



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Municipal de Piscinas de Leiria**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Eduardo Carreira Pedro**

**Orientadores**

**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

**Professor Doutor José Carlos Miranda Góis**

**Júri**

**Presidente**

**Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva  
Ribeiro**

**Vogais**

**Mestre Hermano Joaquim dos Santos Bernardo  
Doutorando da Universidade de Coimbra**

**Orientador Professor Doutor José Carlos Miranda Góis**



**Câmara Municipal de  
Leiria**



**Associação  
Desportiva Cultural e  
Recreativa do Bairro  
dos Anjos**

**Coimbra, julho, 2015**

“It always seems impossible until it’s done”

Nelson Mandela

## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e irmã por todo o apoio que me deram ao longo do meu percurso académico, pelos valores que me transmitiram e que fazem de mim a pessoa que sou hoje. Sem vocês nada disto seria possível, obrigado.

À minha namorada por ter estado sempre presente, pela paciência e pelas palavras que sempre me fizeram acreditar que eu seria capaz.

Aos amigos e colegas que fui conhecendo durante todo este percurso e com os quais partilhei momentos inesquecíveis e que serão recordados com muita emoção e saudade.

A todos os docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, aos meus orientadores Professor Doutor Adélio Gaspar e José Carlos Góis.

Agradecer à Câmara Municipal de Leiria e à Associação Desportiva Cultural e Recreativa do Bairro dos Anjos pela autorização à realização deste trabalho e por todos os dados fornecidos que me permitiram realizar este trabalho.

Agradecer também ao INESC e ao Engenheiro Hermano Bernardo, pela cedência dos equipamentos e ajuda na sua montagem.

## Resumo

Os complexos desportivos com piscinas interiores mobilizam uma grande quantidade de energia para se manterem operacionais, representando um dos maiores consumos energéticos no domínio dos edifícios de serviços. Os elevados consumos de gás natural e energia elétrica justificam-se pelo facto de estes edifícios funcionarem em condições muito específicas, de modo a proporcionar aos seus utilizadores condições de qualidade do ar e conforto adequadas. Sendo na sua maioria complexos para uso de toda a população, os preços praticados para a sua utilização devem ser na generalidade acessíveis, o que faz com que a eficiência energética e a racionalização de custos sejam assuntos a ter em conta por parte das entidades responsáveis pela gestão destes edifícios.

Neste âmbito, no presente trabalho faz-se o estudo do Complexo Municipal de Piscinas de Leiria, onde se efetua uma caracterização dos equipamentos, levantamento dos consumos e custos energéticos do complexo, seguido de um tratamento e análise exaustivos de modo a poder caracterizar da melhor forma possível o complexo.

Os resultados mostram que obtidos permitiram obter indicadores comparáveis com outros complexos desportivos nacionais e internacionais. Um dos indicadores obtidos foi o consumo energético total por unidade de área útil do complexo, de 496,5 kWh/m<sup>2</sup>, valor que se encontra dentro do intervalo de indicadores de referência encontrados na bibliografia. Foi feita uma desagregação dos consumos energéticos, com base em estimativas, no sentido de identificar quais os equipamentos que contribuem para um maior consumo energético do edifício. Por fim, apresentam-se medidas de eficiência energética que poderão ser adotadas no sentido de minimizar os custos energéticos associados ao complexo e otimizar o funcionamento do mesmo.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, Piscinas, Consumo de energia, Custo de energia, Benchmarking.

## Abstract

Sports facilities with interior swimming pools are a type of building that finds itself among the highest consumers of energy, where service buildings are concerned. High consumption levels of natural gas and electric energy are due to the fact that these buildings function in very specific conditions, in order to provide their users with adequate air quality and comfort conditions. Given the fact that most of these facilities are to be frequented by all people, the prices charged for their use are usually very affordable, making energy efficiency and rationalization of costs matters that shouldn't be taken into disregard by the entities that manage these infrastructures.

In this sense, the study took place at the Complexo Municipal de Piscinas de Leiria, through the characterization of equipment, complex energetic consumption and costs survey, followed by thorough data processing and analysis, in order to better be able to characterize the facility.

The found results allowed us to obtain indicators that are comparable to other national and international sports facilities. One of the obtained indicators was the total energetic consumption per unit of useful area of the complex, which is 496,5 kW.h/m<sup>2</sup>, a number that is within the interval of indicators found in the bibliography. Energetic consumptions were broken down, based on estimates of the equipment within the sports facility, in order to identify which equipment contributes to a greater energetic consumption of the building. Lastly, energetic efficiency levels are presented, that may be implemented in order to reduce energetic costs associated to the complex and optimize it's functioning.

**Keywords** Energy Efficiency, Swimming Pools, Energy Consumption, Energy Cost, Benchmarking.

## Índice

Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas .....	ix
Simbologia e Siglas .....	x
Simbologia.....	x
Siglas .....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos e Metodologia.....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	3
2. Estado da Arte .....	4
2.1. Paradigma Energético .....	4
2.1.1. Paradigma energético Mundial.....	4
2.1.2. Paradigma energético em Portugal.....	6
2.2. Quadro legislativo e programas estratégicos .....	7
2.2.1. Eficiência Energética.....	8
2.2.2. Legislação sobre eficiência energética em edifícios.....	9
2.2.3. Legislação e Normas em Complexos Desportivos com Piscinas Interiores..	10
2.3. Investigação de Eficiência Energética em Complexos Desportivos com Piscinas Interiores.....	11
2.4. Medidas para melhorar eficiência energética em complexos desportivos com piscinas interiores .....	15
2.4.1. Energia elétrica.....	16
2.4.2. Sistema de Aquecimento .....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
2.4.3. Sistema AVAC.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
3. Caso de estudo.....	19
3.1. Metodologia para levantamento e análise de dados.....	19
3.2. Caracterização do edifício e equipamentos .....	21
3.2.1. Edifício .....	21
3.2.2. Equipamentos .....	23
3.3. Resultados.....	25
3.3.1. Perfil de utilização .....	25
3.3.2. Consumos totais.....	26
3.3.3. Custos totais.....	29
3.3.4. Comparação consumos/custos gás natural e energia elétrica .....	30
3.3.5. Consumos/custos específicos .....	32
3.4. Comparação de consumos/custos do CMPL com o Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra e outros estudos .....	33
3.5. Energia elétrica .....	36
3.6. Energia térmica .....	38
3.6.1. Inspeção às caldeiras .....	38

---

4.	Análise de resultados e propostas de melhoria.....	40
4.1.	Energia elétrica .....	40
4.2.	Estimativa da repartição de energia térmica .....	41
4.3.	Cálculo das perdas térmicas da piscina.....	42
4.4.	Notas Conclusivas.....	45
	.....	
	.....	47
5.	Conclusões .....	47
5.1.	Propostas de trabalho futuro .....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
	ANEXO A-Planta das instalações .....	50
	ANEXO B- Esquema de principio da instalação.....	51
	ANEXO C- Esquema de principio Sistema AVAC .....	53
	APÊNDICE A – Cálculo das taxas de evaporação.....	54
	APÊNDICE B-cálculo das perdas de energia.....	55
	APÊNDICE C-cálculo Parâmetros caldeiras.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Consumo Mundial de Combustíveis por tipo de energia.....	5
Figura 2.2-Investimento em energia e combustíveis renováveis por países e em desenvolvimento entre 2004 e 2013.....	5
Figura 2.3-Consumo de Energia Renovável por região entre 1990 e 2030.....	6
Figura 2.4-Consumo de Energia Final em Portugal no ano de 2012,Adaptado de [22].....	7
Figura 2.5-Consumo de Energia Primária por Setor (2011).Adaptado de [22].....	7
Figura 2.6-Calendarização de medidas de eficiência energética, Adaptado de [6].....	9
Figura 2.7-Gastos energéticos em piscinas interiores .....	12
Figura 2.8-Perdas térmicas em piscinas interiores.....	13
Figura 2.9-Planta de complexo desportivo com piscina interior (Tipologia 2).....	14
Figura 2.10 Custos Energéticos Anuais em £ de um Edifício (tipologia 2) .....	15
Figura 3.1-Analisador de energia.....	19
Figura 3.2-Pormenor da instalação de analisadores de energia no Quadro Geral do CMPL.....	19
Figura 3.3- Pormenor de instalação do analisador de gases.....	20
Figura 3.4- Complexo Municipal de Piscinas de Leiria.....	21
Figura 3.5- Planta do Nível 1 do CMPL.....	22
Figura 3.6- Caldeiras do CMPL.....	23
Figura 3.7- Depósito de inércia e controlador solar dos coletores solares.....	23
Figura 3.8- UTA da Nave B.....	24
Figura 3.9- Chiller .....	24
Figura 3.10- Número de utilizadores do CMPL entre 2012 e 2014.....	25
Figura 3.11- Distribuição mensal do número de utilizadores entre 2012 e 2014.....	25
Figura 3.12- Evolução do consumo de água entre 2010 e 2012.....	26
Figura 3.13- Distribuição mensal do consumo de água entre 2010 e 2012.....	26
Figura 3.14- Evolução do consumo de gás natural entre 2010 e 2014.....	27
Figura 3.15- Distribuição mensal do consumo de gás natural entre 2010 e 2014.....	27
Figura 3.16- Evolução do consumo de energia elétrica entre 2010 e 2014.....	28
Figura 3.17- Distribuição mensal do consumo de energia elétrica entre 2010 e 2014.....	28



---

Figura 3.18- Custo anual dos diferentes consumos de 2010 a 2014.....	29
Figura 3.19- Custos energéticos do CMPL em 2014.....	30
Figura 3.20-Comparação percentual do consumo de combustível e energia elétrica em 2013.....	31
Figura 3.21-Comparação percentual do consumo de combustível e energia elétrica em 2014.....	31
Figura 3.24- Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do COPC em 2012.....	34
Figura 3.25- Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do CMPL em 2012.....	34
Figura 3.26- Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do COPC em 2013.....	34
Figura 3.27- Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do CMPL em 2013.....	34
Figura 3.28- Gráfico comparativo dos indicadores específicos dos diferentes complexos..	35
Figura 3.29- Gráfico comparativo do custo energético entre o COPC e o CMPL em 2013. Adaptado de [16].....	36
Figura 3.30- DDC global semanal da instalação .....	37
Figura 3.31- DDC global da instalação dia típico.....	37
Figura 3.32- Pormenor de instalação do analisador de gase.....	38
Figura 4.1- Análise das tarifas de media tensão no DDC global instalação.....	41
Figura 4.2- Perdas térmicas da piscina de competição.....	44
Figura 4.3- Perdas térmicas piscina de lazer.....	44

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Gastos/Custos Energéticos do complexo desportivo da Tipologia 2.....	15
Tabela 3.1- Levantamento área de superfície das piscinas do CMPL.....	21
Tabela 3.2-Áreas do CMPL.....	21
Tabela 3.3-Características nominais das caldeiras do CMPL .....	23
Tabela 3.4-Lista dos equipamentos do Sistema AVAC do CMPL. ....	24
Tabela 3.5- Consumos/custos gás natural e eletricidade em 2013 e 2014. ....	30
Tabela 3.6- Indicadores específicos de Energia por área coberta e por área de superfície de piscina.....	32
Tabela 3.7-Indicadores específicos por utente em 2013 e 2014.....	32
Tabela 3.8- Levantamento de áreas dos diferentes complexos .....	33
Tabela 3.9- Comparação do custo/consumo energético por área total e área de piscina entre o COPC,CMPL e estudo efetuado na Grécia em 2012. ....	35
Tabela 3.10- Análise dos gases de Combustão .....	38
Tabela 3.11- Equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros da combustão. ....	39
Tabela 3.12-Parâmetros das caldeiras do CMPL.....	39
Tabela 4.1- Estimativa da energia térmica útil de AQS em 2014 .....	42
Tabela 4.2- Equações para o cálculo das perdas térmicas da piscina.....	43
Tabela 4.3-Perdas térmicas totais da piscina .....	44

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

**V** – Volume [ $\text{m}^3$ ]

**$\rho$**  – Massa volúmica [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

**m** – Massa [kg]

**cp** – Calor específico [ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ]

**$\Delta T$**  – Diferença de temperatura [ $^\circ\text{C}$ ]

**$Q_{\text{útil}}$**  – Energia útil [W]

**$Q_e$**  – Perda térmica por evaporação [W]

**$c_v$**  – Calor específico a volume constante [ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ]

**$W_a$** - Humidade absoluta do ar saturado à temperatura do ar ambiente

**$W_e$** - Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água da piscina

**$Q_r$** -Perda térmica por renovação água [W]

**$V_r$** -Volume de água repostado [ $\text{m}^3$ ]

**$\rho_{h_2O}$** -Massa volúmica da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

**$T_{h_2O \text{ piscina}}$** - Temperatura água da piscina [ $^\circ\text{C}$ ]

**$T_{h_2O \text{ rede}}$** -Temperatura da água da rede [ $^\circ\text{C}$ ]

**$Q_t$** -Perda térmica por transmissão de calor [W]

**$C_t$** -Coeficiente de transmissão de calor por condução [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ]

**$S_c$** -Superfície de transferência de calor [ $\text{m}^2$ ]

**$T_{\text{ext}}$** -Temperatura das superfícies exteriores [ $^\circ\text{C}$ ]

## **Siglas**

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CMPL – Complexo Municipal de Piscinas de Leiria

UE – União Europeia

SCE- Sistema de Certificação Energética

QAI- Qualidade do Ar Interior

RCCTE- Regulamento de características de comportamento térmico nos edifícios.

RSECE- Regulamento de energético dos edifícios de comércio e serviços.

RECS- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços e Comércio.

