulagem de Energia Elétrica da EDP Comercial. Lisboa.
- EDP Comercial, 2016. CONHEÇA A ORIGEM DA ENERGIA [WWW Document]. URL [https://www.energia.edp.pt/empresas/apoio-cliente/origem-energia/?sector=Total EDP Comercial&year=2016&period=0#renovaveis](https://www.energia.edp.pt/empresas/apoio-cliente/origem-energia/?sector=Total+EDP+Comercial&year=2016&period=0#renovaveis) (accessed 6.11.17).
- EEA, 2013. Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take? Copenhagen. doi:10.2800/49941
- EnerBuilding.eu, 2008. A utilização racional de energia em edifícios públicos. Lisboa.
- ENERGY STAR, n.d.a. Learn about CFLs [WWW Document]. URL https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_cfls (accessed 12.16.16a).
- ENERGY STAR, n.d.b. Learn About LED Bulbs [WWW Document]. URL https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_led_bulbs#what_are&s=mega?s=mega (accessed 11.8.16b).
- ENERGY STAR, n.d.c. Do LEDs Need To Be Recycled Like CFLs Or Other Electronics? [WWW Document]. URL <https://energystar.zendesk.com/hc/en-us/articles/212110767-Do-LEDs-need-to-be-recycled-like-CFLs-or-other-electronics-> (accessed 11.15.16c).
- EPA, 2016a. Greenhouse Gas Inventory Guidance: Indirect Emissions from Purchased Electricity. United States.
- EPA, 2016b. What are the Connections between Mercury and CFLs? [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/cfl/what-are-connections-between-mercury-and-cfls> (accessed 11.11.16).
- EPA, 2016c. Recycling and Disposal of CFLs [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/cfl/recycling-and-disposal-cfls> (accessed 11.11.16).
- EPAL, n.d. Infra-estruturas [WWW Document]. Sist. Distrib. URL <http://www.epal.pt/EPAL/menu/água/sistema-de-abastecimento/sistema-de-distribuição/infra-estruturas> (accessed 11.9.17).
- ERP Portugal, n.d.a. LÂMPADAS [WWW Document]. URL <http://www.erp-recycling.pt/reciclagem-5/> (accessed 1.20.17a).
- ERP Portugal, n.d.b. Pontos de Recolha [WWW Document]. URL <http://www.erp->

- recycling.pt/como-reciclar/pontos-de-recolha/ (accessed 1.22.17b).
- Feldman, M., 2009. Aspects of Energy Efficiency in Water Supply Systems. Proc. 5th IWA Water Loss Reduct. Spec. Conf. 85–89.
- GAMBICA, BEAMA, BPMA, 2016. VARIABLE SPEED DRIVEN PUMPS Best Practice Guide. London.
- Gao, Y., Brennan, M.J., Joseph, P.F., Muggleton, J.M., Hunaidi, O., 2004. On the selection of acoustic vibration sensors for leak detection in plastic water pipes. Sound Vib. 927–941. doi:10.1016/j.jsv.2004.05.004
- GAP, SEI, Eco-Logica Ltd, 2006. UK Schools Carbon Footprint Scoping Study. London.
- GAW WDCGG, 2017. CO2 Terceira Island - NOAA/ESRL [WWW Document]. World Data Cent. Greenh. Gases. URL <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/wdcgg.html> (accessed 8.8.17).
- Gellings, C.W., 2009. Program on Technology Innovation: Electric Efficiency Through Water Supply Technologies—A Roadmap. Palo Alto, California.
- ICLEI, 2012. Background Report for the Development of the Reference Document on Best Environmental Management Practice in the Public Administration Sector.
- IEA, 2016. Energy Policies of IEA Countries: Portugal. Paris.
- INE, 2014a. Superfície (km²) das unidades territoriais por Localização geográfica [WWW Document]. URL https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008350&contexto=bd&selTab=tab2 (accessed 5.18.16).
- INE, 2014b. População residente (N.º) por Local de residência, Sexo e Grupo etário [WWW Document]. URL https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008273&contexto=bd&selTab=tab2 (accessed 5.18.16).
- INE, 2014c. Densidade populacional (N.º/ km²) por Local de residência [WWW Document]. URL https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008337&contexto=bd&selTab=tab2 (accessed 5.18.16).
- INE, 2014d. Perímetro (km) das unidades territoriais por Localização geográfica [WWW Document]. URL https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008759&contexto=bd&selTab=tab2 (accessed 5.18.16).
- INE, 2015. Freguesias (N.º) por Localização geográfica [WWW Document]. URL https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008070&contexto=bd&selTab=tab2 (accessed 5.18.16).
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Japan.