REH- Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

UTA- Unidade de Tratamento de Ar

UTAN- Unidade de Tratamento de Ar Novo

DDC- Diagrama de consumo

COPC- Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

IEA- International Energy Agency

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Atualmente, a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e a diminuição do consumo de energias fósseis são questões em debate na sociedade, o que tem resultado na criação de propostas de legislação e na definição de metas a atingir para a redução destes parâmetros. Exemplos disso são a celebração do Protocolo de Quioto em 1997, a criação de uma diretiva europeia, a Diretiva N° 2002/91/CE que foi revista em 2010 dando origem à Diretiva N° 2010/31/CE [1] e mais recentemente, o programa de incentivos Horizonte 2020.

O uso de energias renováveis tem sido um dos principais meios utilizados para atingir as metas propostas. No entanto, nos casos em que a energia primária não pode ser substituída por uma energia limpa e menos dispendiosa têm-se implementado medidas de eficiência energética com vista a reduzir o consumo de energia primária e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), o sector dos edifícios de serviços é responsável pelo consumo de 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através da implementação de medidas de eficiência energética, podendo resultar numa redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas para a atmosfera, a quase totalidade do compromisso da União Europeia (UE) no âmbito do Protocolo de Quioto. [2]

Neste sentido, e sendo um complexo desportivo de piscinas interiores uma das tipologias de edifícios de serviços que apresenta um consumo energético extremamente elevado, surgiu a oportunidade de estudar mais aprofundadamente este tema. Para isso realizar-se-á o estudo energético do edifício, com base em dados tangíveis, de modo a obter resultados que permitam adotar medidas de eficiência energética, levando assim, a uma redução dos elevados consumos energéticos destes espaços.

## 1.2. Objetivos e Metodologia

O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento energético do Complexo de Piscinas Municipais de Leiria (CMPL) e estudar a adoção de medidas de eficiência energética, com o objetivo de minimizar os custos associados à manutenção e sustentabilidade do local.

Através de uma pesquisa sobre edifícios similares pretende-se obter indicadores sobre os principais consumos energéticos destes edifícios e quais os diferentes tipos de energias utilizadas. Esta análise de *benchmarking* permitirá fazer uma comparação dos indicadores encontrados com os valores obtidos no caso de estudo, de forma a ser possível fazer uma análise retrospectiva da sua evolução nos últimos 4 anos

No que diz respeito à metodologia utilizada, efetuou-se uma visita ao Complexo Municipal de Piscinas de Leiria com intuito de conhecer as instalações, o seu funcionamento, assim como os equipamentos que fazem parte da instalação. Através desta visita foi possível esquematizar um diagrama de princípio da instalação que possibilita uma análise rápida do seu funcionamento.

Posteriormente, foi feito o levantamento dos dados relativos às faturas energéticas do complexo em formato de papel, aos quais se aplicou um criterioso tratamento e respetiva análise, de modo a tentar perceber a sua evolução e despistar eventuais erros.

De seguida, instalou-se um analisador de energia no quadro geral do CMPL, durante sensivelmente duas semanas, com intuito de validar alguns dados recolhidos através das faturas energéticas e caracterizar através de consumos reais a energia elétrica consumida pelo edifício.

Outro dos equipamentos instalados foi um analisador de gases que permitiu recolher alguns valores relativos à composição dos gases de exaustão das caldeiras do complexo, com os quais se determinou alguns parâmetros relativos às caldeiras.

Finalmente, foram analisados todos os dados obtidos neste estudo, compilaram-se alguns indicadores e compararam-se esses mesmos indicadores com outros estudos já realizados.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos sendo o primeiro capítulo referente à introdução do tema e à forma como vai ser tratado.

No segundo capítulo encontrar-se-á uma síntese de toda a pesquisa efetuada sobre o tema, normas, indicadores, legislação e ainda alguns dados de outros casos de estudo já efetuados no mesmo âmbito.

O terceiro capítulo é constituído pela descrição do caso de estudo do CMPL e por toda a informação recolhida, devidamente tratada e analisada. Informação essa que diz respeito aos consumos energéticos do edifício em questão, assim como o seu perfil de utilização.

No quarto capítulo encontra-se análise de resultados e propostas de melhoria onde podemos encontrar o diagrama de princípio da instalação, assim como os cálculos referentes às estimativas das perdas energéticas associadas à água da piscina e dos gastos energéticos com aquecimento de AQS. Ao longo do capítulo são mencionadas algumas propostas de melhoria relacionadas com eficiência energética do edifício.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e definidas algumas propostas de trabalho futuro.

## 2. ESTADO DA ARTE

Nos últimos anos, a sociedade na qual estamos inseridos tem vindo cada vez mais a preocupar-se com um problema que afeta grande parte da população mundial, o consumo de energia e as emissões de gases efeito estufa para a atmosfera. O facto de os combustíveis fósseis serem limitados e provocarem uma emissão de gases prejudicial à atmosfera tem feito com que sejam tomadas medidas que vão de encontro à utilização de energias limpas e renováveis, assim como, à utilização de medidas de eficiência energética. Medidas estas que passam pela redução do consumo de energias primárias através da aquisição ou renovação de novos equipamentos, que devido à sua melhor performance irão diminuir os custos relacionados com a energia utilizada.

Para isso, têm sido criados uma série de protocolos e medidas que visam a diminuição da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera e direcionado incentivos para a utilização de energias renováveis. Foi nesse sentido que foi criado o Protocolo de Quioto em 1997 com o objetivo de reduzir as emissões de GEE para atmosfera por forma a atingir uma média de 5,2% abaixo das emissões relativas ao ano de 1997 dos 40 países que assinaram o protocolo [2].

No que diz respeito à estratégia adotada pelos países da União Europeia (UE), esta passa pela aposta nas energias renováveis, diminuindo o consumo de energias fósseis e consequentemente, diminuindo também a emissão de GEE para a atmosfera. Esta política têm-se baseado na atribuição de incentivos monetários para a implementação deste tipo de energias nos países europeus.

### 2.1. Paradigma Energético

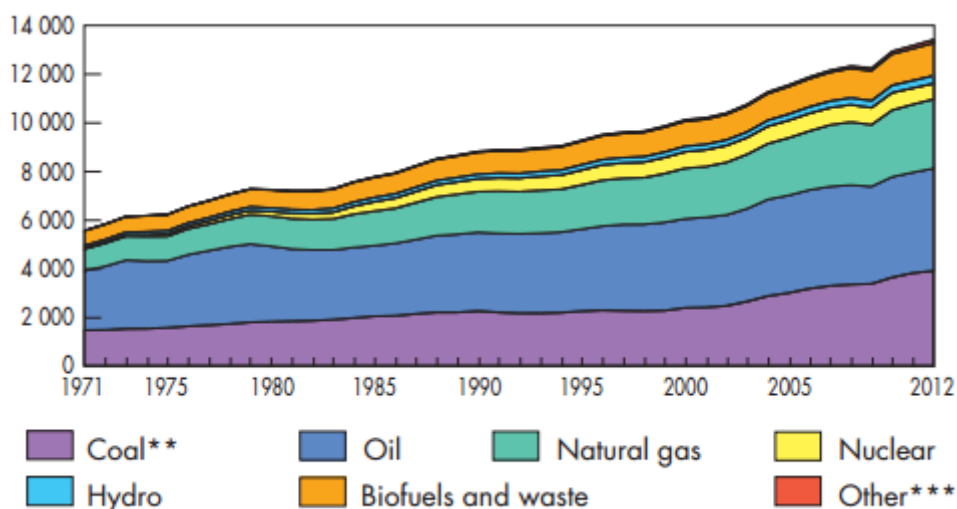
#### 2.1.1. Paradigma energético Mundial

O consumo e a dependência energética mundial é nos dias de hoje uma problemática que exige uma reflexão sobre quais as melhores medidas a adotar para que a questão energética deixe de ser um problema.

Através da Figura 2.1 é possível verificar que a procura de energia tende a aumentar a nível mundial, consequência do aumento da população mundial e da busca de melhor qualidade de vida por parte dos países subdesenvolvidos [3]. Esta crescente procura



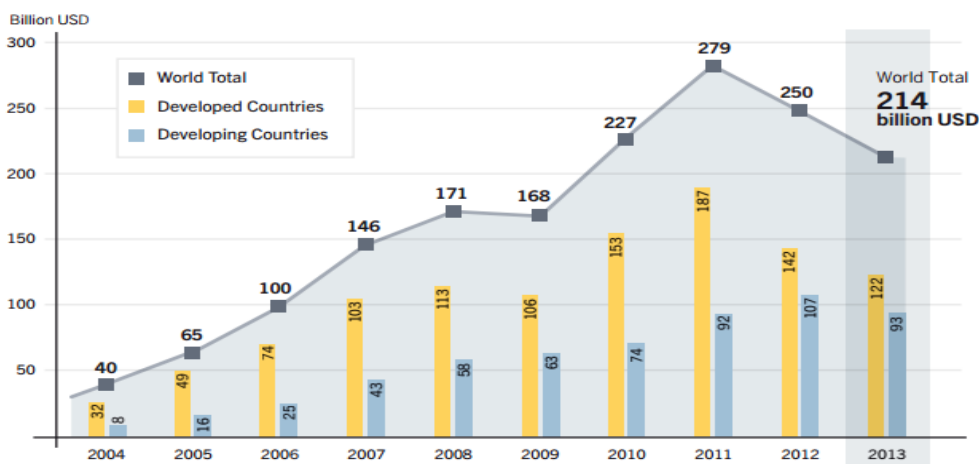
tem-se refletido num elevado número de emissões de CO2 para a atmosfera, que atingiu o seu valor máximo em 2010, devido ao aumento de 5% da procura mundial de energia primária.



Fonte: [4]

Figura 2.1 Consumo Mundial de Combustíveis por tipo de energia.

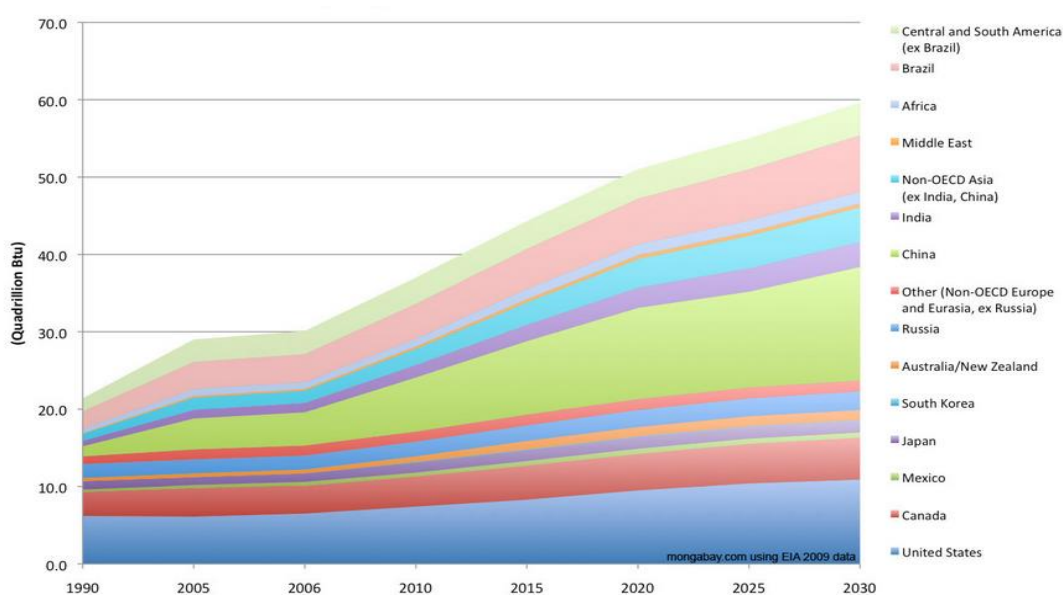
As medidas e protocolos criados nos últimos anos no que diz respeito à energia são uma tentativa de inverter o cenário atual, incentivando a utilização de energias renováveis e a utilização de medidas de eficiência energética. Na Figura 2.2 podemos verificar que o investimento nas energias e combustíveis renováveis tem sido crescente desde 2004 atingindo o seu máximo no ano 2011. No entanto, tem-se registado um decréscimo nos últimos anos, causado sobretudo devido à crise económica, que provocou uma redução significativa do investimento nesta área.



Fonte: [4]

Figura 2.2-Investimento em energia e combustíveis renováveis por países e em desenvolvimento entre 2004 e 2013.

Por outro lado, o consumo de energias renováveis tem crescido e a previsão, segundo a International Energy Agency (IEA), é que continue a aumentar até 2030, como podemos verificar ao analisar a Figura 2.3 [4]. A Figura 2.3 mostra também que a China é um dos países que mais contribui para o aumento deste consumo energético, isto deve-se ao investimento que tem sido efetuado por parte deste país, que chega mesmo a ultrapassar o investimento efetuado por toda a Europa no ano 2012.



Fonte: [21]

Figura 2.3-Consumo de Energia Renovável por região entre 1990 e 2030.

### 2.1.2. Paradigma energético em Portugal

No caso de Portugal, o panorama energético atual revela que o país continua muito dependente da importação energética. Em 2005, Portugal importava cerca de 89% da sua energia, no entanto, com o aumento da presença de tecnologias que exploram fontes de energia renováveis essa parcela diminuiu para 72% em 2013 [5]. Na figura 2.4 representa-se o *mix* energético nacional, onde podemos verificar que o petróleo bruto continua a ser a energia mais utilizada a nível nacional.

No que diz respeito ao uso de energia primária podemos verificar através da Figura 2.5 que o setor dos transportes é o que mais energia consome. No entanto, o setor dos

edifícios de comércio e serviços também são consumidores de uma parte bastante significativa, representando cerca de 11% de toda a energia primária consumida.

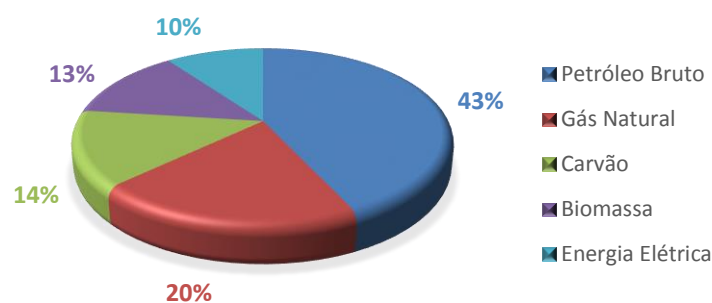


Figura 2.4-Consumo de Energia Final em Portugal no ano de 2012, adaptado de [22].

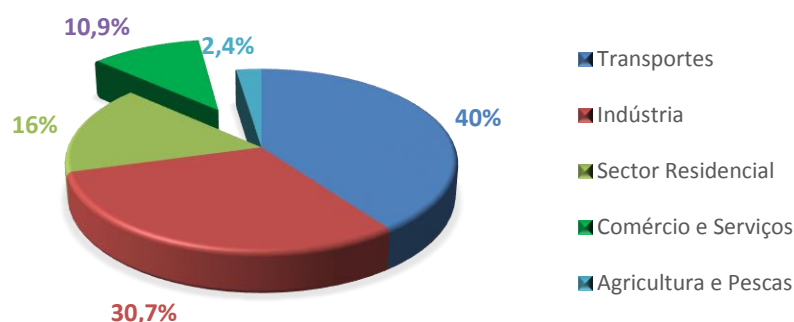


Figura 2.5-Consumo de Energia Primária por Setor (2011), adaptado de [22].

## 2.2. Quadro legislativo e programas estratégicos

A estratégia da UE passa por uma constante redução dos gases de efeito estufa, assim como, pelo incentivo às medidas de eficiência energética, tais como, aumento da parcela de energias renováveis e a diversificação de fontes de energia.

Portugal, sendo um dos países pertencentes à União Europeia, é abrangido por este conjunto de normas, leis e programas estratégicos que visam o crescimento sustentável dos países membros.

### 2.2.1. Eficiência Energética

Portugal tem desenvolvido uma série de programas que têm como objetivo a implementação de medidas de eficiência energética. Em 1984, foi criado o Centro para a Conservação de Energia que pôs em prática uma política de eficiência energética e racionalização de energia, e que adotou a designação de ADENE, em 2001.

Em 2001 foram criados 3 programas de incentivo à eficiência energética [6]. O programa Eficiência Energética e Energias Endógenas (E4), que tinha como principal objetivo cumprir as metas impostas pela UE relativamente à produção de eletricidade através de energias renováveis. Posteriormente, surgiu o programa Água Quente Solar para Portugal que incidia sobre o aumento do número de coletores solares em residências, serviços e indústrias, e que tinha como objetivo instalar 1 000 000 m<sup>2</sup> de coletores solares até ao ano de 2010. Ainda em 2001, surge o programa para a Eficiência Energética em Edifícios (P3E) desenvolvido pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), programa este que permitiu a atribuição de um certificado de eficiência energética aos novos edifícios.

Em 2002, surge a necessidade de Portugal se aproximar dos países mais avançados da UE, tanto a nível ambiental como económico, daí a apresentação da Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, que estabelece uma serie de metas entre 2002 e 2015.

Em 2005, é aprovada a Estratégia Nacional para a Energia que tem como missão estimular as empresas do setor energético, garantindo uma correspondência ambiental no abastecimento de recursos energéticos.

Já em 2008, foi criado o Plano nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAE) que tem como missão assegurar uma utilização mais eficiente da energia consumida.

Mais recentemente, em 2014, surgiu o programa Portugal 2020 que consiste numa acordo de parceria entre Portugal e a Comissão Europeia, e que reúne a atuação de 5 fundos europeus estruturais no qual se definem os princípios de programação que consagram a política de desenvolvimento económico, social e territorial para promover, em Portugal, entre 2014 e 2020. Este programa abrange diversos setores, sendo um deles a promoção do desenvolvimento sustentável, numa ótica de eficiência e uso de recursos contemplando assim a temática da eficiência energética [7]. Na Figura 2.6 podemos ver o cronograma das medidas referidas anteriormente.

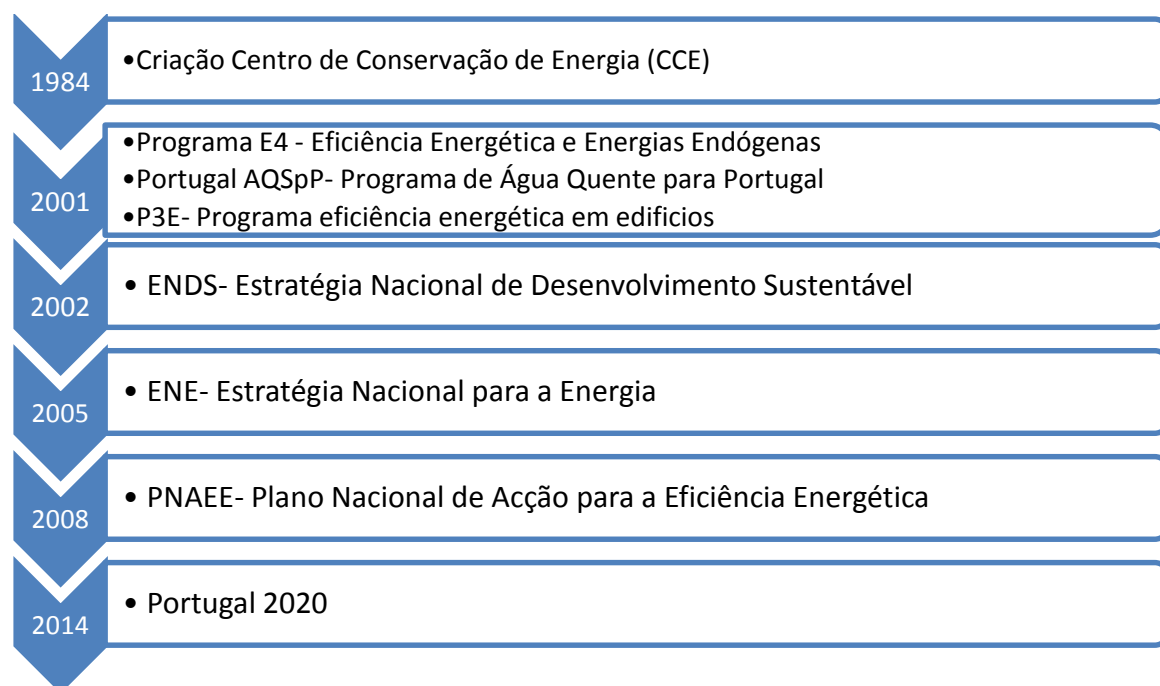


Figura 2.6-Calendarização de medidas de eficiência energética, adaptado de [6].

### 2.2.2. Legislação sobre eficiência energética em edifícios

A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu, que tinha como objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas e locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e rentabilidade económica, deu origem ao Decreto de Lei nº78/2006 de 4 de Abril. Este por sua vez originou a aprovação do Sistema de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade de Ar Interior (QAI) nos edifícios. Foram lançados, também a 4 de Abril, o Decreto de Lei nº79/2006 e o Decreto de Lei nº80/2006 que aprovaram o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). A ADENE teve como principal papel a criação de um departamento composto por peritos qualificados que conduzissem o processo de certificação energética de edifícios. No entanto, esta diretiva seria reformulada através da diretiva 2010/31/EU, que seria transposta através do Decreto de Lei nº118/2013. Este decreto assumiu especial importância no sentido em que juntou num só documento o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de

Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços e Comércio (RECS).

Em 2009, foi lançada a Diretiva 2009/91/CE, que pretende promover a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e que veio fixar alguns objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia.

Em 2011, através da Resolução do Conselho de Ministros nº2/2011, foi lançado o programa ECO.AP que visa alcançar os 30% de eficiência energética nos organismos de serviços e Administração Pública até 2020. O programa pretende dinamizar medidas que permitirão ao Estado poupar na fatura energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa [8].

De acordo com a Comissão Europeia, em 2020 estas medidas são um passo muito importante para a redução da emissão de gases de efeito estufa, assim como no aumento da eficiência energética. Os objetivos para 2020 são os seguintes:

- Reduzir em 20% as emissões de GEE relativamente ao ano de 1998
- Aumento de 20% da quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo de energia final bruto.
- Redução de 20% do consumo de energia primária relativamente à projeção do consumo para 2020 [9].

### **2.2.3. Legislação e Normas em Complexos Desportivos com Piscinas Interiores**

No que diz respeito a normas e legislação específica para complexos com piscinas interiores, existem algumas normas e diretivas a nível nacional e europeu que devem ser tidas em consideração aquando da construção de um edifício desta tipologia e, também, durante a sua manutenção e utilização.

De acordo com o Comité Européen de Normalisation, foi criada a norma europeia EN-15288-1 que regula o procedimento de construção de complexos com piscinas e implementa alguns procedimentos para a utilização deste tipo de edifícios. A norma é composta por 2 partes distintas, na primeira parte designada por “Safety requirements for design” onde estão incluídos todos os requisitos necessários à construção do edifício:

materiais, especificações para balneários, áreas técnicas e *layouts* específicos para cada tipo de piscina, enquanto a segunda parte designada por “Safety requirements for operation”, estabelece alguns procedimentos relativos ao funcionamento do edifício [10].

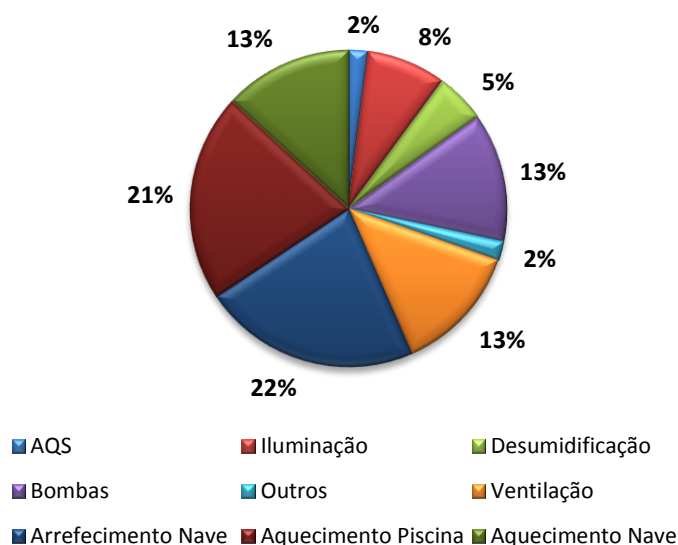
Com base nesta norma foi criada em 1993 uma diretiva nacional por parte do Conselho Nacional de Qualidade designada por CNQ 23/93. Esta norma “... *tem por objeto, fixar, com carácter geral, as disposições de segurança, hígio-sanitárias, técnicas e funcionais, que devem ser observadas nas piscinas e nos estabelecimentos dedicados a atividades recreativas aquáticas correlacionadas, de uso público*” [11]. Esta diretiva surgiu no sentido de colmatar algumas falhas que tinham vindo a ser verificadas no uso de piscinas públicas, e assim, assegurar as condições necessárias para a utilização e bom funcionamento de todos os edifícios públicos com este tipo de especificações.

Mais recentemente, em 2009, a Direção Geral de Saúde lançou uma Circular Normativa que incide principalmente na qualidade do ar e da água em piscinas, assim como na promoção da saúde e segurança dos utilizadores e trabalhadores [12].

### **2.3. Investigação de Eficiência Energética em Complexos Desportivos com Piscinas Interiores**

Os complexos desportivos são edifícios com características bastante específicas no que diz respeito ao seu consumo energético, destacando-se assim das tipologias já existentes, quer no caso de edifícios habitacionais, quer no caso de edifícios de serviços. O elevado consumo energético, o seu perfil de utilização, localização geográfica e tipo de atividade desportiva são características muito importantes e que devem ser tidas em consideração na sua análise. Devido a este facto, poder-se-á apenas comparar complexos desportivos com as mesmas características, que no caso, serão complexos desportivos com piscinas interiores.

Os consumos energéticos em piscinas interiores envolvem normalmente dois tipos de energia, gás natural para o aquecimento e climatização da piscina e do seu espaço envolvente, e energia elétrica para iluminação do complexo desportivo e para a alimentação dos sistemas de bombagem de água e equipamentos de climatização. Na Figura 2.7 estão representadas os diferentes setores onde é consumida energia.



**Figura 2.7-Gastos energéticos em piscinas interiores**

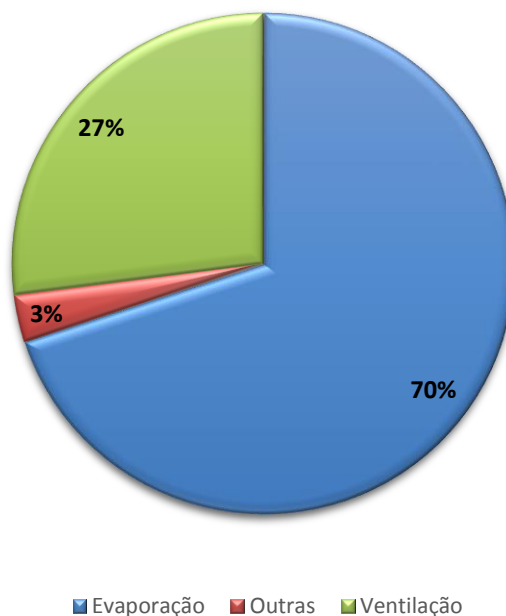
No que concerne aos gastos energéticos podemos atestar que as piscinas interiores têm uma diversidade bastante grande de gastos energéticos. É fácil constatar que as condições da nave, nomeadamente a sua temperatura e humidade relativa, implicam gastos energéticos bastante elevados.