- IPCC, 2013. Summary for Policymakers, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014a. Annex II: Glossary, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- IPCC, 2014b. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- IPMA, n.d. Concentração de gases com efeito de estufa na Atmosfera - Ilha Terceira [WWW Document]. URL <https://www.ipma.pt/pt/ambiente/gases.estufa/> (accessed 8.8.17).
- ISO, 2006. ISO 14064-1:2006 [WWW Document]. Greenh. gases — Part 1 Specif. with Guid. Organ. Lev. Quantif. Report. Greenh. gas Emiss. removals. URL <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:en> (accessed 11.18.15).
- Jollands, N., Kenihan, S., Wescott, W., 2008. Promoting Energy Efficiency Best Practice in Cities, IEA & ICLEI. California.
- Kennedy, C.A., Ramaswami, A., Carney, S., Dhakal, S., 2011. Greenhouse Gas Emission Baselines for Global Cities and Metropolitan Regions, in: Cities and Climate Change. The World Bank, pp. 15–54. doi:10.1596/9780821384930_CH02
- Larsen, H.N., Hertwich, E.G., 2009. The case for consumption-based accounting of greenhouse gas emissions to promote local climate action. Environ. Sci. Policy 12, 791–798. doi:10.1016/j.envsci.2009.07.010
- Larsen, H.N., Hertwich, E.G., 2011. Analyzing the carbon footprint from public services provided by counties. J. Clean. Prod. 19, 1975–1981. doi:10.1016/j.jclepro.2011.06.014
- Larsen, H.N., Pettersen, J., Solli, C., Hertwich, E.G., 2013. Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU. J. Clean. Prod. 48, 39–47. doi:10.1016/j.jclepro.2011.10.007
- Lopes, A.M., Faria, H., Leites, R., Araújo, R., Silva, S., 2013. Manual de Boas Práticas para o Desenvolvimento Sustentável das Autarquias. Lisboa.
- Manahan, S.E., 1997. Environmental Science and Technology. Lewis Publishers, USA.
- Matthews, H.S., Hendrickson, C.T., Weber, C.L., 2008. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. Environ. Sci. Technol. 42, 5839–5842.
- Minx, J., Wiedmann, T., Barrett, J., Suh, S., 2008. Methods review to support the PAS process for the calculation of the greenhouse gas emissions embodied in goods and services, Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs by Stockholm Environment Institute at the University of York and Department for

Biobased Products at the University of Minnesota. DEFRA, London, UK.