No capítulo dos requisitos térmicos e de ventilação em tanques desportivos, a temperatura da água deve situar-se entre os 24 e os 26 °C, enquanto a temperatura de bolbo seco deve divergir no máximo cerca de 2 °C, relativamente à água do tanque. Já em termos de humidade relativa, os valores de referência são entre os 55 e 75%. São também indicados alguns valores de renovações de ar, cerca de 6 l/s.banhista e a velocidade do ar não deve exceder os 2 m/s, uma vez que pode causar desconforto aos utilizadores devido a correntes de ar. [11]

As exigentes condições impostas por esta norma são um dos fatores que levam ao elevado consumo energético, pois torna-se necessário despender bastantes recursos energéticos para que sejam cumpridos estes requisitos, de modo a assegurar o bom funcionamento do complexo e o bem-estar e conforto dos seus utilizadores.

Outro fator crucial nesta tipologia de piscinas é a questão das perdas energéticas. A Figura 2.8 ilustra os diferentes tipos de perdas que ocorrem.





**Figura 2.8-Perdas térmicas em piscinas interiores.**

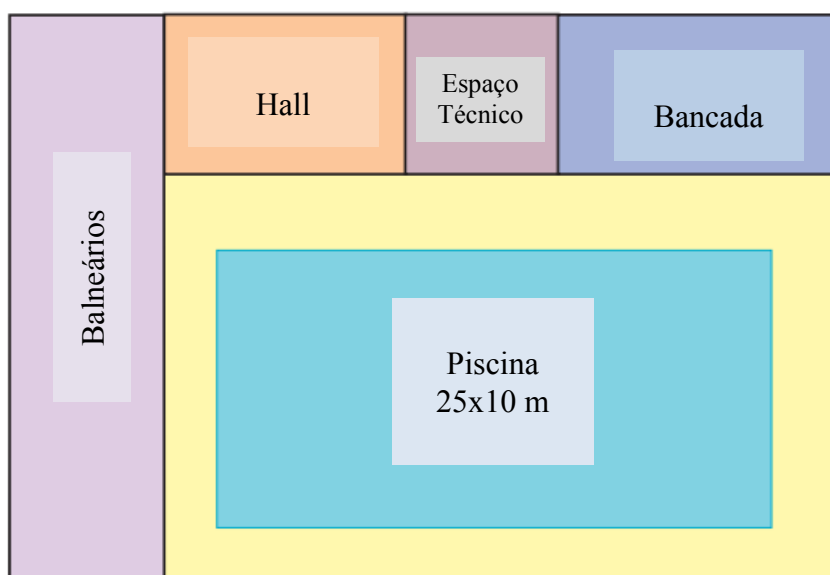
Podemos verificar que as maiores perdas térmicas se devem à evaporação. Este é um problema crucial quando falamos de perdas energéticas em piscinas. No entanto, já existem algumas formas de minimizar estas perdas, formas essas que serão referidas no capítulo seguinte relativo a medidas de eficiência energética para piscinas interiores.

Como já foi referenciado anteriormente, o fato deste tipo de edifícios ser bastante dispendioso a nível energético levou à elaboração de manuais de boas práticas que devem ser seguidos aquando da construção deste tipo de edifícios ou quando se pretende implementar medidas de melhoria de modo a reduzir significativamente os custos da instalação.

O governo do Reino Unido criou um manual de boas práticas sobre eficiência energética em edifícios [13], neste manual podemos encontrar uma análise de *benchmarking* relativa aos custos energéticos de edifícios desportivos, baseado em dados recolhidos em cerca 200 centros desportivos espalhados por todo o Reino Unido e que tem como objetivo servir de base de comparação para outros. Através deste manual podemos facilmente analisar energeticamente um complexo desportivo e compará-lo com os valores referenciados no manual. Para além disso, o manual dispõe ainda de algumas sugestões de melhoria de eficiência energética que se encontram no próximo capítulo desta dissertação.

Os estudos efetuados nos complexos desportivos, incluídos no manual de boas práticas, inclui 7 tipologias de edifícios entre eles edifícios com piscinas interiores, através do qual podemos ter acesso aos gastos e custos energéticos por unidade de área do complexo. A Tabela 2.1 e a Figura 2.9, adaptadas do manual, ilustram os custos e consumos apresentando para cada tipo de edifício, em duas gamas: os *Typical* e os *Good Practice*. Os valores denominados por *Typical* são valores que se observam na maior parte das instalações, enquanto os denominados por *Good Practice* são valores referência, com os quais se atinge uma eficiência energética aceitável, e ao mesmo tempo, se reduzem as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Das 7 tipologias apresentadas no documento nenhuma corresponde exatamente ao caso que se pretende estudar nesta dissertação. No entanto, é possível encontrar tipologias muito semelhantes à que se pretende estudar. O caso que se segue representa um complexo desportivo constituído por uma piscina de 25 m, idêntica à que se vai estudar, uma zona de balneários, e ainda alguns espaços técnicos e bancada.



FONTE: [13]

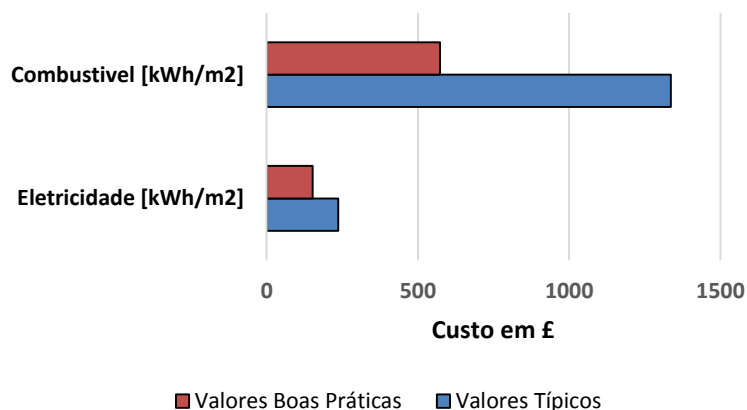
Figura 2.9-Planta de complexo desportivo com piscina interior (Tipologia 2).

Tabela 2.1 Gastos/Custos Energéticos do complexo desportivo da Tipologia 2.

Valores	Gastos/Custos Energéticos por ano em €			
	Eletricidade [kWh/m <sup>2</sup> ]	Combustível [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo [€/m <sup>2</sup> ]	Custo Tipologia 2 [€]
Típicos	237	1336	36,9	35113
Boas Práticas	152	573	19,71	18718
Diferença de custo	85	17,25	12,32	16395

FONTE: [13]  
 FATOR DE CONVERSÃO 1£=1,4 €

Os valores representados na figura 2.10 dizem respeito a um complexo desportivo existente na Escócia, podendo-se verificar que os valores típicos da instalação são bastante superiores aos valores de boas práticas. No que diz respeito ao complexo tomado como exemplo, caso existisse uma política de eficiência energética de acordo com este manual, a poupança energética e a redução dos custos associados seria enorme.



FONTE: [13]  
 Figura 2.10-Custos Energéticos Anuais em £ de um Edifício (tipologia 2).

## 2.4. Medidas para melhorar eficiência energética em complexos desportivos com piscinas interiores

De acordo com alguns estudos já efetuados, no âmbito da eficiência energética em complexos desportivos com piscinas interiores, é possível verificar que existem várias medidas que permitem aumentar a eficiência energética do complexo. Algumas destas medidas são bastante simples e podem ser implementadas sem grandes investimentos,

enquanto outras apresentam investimentos iniciais um pouco maiores mas que permitem um retorno desse investimento num curto espaço de tempo.

Existem vários setores onde se podem desenvolver estas medidas, nomeadamente: na iluminação do edifício, nas alterações da envolvente, no sistema de aquecimento e ventilação e no sistema de AQS [14].

### **2.4.1. Energia elétrica**

O sistema elétrico de um complexo desportivo é composto por todos os sistemas acionados por energia elétrica, desde as lâmpadas que constituem a iluminação de todo o edifício até aos motores das bombas circuladoras, que permitem transportar a água por todo o edifício.

Algumas medidas que podem melhorar este campo são:

- Sensores de presença de iluminação em locais frequentados esporadicamente e que não necessitem de iluminação durante todo o período de funcionamento do complexo.
- Substituição das lâmpadas que iluminam o plano de água por lâmpadas económicas.
- Estabelecer diferentes níveis de luminosidade consoante a tipologia do espaço.
- Utilização de sensores de luminosidade que estabelecem a necessidade de utilização de luz artificial.
- Sensibilizar os utilizadores e trabalhadores para uma política de eficiência energética, para que estes possam sentir que estão a contribuir para um melhor desempenho energético do edifício e, conseqüentemente, para uma melhor performance da empresa ou instituição que representam.
- Utilização de um sistema de manutenção preventiva para todos os equipamentos que consomem energia elétrica, como por exemplo, as bombas hidráulicas.

### **2.4.2. Sistema AVAC**

O sistema de ventilação e ar condicionado de um complexo desportivo tem de funcionar nas melhores condições, uma vez que dele dependem todas as condições de

---

temperatura e humidade do edifício, assim como, o conforto dos utilizadores e o bom funcionamento das instalações. Existem inúmeras medidas que podem ser estabelecidas quando se trata deste sistema, algumas delas estão enumeradas de seguida.

- Estabelecer diferentes *set points* de temperaturas de acordo com o espaço que se pretende climatizar, seguindo manuais de referência que permitem saber quais as condições ideais de conforto para os utilizadores, consoante a especificidade do espaço. De acordo com a Norma CNQ 23/93 [11], a temperatura da nave da piscina deve ser mantida com um diferencial positivo de cerca de 2 °C (aproximadamente entre os 28 e os 30 °C), em contra ponto com as temperaturas recomendadas para espaços técnicos que se devem situar entre os 22 e os 24 °C.

-Ajustar o funcionamento do ar condicionado de acordo com as temperaturas e horários de funcionamento dos diferentes espaços climatizados.

- Utilização de portas automáticas, ou cortinas de ar, nas zonas de entrada e saída do edifício de modo a que as cargas térmicas não variem em demasia.

- Elaboração de um plano de manutenção preventiva para todos os elementos que compõem o sistema de aquecimento do edifício. As caldeiras a gás devem ser inspecionadas e sujeitas a manutenção anualmente.

- Utilização de uma cobertura para a piscina de modo a evitar as perdas por evaporação, quando esta não se encontra em funcionamento. Esta é uma das medidas mais rentáveis, pois as perdas por evaporação são as que se verificam em maior escala neste tipo de complexos. A utilização de uma cobertura pode reduzir entre 10 a 30 % o total de gastos energéticos de uma piscina [14].

- A utilização do sistema de *free cooling*, que consiste na introdução de ar exterior no sistema de insuflação do edifício aproveitando a carga térmica existente no ar que circula no exterior do edifício.

-Estabelecer *set points* de temperatura com um diferencial significativo de modo a evitar que a variação de temperatura nos espaços climatizados provoque o acionamento desnecessário do sistema de ar condicionado. Para isso, basta definir temperaturas com um diferencial de cerca de 4 a 5 °C que não vão influenciar significativamente o conforto ou desconforto dos utilizadores, e assim, impedir que o sistema de ar condicionado seja acionado sem necessidade.

-Utilização de vidros refletivos para evitar aquecimento desnecessário de zonas que estejam permanentemente expostas à radiação solar.

- Utilização de variadores de velocidade para controle dos ventiladores do sistema de ventilação. Esta medida faz com que seja possível adaptar o funcionamento do sistema consoante as necessidades do espaço a climatizar e gera a possibilidade de climatizar diferentes espaços utilizando uma quantidade de energia proporcional às necessidades.

### 3. CASO DE ESTUDO

#### 3.1. Metodologia para levantamento e análise de dados

A metodologia utilizada para efetuar este estudo baseou-se nas informações fornecidas pelos responsáveis do CMPL, tais como os dados relativos ao número de utilizadores das piscinas, faturas energéticas relativas aos consumos de gás natural e energia elétrica. Efetuou-se também o levantamento dos equipamentos e respetivas potências, assim como uma descrição e caracterização da instalação.

No que diz respeito ao registo de entradas dos utentes, os dados apresentam algumas falhas visto que o registo de entradas era efetuado manualmente pelos responsáveis do CMPL, tendo sido implementado apenas em Setembro de 2014 o sistema de registo através de torniquetes. Daí ter sido feita uma estimativa do número anual de utilizadores das piscinas tendo em conta as inscrições efetuadas nesse ano, quer pelos utilizadores de regime livre, quer pelos alunos inscritos nas escolas de natação.

Relativamente aos consumos de gás natural e energia elétrica o estudo efetuado foi feito com base nas faturas energéticas fornecidas, sendo que no caso da energia elétrica foi instalado um analisador de energia no quadro principal do complexo (ver Fig.3.1 e 3.2). O analisador de energia permite-nos medir o consumo energia elétrica da instalação, registando valores de potência ativa e reativa em períodos de 15 minutos. A instalação do analisador de energia permitiu também obter um perfil semanal e diário da instalação e perceber quais os períodos críticos de consumo do complexo.



Figura 3.1-Analisador de energia.



Figura 3.2-Pormenor da instalação de analisadores de energia no Quadro Geral do CMPL.

Efetuuou-se ainda uma análise de gases às caldeiras do complexo recorrendo a um analisador de gases TESTO 350XL (ver fig. 3.3 ) que permite medir e analisar os limites dos gases de combustão. De modo a determinar alguns parâmetros característicos da combustão e do funcionamento das caldeiras, para isso, utilizou-se o seguinte procedimento:

1. Colocação do equipamento à sua carga máxima durante 5-10 minutos.
2. Retirar o valor da temperatura ambiente com a sonda exposta ao ar ambiente.
3. Colocação da sonda no interior da chaminé da caldeira, assegurando que esta fica no centro da mesma. Não foi necessário furar a chaminé uma vez que esta já continha o orifício para a introdução da sonda.
4. Esperar que o valor de temperatura dos gases de exaustão estabilize e registar os valores obtidos.



**Figura 3.3-Pormenor de instalação do analisador de gases.**

Seguidamente, foi efetuada a transposição dos dados para formato digital e respetivo tratamento dos mesmos, para que se procedesse à sua análise e deteção de eventuais erros.

Por fim procedeu-se à elaboração de alguns gráficos que permitem analisar mais facilmente os dados obtidos e compará-los com outros presentes na revisão bibliográfica.



## 3.2. Caracterização do edifício e equipamentos

### 3.2.1. Edifício

O edifício em estudo é o Complexo Municipal de Piscinas de Leiria, inaugurado em 1998. O edifício sofreu alterações em 2003, que consistiram na ampliação do complexo, com a construção de 2 novas piscinas e um edifício de escritórios. O complexo é composto por 2 pisos e dispõe neste momento de 3 piscinas, um zona de escritórios, ginásio e outras salas direcionadas para a prática de exercício físico e gabinetes técnicos. Nas Tabelas 3.1 e 3.2 estão representadas as áreas dos respetivos pisos do CMPL e de cada uma das piscinas.

**Tabela 3.1- Levantamento área de superfície das piscinas do CMPL.**

Piscina	Área [m <sup>2</sup> ]
Competição	435
Lazer	435
Chapinheiro	87
<b>Total</b>	<b>957</b>

**Tabela 3.2-Áreas do CMPL.**

Piso	Área [m <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	4824
<b>1</b>	685
<b>Total</b>	<b>5509</b>

As piscinas estão repartidas por duas naves distintas com ligação interior entre elas, ambas possuem uma grande área de envidraçados. Numa das naves, nave A, está inserida a piscina de competição de 25x17,4 m com uma profundidade de 2 m. Esta nave contempla ainda um espaço de bancadas com capacidade para 252 espectadores, uma zona composta por salas de reuniões, salas para a prática de exercício físico e um ginásio. Na nave B estão 2 piscinas, uma direcionada para a adaptação ao meio aquático com dimensões 17,4x5 m com 0,9 metros de profundidade e outra piscina de 25x17,4x1,1 m que pode funcionar como piscina de aquecimento, aprendizagem, bem como para a realização de atividades de carácter mais sedentário. A nave B possui ainda uma zona de bancadas com capacidade para 100 pessoas. Na Figura 3.4 estão representadas ambas as naves do complexo.



**Figura 3.4 -Complexo Municipal de Piscinas de Leiria.**

O piso 0 do complexo contém as piscinas acima descritas, zonas de balneários, gabinetes técnicos e ainda uma parte do edifício destinada a escritórios. Também neste piso, mas numa zona mais afastada situa-se a denominada área técnica, esta é composta por todos os equipamentos de apoio ao funcionamento da piscina, caldeiras, bombas de pressurização, bombas doseadoras, filtros, permutadores de calor, tanques de compensação, depósito de para acumulação de AQS proveniente dos coletores solares.

O piso 1 é composto por gabinetes utilizados pelos técnicos desportivos e por alguns escritórios onde estão sediadas algumas federações.

A cobertura do edifício contempla os equipamentos referentes ao sistema de climatização do edifício, unidades de tratamento de ar (UTA's), unidades de tratamento de ar novo (UTAN's), chiller, ventiladores. Complementarmente, é composta por um conjunto de 20 painéis solares térmicos que têm como única função o aquecimento de AQS.

Na figura 3.5 mostra-se a planta do piso 0 do complexo, que corresponde à descrição efetuada anteriormente. Já as plantas do piso 1 encontra-se no Anexo A.

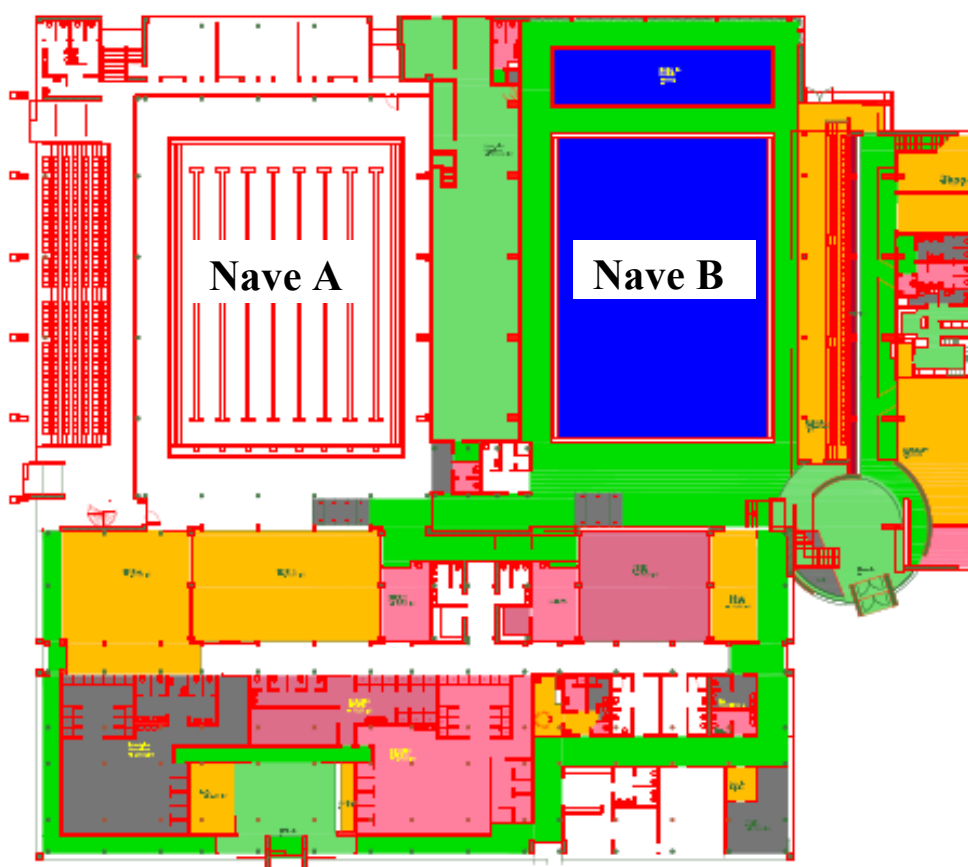


Figura 3.5 - Planta do Nível 1 do CMPL.

### 3.2.2. Equipamentos

Na área técnica do CMPL encontra-se a central térmica do complexo, onde está instalado o sistema centralizado de produção de água quente, através de 3 caldeiras gastubulares (ver Fig.3.6), a gás natural, com as características referidas na Tabela 3.3.

Para além do aquecimento de AQS, as caldeiras produzem também a água quente necessária para alimentar as baterias das UTA's e outros equipamentos que pertencentes ao sistema AVAC. O diagrama de princípio da instalação com todos os equipamentos que consomem energia térmica encontra-se no Anexo C.

**Tabela 3.3- Características nominais das caldeiras do CMPL**

Tipo	Caldeira de água quente	Caldeira de água quente
Marca/Modelo	ROCA/CPA 250	ROCA CPA 300
Ano de Fabrico	2004	2004
Potência nominal [kW]	290,7	348,8
Pressão máxima de serviço [bar]	5	5
Temperatura máxima de serviço [°C]	100	120
Combustível	Gás Natural	Gás Natural
Equipamento de combustão	Queimador 2 escalões	Queimador 2 escalões
Número de unidades	2	1

Para além das caldeiras existentes, existe também um conjunto de 20 coletores solares térmicos instalados na cobertura do edifício, para o aquecimento de AQS. A sua orientação não é a mais correta, uma vez que existe um sombreamento parcial provocado pela cobertura da nave B que interfere com a exposição solar dos painéis, durante todo o ano.



**Figura 3.6- Caldeiras do CMPL.**



**Figura 3.7- Depósito de inércia e controlador solar dos coletores solares.**

O sistema AVAC do complexo é efetuado por um sistema a 4 tubos em que o fluído utilizado é água, o aquecimento é assegurado pela central de produção de água quente, caracterizada anteriormente. O sistema é composto por uma série de condutas circulares que estabelecem a ligação entre as caldeiras e os equipamentos responsáveis pela climatização do edifício. Neste caso, o complexo dispõem de duas unidades de tratamento de ar (ver figura 3.8) que para além de serem as principais responsáveis pela climatização das naves são também as unidades responsáveis pela desumidificação do ar. O sistema contém ainda um chiller (ver figura 3.9) que garante a produção de frio para todo o edifício. Além destes equipamentos principais todo o sistema é composto por ventiladores de insuflação e extração de ar, e uma série de unidades de tratamento de ar novo (UTAN's) que asseguram a introdução de ar novo no complexo. No Anexo C podemos ver o esquema de princípio dos componentes presentes na cobertura do edifício. Na Tabela 3.4 estão presentes os principais equipamentos pertencentes ao sistema AVAC.



Figura 3.8- UTA da Nave B.



Figura 3.9- Chiller.

Tabela 3.4-Lista dos equipamentos do Sistema AVAC do CMPL.

Equipamento	Quantidade	Potência de Aquecimento/ Arrefecimento	Espaço Climatizado
UTA 1	1	96 - 130 kW / 79 kW	Nave A
UTA 2	1	96 - 130 kW / 79 kW	Nave B
UTA 3	1	-	Ginásio
UTA 4	1	-	Sala de Fitness
UTAN	7	-	Todo o Edifício
Ventiladores	10	-	Todo o Edifício

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Perfil de utilização

Na Figura 3.10 pode verificar-se o número de utentes que utilizou as piscinas nos últimos 3 anos.<sup>1</sup>

O número de utilizadores do complexo tem vindo a aumentar registando-se um aumento de cerca de 5000 utilizadores de 2012 para 2014. É também perceptível através da análise da Figura 3.11 que a variação do número de utilizadores é praticamente constante ao longo do ano, exceto nos meses de Agosto devido ao encerramento do complexo e Setembro mês em que o efeito das férias escolares ainda se faz sentir.

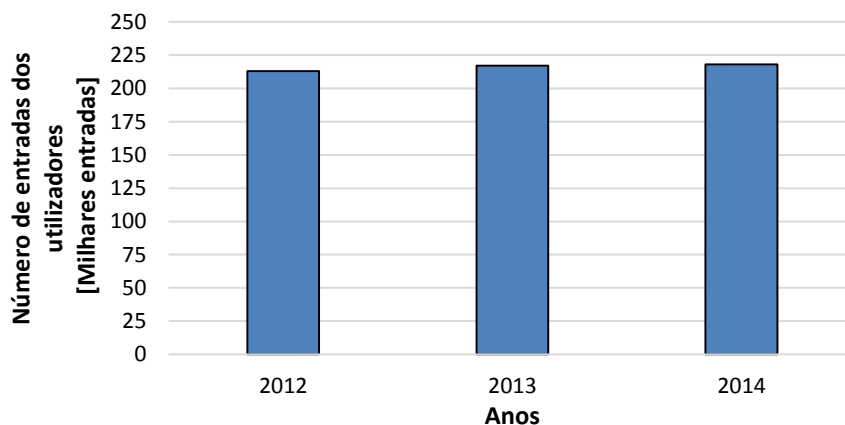


Figura 3.10 - Número de utilizadores do CMPL entre 2012 e 2014.

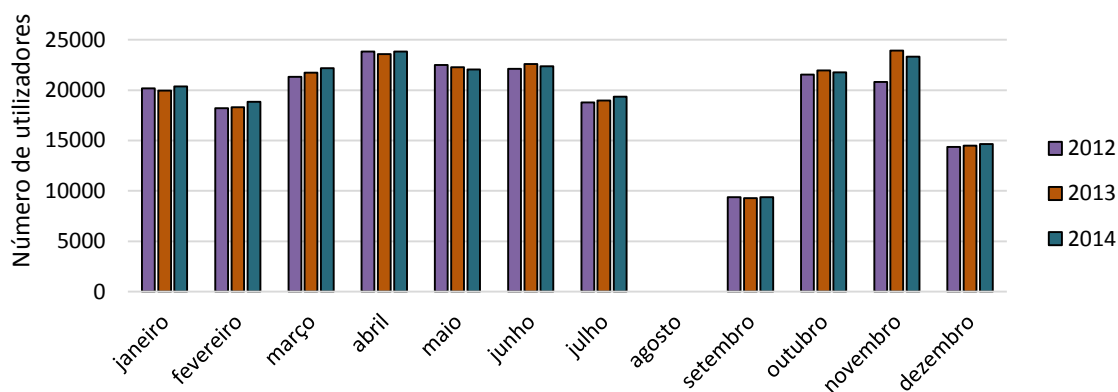


Figura 3.11-Distribuição mensal do número de utilizadores entre 2012 e 2014.

<sup>1</sup> Ter em consideração que os números podem não ser exatos, visto que, aquando da realização de provas não eram contabilizadas as entradas

### 3.3.2. Consumos totais

Entre 2010 e 2012 registou-se um decréscimo aproximadamente linear do consumo de água, caindo para menos de metade em 2012 relativamente a 2010 (ver Fig. 3.12). A Figura 3.13, mostra o consumo mensal nos 3 anos atrás reportados, verificando-se algumas variações muito significativas que advém do facto do consumo ter sido calculado com base na fatura da água, que regista apenas o consumo faturado nesse mês, havendo por vezes acertos que não correspondem ao consumo real.