- Neves, A., Blondel, L., Brand, K., Hendel Blackford, S., Rivas Calvete, S., Iancu, A., Melica, G., Koffi Lefeivre, B., Zancanella, P., Kona, A., 2016. Guia para a apresentação dos resultados do Pacto de Autarcas para o Clima e Energia. EUR 28160 PT. doi:10.2790/717311
- NOAA, NASA, 2014. 2013 Global Temperatures [WWW Document]. URL http://www.nasa.gov/sites/default/files/files/NOAA_NASA_2013_Global_Temperatures_Joint_Briefing.pdf (accessed 12.16.15).
- Nunes, L.M., Catarino, A., Teixeira, M.R., Cuesta, E.M., 2013. Framework for the inter-comparison of ecological footprint of universities. *Ecol. Indic.* 32, 276–284. doi:10.1016/j.ecolind.2013.04.007
- Ozawa-Meida, L., Brockway, P., Letten, K., Davies, J., Fleming, P., 2013. Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. *J. Clean. Prod.* 56, 185–198. doi:10.1016/j.jclepro.2011.09.028
- Pasquier, S.B., Heffner, G., 2012. Saving electricity in a hurry: an update. Paris.
- Phdungsilp, A., 2010. Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: Policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy* 38, 4808–4817. doi:10.1016/j.enpol.2009.10.026
- Philips, 2016. Tabela Philips Lighting [WWW Document]. URL <http://www.tabela.lighting.philips.pt/web/family/34875/ate-5-000lm> (accessed 4.6.17).
- Philips, 2017. Tabela Iluminação: Distribuição Profissional.
- Philips, n.d. Lâmpadas fluorescentes compactas [WWW Document]. URL <http://www.philips.pt/c-m-li/lampadas-fluorescentes-compactas> (accessed 12.18.16).
- PORDATA, 2017. Emissão de gases com efeito de estufa (potencial de aquecimento global): por alguns sectores de emissão de gases (%) [WWW Document]. URL [http://www.pordata.pt/Europa/Emissão+de+gases+com+efeito+de+estufa+\(potencial+de+aquecimento+global\)+por+alguns+sectores+de+emissão+de+gases+\(percentagem\)-1724](http://www.pordata.pt/Europa/Emissão+de+gases+com+efeito+de+estufa+(potencial+de+aquecimento+global)+por+alguns+sectores+de+emissão+de+gases+(percentagem)-1724) (accessed 6.28.17).
- Shakouri, B., Khoshnevis Yazdi, S., 2010. The sustainable city, in: 2010 International Conference on Environmental Engineering and Applications. IEEE, pp. 272–276. doi:10.1109/ICEEA.2010.5596145
- Soler&Palau, 2015. RECUPERADORES DE CALOR COMERCIAIS UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR. Porto.
- Staddon, S.C., Cycil, C., Goulden, M., Leygue, C., Spence, A., 2016. Intervening to change behaviour and save energy in the workplace: A systematic review of available evidence. *Energy Res. Soc. Sci.* 17, 30–51.

doi:10.1016/j.erss.2016.03.027

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change, *Economic Review*. London. doi:10.1257/aer.98.2.1

Strømman, A.H., Solli, C., 2008. Applying Leontief's Price Model to Estimate Missing Elements in Hybrid Life Cycle Inventories. *J. Ind. Ecol.* 12, 26–33. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00011.x

Tan, X., Chen, D., Gu, B., Che, B., 2014. Study on China's Regional Carbon Emission Factors: The case of Chongqing City. *Energy Procedia* 61, 2885–2889. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.329

Teixeira, M.R., Mendes, P., Murta, E., Nunes, L.M., 2016. Performance indicators matrix as a methodology for energy management in municipal water services. *Clean. Prod.* 125, 108–120. doi:10.1016/j.jclepro.2016.03.016

UE, 2016. Energia [WWW Document]. URL http://europa.eu/european-union/topics/energy_pt (accessed 11.28.16).

Valente, A., Favero, G., 2017. Optimum efficiency throughout the pumping system. *World Pumps* 2017, 34–36. doi:10.1016/S0262-1762(17)30178-5

Venkatesh, G., Chan, A., Brattebø, H., 2014. Understanding the water-energy-carbon nexus in urban water utilities: Comparison of four city case studies and the relevant influencing factors. *Energy* 75, 153–166. doi:10.1016/j.energy.2014.06.111

Vicente, L., Silva, L., 2006. Carta Educativa do Concelho de Loulé. Loulé.

Vilanova, M.R.N., Balestieri, J.A.P., 2014. Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30, 701–714. doi:10.1016/j.rser.2013.11.024

V SOUND, 2017. PROJECTORES LED'S VSPROJ108A [WWW Document]. EQUIPAMENTOS LUZ E SOM PARA PROFISSIONAIS. URL http://www.vsoundstore.com/pt/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=145&category_id=30&option=com_virtuemart&Itemid=292 (accessed 11.9.17).

Weidema, B.P., Thrane, M., Christensen, P., Schmidt, J., Løkke, S., 2008. Carbon Footprint A Catalyst for Life Cycle Assessment? *J. Ind. Ecol.* 12, 3–6. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x

Wiedmann, T., Minx, J., 2007. A Definition of “Carbon Footprint,” in: Pertsova, C.C. (Ed.), *Ecological Economics Research Trends*. Nova Science Publishers, Inc., New York, pp. 1–11.

WRI, C40, ICLEI, 2014. *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities*. USA.