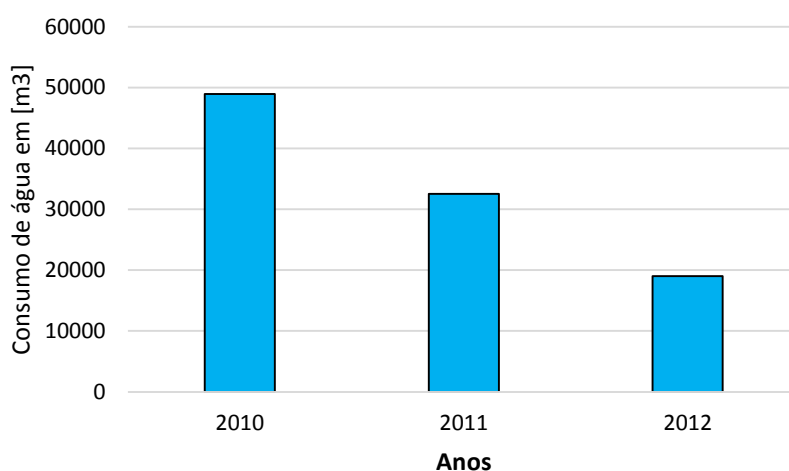


Figura 3.12-Evolução do consumo de água entre 2010 e 2012.

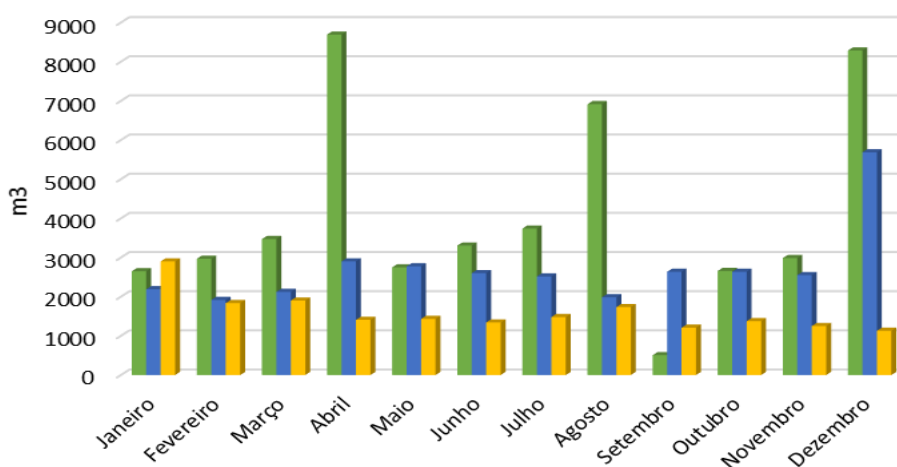


Figura 3.13-Distribuição mensal do consumo de água entre 2010 e 2012.

O consumo anual de gás natural tem vindo a aumentar, tendo registado o seu valor máximo no ano 2013, conforme mostra a Figura 3.14. O consumo de gás natural é utilizado nas caldeiras de aquecimento de AQS e na produção de água quente fornecida às UTA's.

A Figura 3.15 mostra o consumo mensal, sendo perfeitamente claro uma diferenciação entre meses de inverno e meses de verão. O facto de o complexo encerrar durante todo o mês de agosto explica também a queda dos consumos durante esse mês.

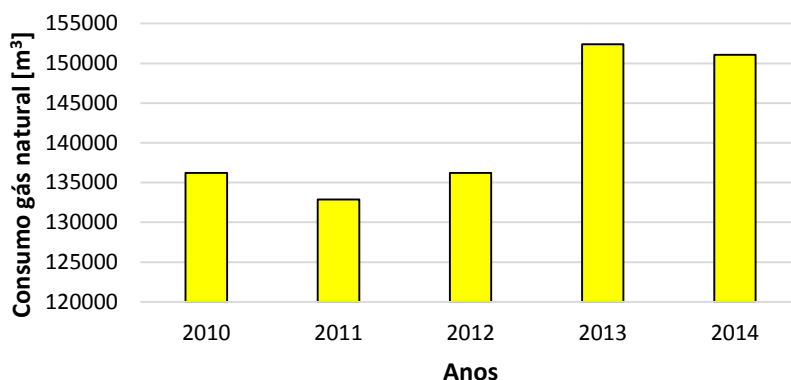


Figura 3.14- Evolução do consumo de gás natural entre 2010 e 2014.

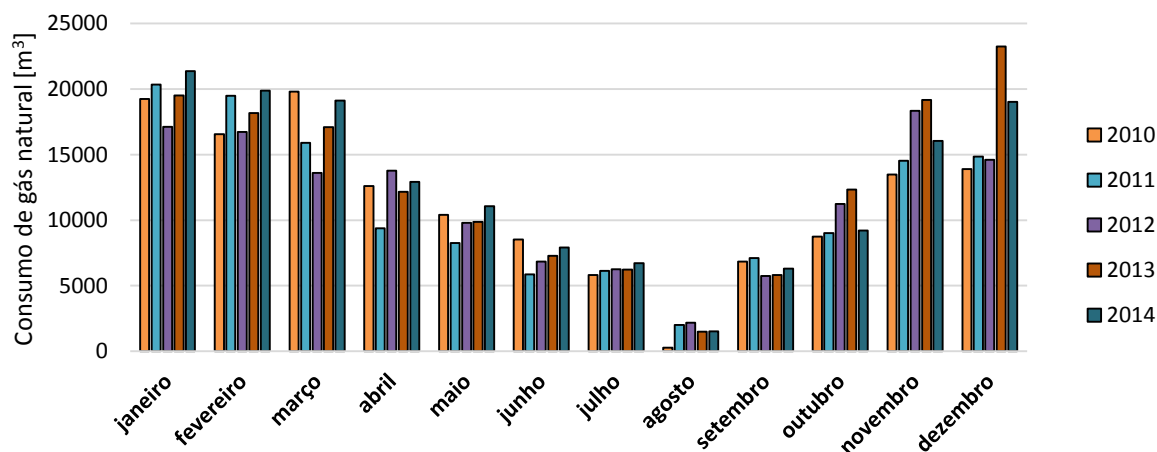


Figura 3.15-Distribuição mensal do consumo de gás natural entre 2010 e 2013.

Relativamente aos consumos de energia elétrica do complexo, estes representam uma parte bastante significativa dos consumos energéticos do edifício, uma vez que a energia

elétrica tem de assegurar o funcionamento da maior parte dos equipamentos presentes no edifício. Através do Figura 3.16 observa-se a evolução dos consumos entre os anos de 2010 e 2014.

Existe um claro decréscimo dos consumos de energia elétrica desde 2010, facto que pode ser explicado por uma forte política na poupança energética por parte dos responsáveis do CMPL. Esta política teve por base ações de sensibilização dos funcionários para a poupança energética assim como a introdução de sensores de deteção de presença que acionam a iluminação em diversos espaços do complexo. Quanto à distribuição mensal de consumos na Figura 3.17 verifica-se que não existe uma variação muito significativa ao longo do ano, registando-se uma diminuição de cerca de 76% no ano de 2014 durante o mês de Agosto, uma vez que o complexo se encontra encerrado.

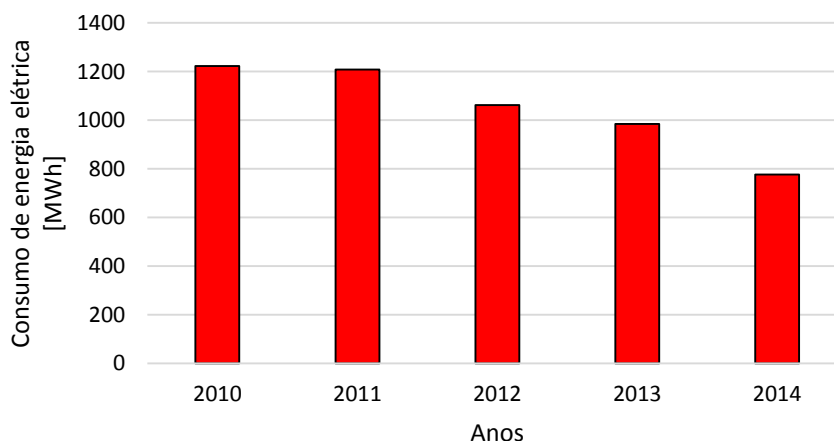


Figura 3.16- Evolução do consumo de energia elétrica entre 2010 e 2014.

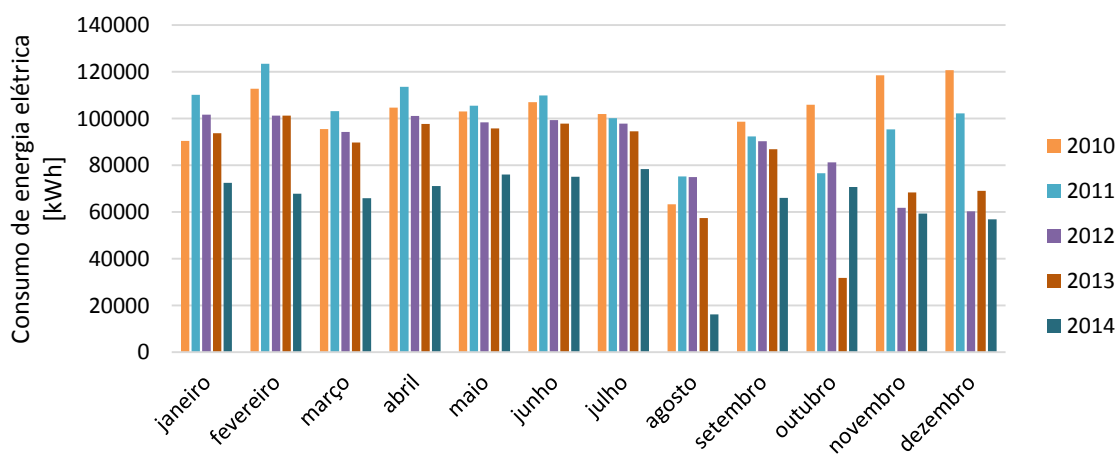


Figura 3.17- Distribuição mensal do consumo de energia elétrica entre 2010 e 2014.



### 3.3.3. Custos totais

Com base na informação fornecida pelos responsáveis do CMPL, e de acordo com as faturas energéticas dos últimos 5 anos, fez-se uma comparação dos custos com energia elétrica, combustíveis e água. Na Figura 3.18 estão presentes esses mesmos valores, sendo que os valores relativos aos custos de água em 2013 e 2014 não foram disponibilizados.

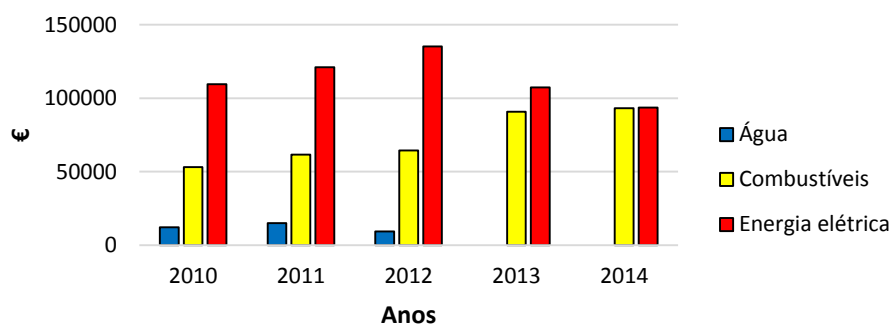


Figura 3.18- Custo anual dos diferentes consumos de 2010 a 2014.

Verifica-se, com base na Figura 3.18 que os custos de energia elétrica tendem a ser dominantes em relação aos de combustível até 2013. No entanto, a partir de 2013 o custo de combustível aproximou-se bastante devido à diminuição do consumo de energia elétrica e ao aumento crescente dos custos de combustível, que se tem verificado ao longo dos últimos 5 anos. Assim, justifica-se que deve ser dada maior atenção em termos de análise de possíveis melhorias e redução de consumo de combustível.

De modo a analisar a variação dos gastos energéticos ao longo dos meses, procedeu-se à elaboração de um gráfico representado na Figura 3.19, no qual se verifica que os gastos energéticos relativos ao consumo de combustível variam mais do que os gastos com a energia elétrica, uma vez que nas estações de arrefecimento o consumo de combustível é mais baixo. Relativamente ao consumo de energia elétrica este mantém-se particularmente constante ao longo do ano, exceto nos meses agosto e outubro, uma vez que em Agosto o complexo se encontra encerrado e em outubro, que pode ter existiu um acerto na fatura mensal, daí a redução de custos.

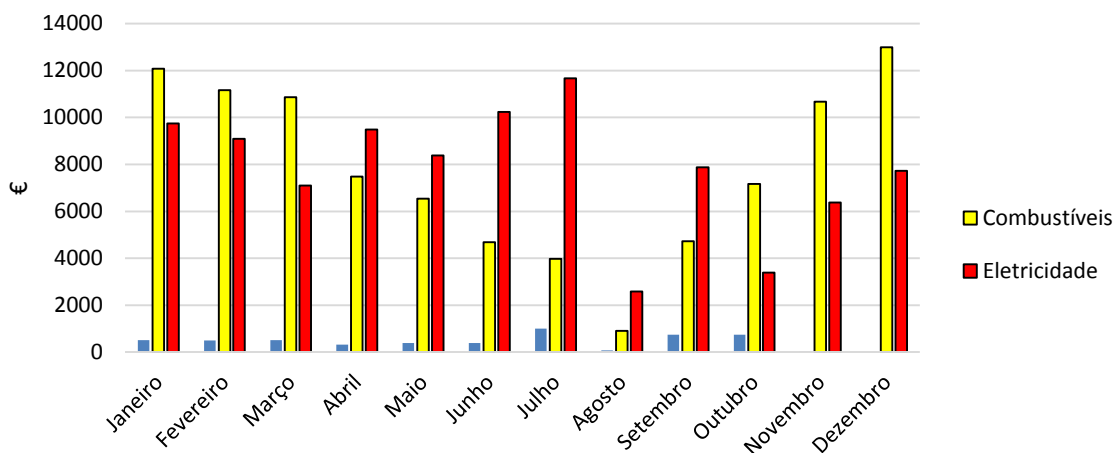


Figura 3.19 - Custos energéticos do CMPL em 2014.

### 3.3.4. Comparação consumos/custos gás natural e energia elétrica

Para podermos quantificar qual o peso da componente térmica e elétrica no consumo energético total do edifício estudou-se os seus consumos e custos nos anos 2013 e 2014, na Tabela 3.5 estão representados esses mesmos valores.

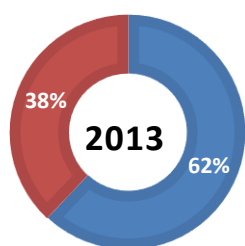
Tabela 3.5- Consumos/custos gás natural e eletricidade em 2013 e 2014.

Meses	2013				2014			
	Consumo Eletricidade [kWh]	Custo Eletricidade [€]	Consumo Gás [kWh]	Custo Gás [€]	Consumo Eletricidade [kWh]	Custo eletricidade [€]	Consumo Gás [kWh]	Custo Gás [€]
Janeiro	93692	9993	154878	11994	72542	9739	224922	12080
Fevereiro	101302	10804	191234	11161	67796	9094	209263	11160
Março	89744	9572	180130	10513	65974	7101	201407	10857
Abril	97639	10414	128191	7482	71169	9481	136054	7483
Maió	95755	10213	103994	6069	76039	8375	116394	6540
Junho	97828	10434	76752	4479	75095	10241	83318	4682
Julho	94577	10087	65531	3825	78333	11668	70639	3969
Agosto	57449	6127	15764	920	16176	2583	16059	902
Setembro	86833	9261	61372	3582	66083	7874	66469	4723
Outubro	31824	3394	129852	7170	70767	3394	96955	7170
Novembro	68331	7471	201818	10666	59295	6374	168920	10666
Dezembro	69108	9509	244803	12992	56830	7731	200438	12992
<b>Total</b>	<b>984080</b>	<b>107278</b>	<b>1554320</b>	<b>90854</b>	<b>776099</b>	<b>93655</b>	<b>1590836</b>	<b>93226</b>

Através da Tabela 3.5 verifica-se que a variação do consumo de eletricidade não sofre alterações muito significativas ao longo do ano, contrariamente aos consumos de gás uma vez que estes são bastante influenciados pela temperatura no exterior durante o ano, registando-se assim um maior consumo na estação de aquecimento.

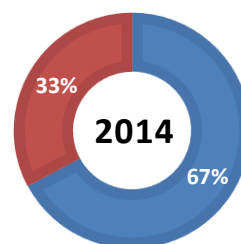
Através das figuras 3.20 e 3.21 podemos verificar que a percentagem de combustível é bastante superior à de energia elétrica. No entanto, em 2013 e 2014, os valores são bastante semelhantes, podendo constatar-se um aumento de três pontos percentuais no que diz respeito ao consumo de combustível, em 2014.

Com base na análise das Figuras 3.22 e 3.23 verifica-se que, contrariamente ao que se passa no consumo destes dois tipos de energia, os custos associados à energia elétrica são superiores aos de combustível.



■ Combustível ■ Energia elétrica

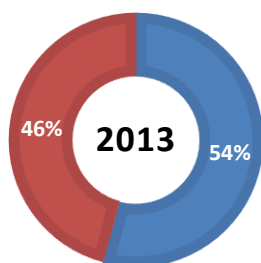
**Figura 3.20-Comparação percentual do consumo de combustível e energia elétrica em 2013.**



■ Combustível ■ Energia elétrica

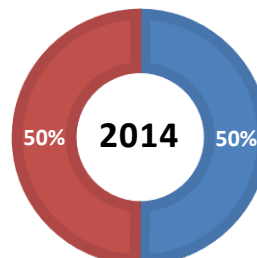
**Figura 3.21-Comparação percentual do consumo de combustível e energia elétrica em 2014.**

■ Energia Elétrica ■ Combustível



**Figura 3.22-Comparação percentual do custo de combustível e energia elétrica em 2013.**

■ Energia Elétrica ■ Combustível



**Figura 3.23-Comparação percentual do custo de combustível e energia elétrica em 2014.**

### 3.3.5. Consumos/custos específicos

Procedeu-se também à análise de outros indicadores bastante utilizados neste tipo de estudo que relacionam os gastos energéticos referentes à energia utilizada com a área do complexo. Para esse efeito, definiram-se os indicadores que estão representados na Tabela 3.5.

Outros dos indicadores calculados foram os consumos e custos de combustível e energia elétrica por utente. Na Tabela 3.7 encontram-se os valores desses parâmetros relativos ao ano de 2013 e 2014.

Ao analisar a Tabela 3.6 percebe-se a evolução do consumo energético dos últimos 2 anos, que relaciona os gastos energéticos com a área de superfície útil<sup>2</sup> do complexo, e ainda com a área de superfície do conjunto das 3 piscinas que se encontram inseridas no CMPL.

**Tabela 3.6- Indicadores específicos de Energia por área coberta e por área de superfície de piscina.**

Indicadores	2013		2014	
	Consumo específico [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo específico [€/m <sup>2</sup> ]	Consumo específico [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo específico [€/m <sup>2</sup> ]
Combustível/Área CMPL	349,9	17,5	346,9	18,0
Eletricidade/Área CMPL	189,8	20,7	149,7	18,1
Combustível/Área Superfície Piscinas	1895,9	94,9	1879,2	97,4
Eletricidade/Área Superfície Piscinas	1028,3	112,1	811,0	97,9
Energia Total/ Área CMPL	539,7	38,2	496,5	36,0
Energia Total/ Área Superfície Piscinas	2924,2	207	2690,2	195,3

**Tabela 3.7-Indicadores específicos por utente em 2013 e 2014.**

Ano	Utentes	Combustível		Eletricidade		Energia Total	
		Consumo específico [kWh/utente]	Custo específico [€/utente]	Consumo específico [kWh/utente]	Custo específico [€/utente]	Consumo específico [kWh/utente]	Custo específico [€/utente]
2013	217069	8,36	0,49	4,53	0,49	12,9	0,91
2014	218107	8,25	0,43	3,56	0,43	11,8	0,87

<sup>2</sup> Área de superfície útil- espaço climatizado.

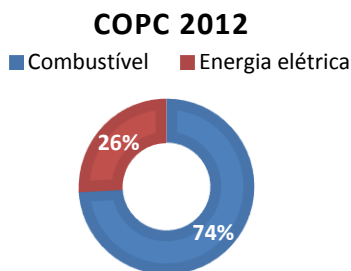
### 3.4. Comparação de consumos/custos do CMPL com o Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra e outros estudos

Com o intuito de perceber o significado dos valores encontrados ao longo deste estudo, estabeleceu-se uma comparação dos resultados encontrados no estudo do CMPL com outros estudados anteriormente. Uma vez que os complexos apresentam algumas diferenças significativas quanto à sua dimensão e tipologia, optou-se por analisar apenas alguns indicadores específicos que permitem obter uma visão transversal de todos os complexos. Na Tabela 3.8 podemos verificar as áreas dos complexos em análise, podemos verificar as áreas úteis do complexo são bastante diferentes, algo que influencia significativamente os consumos energéticos globais dos complexos, daí ter-se optado apenas por fazer uma análise dos indicadores específicos como já foi referido anteriormente.

**Tabela 3.8- Levantamento de áreas dos diferentes complexos**

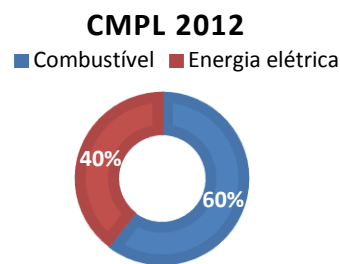
	<b>CMPL</b>	<b>COPC</b>	<b>Grécia</b>
<b>Local</b>	Leiria	Coimbra	Atenas
<b>Área Total [m2]</b>	5960	8907	3527
<b>Área de plano de água [m2]</b>	957	1725	1175
<b>Número de piscinas</b>	3	2	2

Na comparação entre consumo de combustível e energia elétrica de ambos os complexos, reflete-se o facto de o COPC necessitar de uma quantidade bastante superior de combustível, daí a discrepância de valores apresentados nas Figuras 3.24 e 3.25. Os respetivos custos associados ao consumo de energia estão representados nas Figuras 3.26 e 3.27.



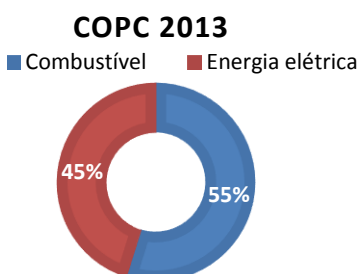
Fonte: [15]

Figura 3.24- Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do COPC em 2012.



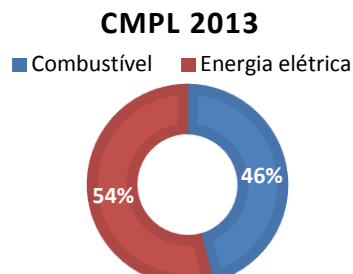
Fonte: [15]

Figura 3.25 - Comparação percentual de consumo de combustível e energia elétrica do CMPL em 2012.



Fonte: [15]

Figura 3.26 - Comparação percentual dos custos energéticos de combustível e energia elétrica do CMPL em 2013.



Fonte: [15]

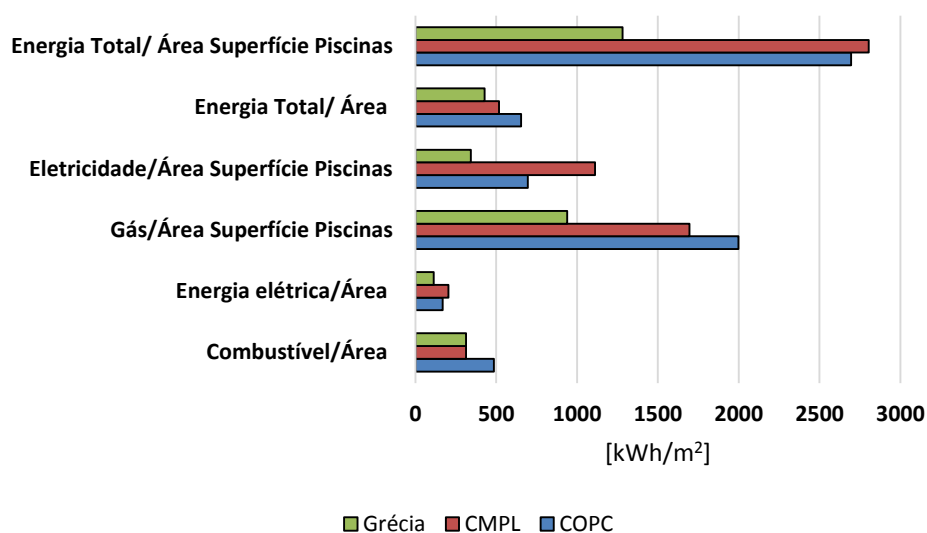
Figura 3.27 - Comparação percentual dos custos energéticos de combustível e energia elétrica do COPC em 2013.

Analisando agora os complexos do ponto de vista da energia utilizada por unidade de área, encontram-se valores mais coerentes e mais próximos. Na Tabela 3.9 registam-se os valores dos diferentes parâmetros por unidade de área.

Observa-se através da Figura 3.28 que a energia total utilizada nos complexos por unidade de área é superior no complexo de Coimbra [15], o que já não se verifica para o custo energético total por área de superfície de piscinas. O custo energético total por unidade de área é superior no complexo de Coimbra devido á forte contribuição dos consumos de gás natural, que são bastante superiores relativamente aos outros complexos. Por outro lado, o custo energético por área de superfície de piscinas é superior no complexo de Leiria devido à menor área de plano de água existente.

**Tabela 3.9 - Comparação do custo/consumo energético por área total e área de piscina entre o COPC, CMPL e estudo efetuado na Grécia em 2012, adaptado de [15] e [16]**

Indicadores	2012				1998	
	COPC		CMPL		Grécia	
	Consumo específico [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo específico [€/m <sup>2</sup> ]	Consumo específico [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo específico [€/m <sup>2</sup> ]	Consumo específico [kWh/m <sup>2</sup> ]	Custo específico [€/m <sup>2</sup> ]
Combustível/Área	485	27,3	313	17,5	313,1	-
Energia elétrica/Área	169	22,2	205	20,7	114,1	-
Combustível/Área Superfície Piscinas	1999	-	1695	-	939,8	-
Energia elétrica/Área Superfície Piscinas	696	-	1110	-	342,5	-
Energia Total/ Área	654	49,45	518	38,2	427,2	-
Energia Total/ Área Superfície Piscinas	2695	-	2805	-	1282,3	-



**Figura 3.28- Gráfico comparativo dos indicadores específicos dos diferentes complexos.**

De acordo com um manual de boas práticas desenvolvido no Reino Unido [13], elaborou-se o gráfico representado na Figura 3.29 que permite enquadrar os indicadores específicos encontrados. Estes estão divididos em duas categorias de valores, Boas Práticas e Típicos. Com base na análise da Figura 3.29 podemos verificar que os valores encontrados para o nosso estudo de caso se encontram numa gama de valores que excede o valor considerado de boas práticas no que diz respeito à energia elétrica, situando-se assim na gama de valores típicos. No entanto, os valores de combustível por unidade de área situam-se na gama de valores de boas práticas. O complexo grego também se encontra dentro do

intervalo de valores de boas práticas como podemos constatar através da análise da Figura 3.29.