WRI, WBCSD, 2004. *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. USA.

WRI, WBCSD, 2007. Indirect CO2 Emissions from the Consumption of Purchased Electricity , Heat , and / or Steam 1–14.

Xylem, 2016. HYDROVAR. Singapore.

9. ANEXOS

9.1 Anexo A – Medidas para gerir o consumo final de energia elétrica (adaptado de ESMAP, 2010 *in* Pasquier & Heffner, 2012)

Medida		Pré-requisitos
Alteração de preços		Habilidade para ajustar preços.
Mudanças de comportamento		Habilidade para selecionar canais de comunicação e as mensagens a transmitir.
Substituição da tecnologia existente		Requer financiamento, canais de distribuição e um mecanismo para a deposição dos equipamentos existentes.
Racionamento	Restringir a utilização de eletricidade	Requer análise prévia para definir reduções, por tipo de consumidor, proporcionais ao seu impacte económico.
	Limitar e controlar o fornecimento de eletricidade	Necessidade de identificar os utilizadores finais de eletricidade de forma a controlar e compensar o seu consumo.
Mecanismos de mercado		Requer mecanismos contratuais.

9.2 Anexo B – Consumo de energia elétrica em 2016 no setor dos edifícios municipais

Tipo de Instalação	Consumo de eletricidade em 2016 (kWh)
Biblioteca de Quarteira	20.010,00
Mercado Municipal de Quarteira	31.818,00
Terminal Rodoviário de Quarteira	26.648,00
Sala de Exposições – Querença	32,00
Edifício da Divisão de Cultura	3.223,00
Edifício da EPSMELTE	5.621,00
Castelo de Loulé (Divisão de Cultura e Museu Municipal)	25.425,00
Fundação António Aleixo – Conservatório de Música de Loulé	20.827,00
Edifício da Proteção Civil	27.919,00
Edifício do DOGIM	48.472,00
Canil Municipal de Loulé	11.884,00
Pólo Museológico dos Frutos Secos	2.483,00
Edifício da Divisão de Gestão de Pessoas e da Qualidade	21.303,00
Edifício – Reabilitação Urbana	6.483,00
Paços do Concelho	246.319,00
Edifício do Expediente (Divisão de Desporto)	25.442,00
Edifício do Convento Espírito Santo – Galeria de Arte	10.890,00

Quantificação da Pegada de Carbono Associada ao Consumo de Energia Elétrica no Município de Loulé

Antigo Edifício do Atlético	297,00
Posto de Turismo de Loulé	12,00
Edifício da Divisão de Acção Social	22.381,00
Edifício da Divisão de Ambiente	4.913,00
Terminal Rodoviário de Loulé	68.277,00
Galerias D. Leonor – Divisão de Informática	63.771,00
Convento Santo António	12.600,00
Parque Infantil de Almancil	0,00
Edifício do Antigo Centro de Saúde	27.255,00
Posto de Turismo de Querença	4.584,00
Salão de Festas	19.169,00
Edifício Duarte Pacheco	21.418,00
Parque de Estacionamento Municipal	37.625,00
Delegação da Ação Social – Quarteira	0,00
Cerca do Convento – Festas	0,00
Centro Autárquico de Quarteira	64.843,00
Centro Azul de Quarteira	2.018,00
Praça do Mar – Quarteira	16.383,00
Solar da Música Nova	4.924,00
Edifício da Divisão de Educação	16.041,00
Posto de Turismo de Salir	742,00
Pólo Museológico de Arqueologia de Salir	11.277,00

Quantificação da Pegada de Carbono Associada ao Consumo de Energia Elétrica no Município de Loulé

Loja do Município de Almancil	12.561,00
Loja do Município de Loulé	32.477,00
Instalações de bombagem do lago (edifício de apoio à Maquinaria) – Almancil	42.687,00
Jardim das Comunidades (Bar de apoio) – Almancil	459,00
Biblioteca Municipal de Loulé	192.551,00
Arquivo Municipal de Loulé	74.984,00
Bombeiros Municipais de Loulé	202.063,00
Biblioteca Municipal de Loulé – Pólo de Salir	12.787,00
Mercado Municipal de Loulé (Comuns)	162.347,00
Mercado Municipal de Loulé (Loja 18 – DECO)	753,00
Mercado Municipal de Loulé (Gelo)	10.297,00
Mercado Municipal de Loulé (Loja 24 – Gabinete Operacional)	1.528,00
Pólo Museológico Cândido Guerreiro e Condes de Alte	20.361,00
Parque dos Serviços Urbanos – Franqueada	106.219,54
Centro Social Autárquico	163.718,00
Pólo Museológico da Água – Querença	11.936,01
Museu do Carnaval	25.118,00
Cine-Teatro Louletano	234.888,95
Casa do Pombal (CECAL – Centro de Experimentação e Criação Artística de Loulé)	49.243,00
Centro Ambiental de Loulé (provisório)	30.196,00
Total	2.320.503,50

9.3 Anexo C – Luminárias atualmente existentes na iluminação pública do município de Loulé

Tipo de tecnologia	N.º de luminárias	Potência (W)	Potência instalada (W)
Fluorescente	392	50	19.600
	8	70	560
LED	335	50	16.750
	254	70	17.780
	7	100	700
	24	125	3.000
Vapor de mercúrio de alta pressão	1.117	50	55.850
	892	80	71.360
	1.117	125	139.625
	16	200	3.200
	105	250	26.250
Iodetos metálicos	47	50	2.350
	169	70	11.830
	2	80	160
	65	100	6.500
	170	150	25.500
Vapor de sódio de alta pressão	25	50	1.250
	16.475	70	1.153.250
	6.687	100	668.700
	5.850	150	877.500
	2.191	250	547.750
	16	400	6.400
Total	35.964	2.640	3.655.865

9.4 Anexo D – Catálogo de produtos Philips para iluminação exterior com tecnologia LED (adaptado de Philips, 2016)

Modelo	Produto	Eficiência luminosa (lm/W)	Potência (W)	Tempo médio de vida útil (h)	Preço (€)
ClassicStreet	BVP794 GRN25/740 DM BK D9	91	20	100.000	584,22
ClearWay	BGP303 LED25-4S/740 PSR I DM50 D9 STD 42	132	16,8	100.000	512,63
	BGP303 LED35-4S/740 PSR I DM50 D9 STD 42	135	23	100.000	512,63
	BGP303 LED18-4S/740 PSR I DM50 D9 STD 42	123	13	100.000	512,63
Harmony 1&2 LED	BGP661 GRN48/740 II OFR4 FG D9 GR-2900 6	123	36	100.000	921,05
	BGP660 GRN40/740 II OFR4 FG D9 GR-2900 M	120	30	100.000	836,84
Selenium LED	BGP340 LED37--3S/740 PSR II DM DDF1 48/6	112	29	60.000	546,00
	BGP340 LED37--3S/740 PSR II DM LS-8 48/6	112	29	60.000	523,95
UniStreet	BGP203 LED20-4S/740 I DM50 D9 48/60A	119	14,4	100.000	457,89
	BGP203 LED30-4S/740 I DM50 D9 48/60A	130	19,8	100.000	468,42
	BGP203 LED16-4S/740 I DM50 D9 48/60A	111	12,4	100.000	442,11
	BGP203 LED45-4S/740 I DM50 D9 48/60A	130	29,5	100.000	478,95
	BGP203 LED20/740 II DM D9 48/60A	104	17,2	100.000	461,18
	BGP203 LED12/740 II DM D9 48/60A	97	10,6	100.000	444,71

Nota: as luminárias selecionadas para a substituição da iluminação pública são sugestões, havendo a possibilidade de se utilizar outras luminárias com características semelhantes.

9.5 Anexo E – Tabela de iluminação Philips (adaptado de Philips, 2017)

Modelo	Produto	Eficiência luminosa (lm/W)	Potência (W)	Tempo médio de vida útil (h)	Preço (€)
MASTER LEDspot MV	5,5-50W GU10 930 36°	68	5,5	40.000	12,49
MASTER LEDspot MV Value	4,9-50W GU10 830 36°	74	4,9	25.000	8,74

Nota: as lâmpadas selecionadas para a substituição da iluminação normal do Cine-Teatro são sugestões, havendo a possibilidade de se utilizar outras lâmpadas com características semelhantes.