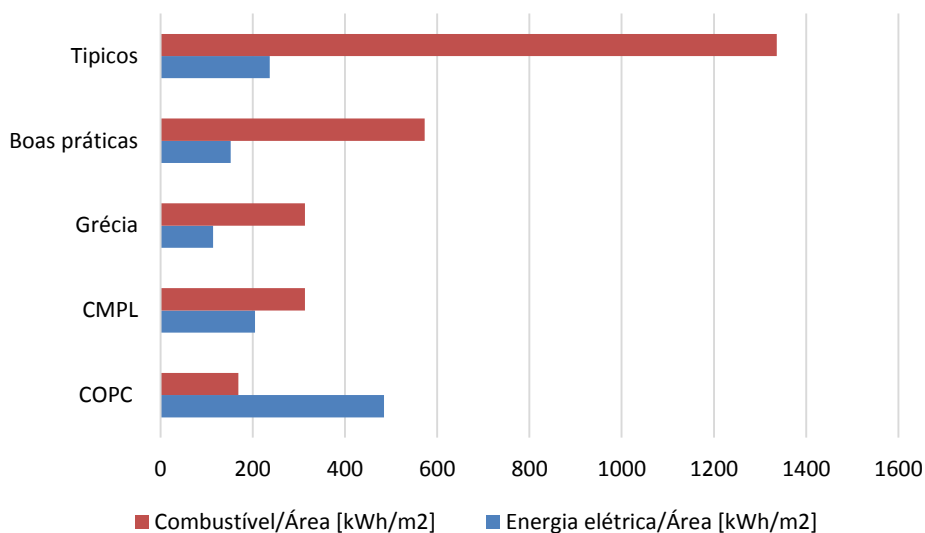


Figura 3.29 -Gráfico comparativo indicadores específicos estudados com manual de boas práticas

### 3.5. Energia elétrica

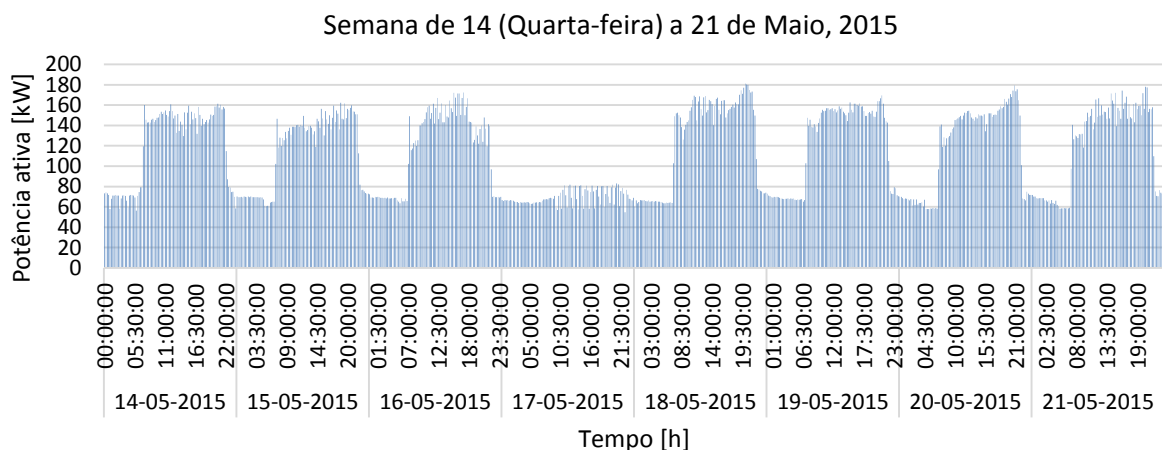
Relativamente aos consumos energéticos provenientes da iluminação do complexo estes têm um papel fundamental nos consumos, principalmente quando estão na sua capacidade máxima. No entanto, existe uma redução significativa durante o dia, uma vez que o complexo possui uma excelente iluminação natural, para a qual contribui o facto das fachadas do edifício serem maioritariamente envidraçadas nas zonas das piscinas.

A figura 3.30 permite verificar que o perfil de consumo de energia elétrica do CMPL mantém-se sensivelmente constante ao longo de toda a semana no período em que as piscinas se encontram em funcionamento, sendo os consumos diários muito semelhantes entre si. Constata-se também que o domingo é o dia em que a potência ativa se mantém praticamente constante ao longo do dia e com os valores mais baixos, uma vez que o complexo se encontra encerrado. No que diz respeito à potência base, verifica-se que esta se

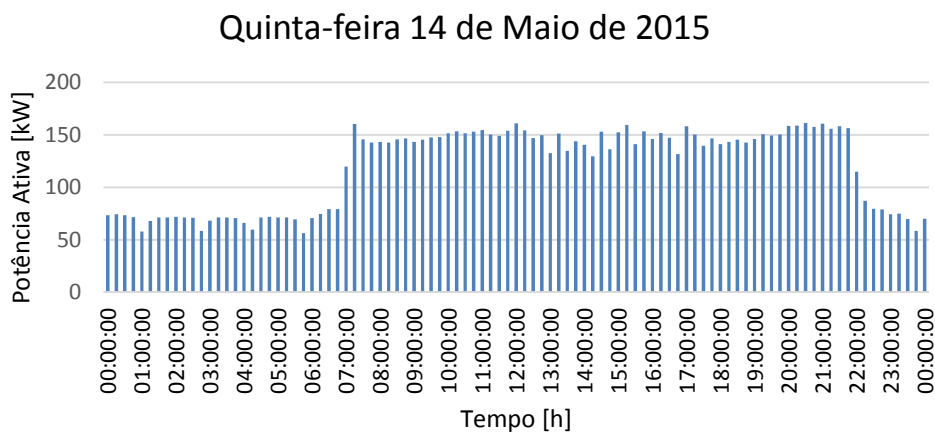


situa entre os 60 e os 80 kW, ou seja, um valor bastante elevado mas coerente com o tipo de edifício em estudo.

Na Figura 3.31 está representado o diagrama de consumo (DDC) de um dia típico da instalação que permite ter uma melhor perceção da solicitação de potência ativa e da sua variação ao longo do dia.



**Figura 3.30 - DDC global semanal da instalação.**



**Figura 3.31 - DDC global da instalação dia típico.**

## 3.6. Energia térmica

### 3.6.1. Inspeção às caldeiras

As caldeiras apresentam-se em bom estado de conservação, apesar de não serem modelos particularmente recentes. Não se verificam fugas de combustível e o isolamento está em bom estado. Não foi possível verificar se existe fuligem ou sujidade nos queimadores, no entanto as caldeiras são alvo de inspeções periodicamente.

Para aferir alguns parâmetros relativos à combustão das caldeiras efetuaram-se medições dos gases de combustão (ver Fig. 3.32). Para o efeito foi utilizado um analisador de gases TESTO 350XL. Na Tabela 3.10 apresentam-se os resultados das medições efetuadas às 3 caldeiras.

Tabela 3.10- Análise dos gases de Combustão.

Parâmetro	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
	Valor medido		
Temperatura ambiente [°C]	27,1	27,1	22,9
Temperatura gases [°C]	130	129,3	137,2
O <sub>2</sub> [%]	4,8	4,9	4,3
CO <sub>2</sub> [%]	9,2	9,2	9,5
CO [ppm]	1,0	1,0	1,0
NO [ppm]	64,0	64,0	60,0
No <sub>x</sub> [ppm]	65,0	65,0	61,0
NO <sub>2</sub> [ppm]	1,0	1,0	1,0
Riqueza λ [%]	1,3	1,3	1,3



Figura 3.32- Pormenor de instalação do analisador de gases

Através das medições efetuadas e com base nas equações representadas na Tabela 3.11 calcularam-se e registaram-se alguns parâmetros que caracterizam as caldeiras, tais como, perdas pela chaminé com queimador ligado ( $P_{ch,on}$ ) e o rendimento de combustão ( $\eta_{comb}$ ). Nas Tabela 3.12 apresentam-se os resultados obtidos. No Apêndice C estão representados os cálculos utilizados para a obtenção dos valores representados na Tabela 3.12.

**Tabela 3.11 - Equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros da combustão.**

Parâmetro	Equação	Descrição
Perdas pela chaminé com queimador ligado	$P_{ch,on} = (T_{gc} - T_{ar}) \times \left( \frac{A}{21 - O_2} + B \right) [\%]$	$A = 0.65$ $B = 0.009$ (valores normalmente utilizados para o gás natural) Aproximação de <i>Siebert</i>
Rendimento combustão	$\eta_{comb} = 100 - P_{ch,on} [\%]$	

**Tabela 3.12-Parâmetros das caldeiras do CMPL**

Parâmetros	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Perdas pela chaminé com queimador ligado [%]	5,1	5,0	5,5
Rendimento de Combustão [%]	94,95	94,95	94,52

As perdas pela chaminé com queimador ligado, os valores encontrados rondam os 5% valores considerados aceitáveis neste tipo de caldeiras. No que diz respeito ao rendimento de combustão, o valor encontrado ronda também os 5% nos três equipamentos.

## **4. ANÁLISE DE RESULTADOS E PROPOSTAS DE MELHORIA**

Neste capítulo irá proceder-se à análise de resultados obtidos no capítulo anterior, apresentando algumas propostas de melhoria, no sentido de otimizar e melhorar o funcionamento do complexo, com vista a obter uma maior eficiência energética.

### **4.1. Energia elétrica**

Na Figura 4.1 está representado o diagrama de consumo (DDC) de um dia típico da instalação que permite ter uma melhor perceção da solicitação de potência ativa e da sua variação ao longo do dia.

Ao analisar a Figura 4.1 verifica-se que a potência ativa variou em termos absolutos entre o valor mínimo de 56,4 kW registados às 6:00 horas e o máximo de 161,1 kW às 20:30 horas. Denota-se claramente pela análise do gráfico que a solicitação de energia ativa é bastante superior no período de funcionamento da piscina das 7:00 às 22:00 horas, uma vez que a maior parte dos equipamentos estão a funcionar à carga máxima.

O contrato de fornecimento de energia é no regime de média tensão, longas utilizações, opção tetra-horária e ciclo diário. Este regime contempla 4 períodos distintos, representados na Figura 4.1. Através desta representação podemos verificar que os períodos de maior consumo de energia se situam nos períodos mais dispendiosos, ou seja, período de cheias e ponta. Poderia ser efetuado um desvio de carga no período de abertura do complexo, que corresponde à maior solicitação de energia. Para isso seria necessário iniciar o funcionamento dos equipamentos cerca de 1 hora antes de modo a que o pico de potência máxima fosse transferido para o período de vazio.

Neste caso, e segundo as tarifas aplicadas pela EDP, a diferença seria de 0,1070 €/kWh no período de cheias para 0,0765 €/kWh no período de vazio [17].

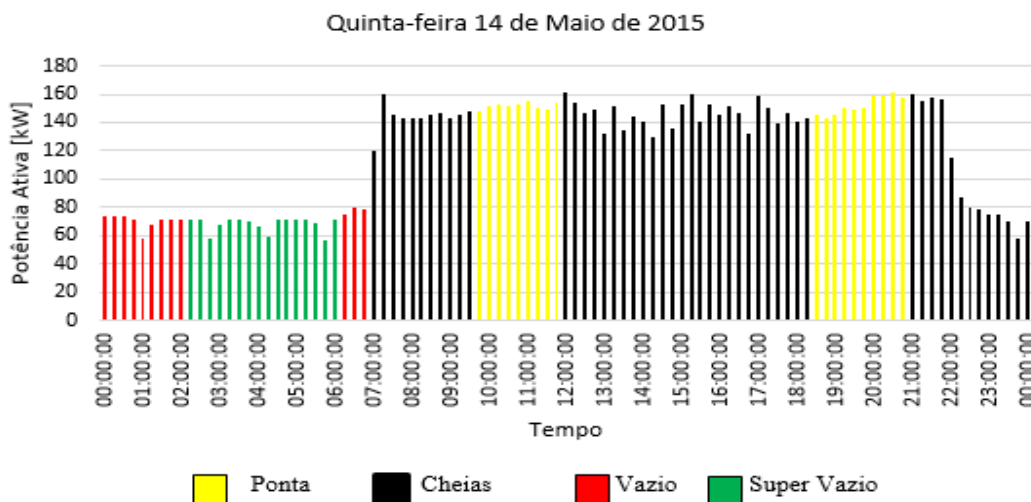


Figura 4.1- Análise das tarifas de media tensão no DDC global instalação.

## 4.2. Estimativa da repartição de energia térmica

Para estimar a energia térmica de AQS foram usados os indicadores da alínea c) art. 14º do Decreto de Lei nº 80/2006 que refere que em média cada pessoa gasta cerca de 40 litros de água quente a 60 °C. Partindo do pressuposto que todos os utilizadores das piscinas tomam banho, pode calcular-se o consumo de AQS mensal.

Sabendo que a massa volúmica da água a 60 °C é de  $988 \text{ kg/m}^3$ , obtém-se a massa de água através da Equação 4.1.

$$m = V \times \rho \quad (4.1)$$

Considerando que o calor específico médio a pressão constante  $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg}$  e uma temperatura de entrada da água, proveniente da rede, de  $T_1=16 \text{ °C}$  e uma temperatura de saída  $T_2=60 \text{ °C}$ , obtém-se a energia necessária

$$Q_{\text{útil}} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.2)$$

A Tabela 4.1 mostra os resultados do cálculo da quantidade de energia necessária para o aquecimento de AQS, assim como a quantidade de AQS consumida no complexo durante o ano de 2014.

**Tabela 4.1- Estimativa da energia térmica útil de AQS em 2014**

Meses	Utilizadores	AQS [m <sup>3</sup> ]	Energia [kWh]
Janeiro	20375	815,0	41138
Fevereiro	18852	754,1	38063
Março	22190	887,6	44802
Abril	23820	952,8	48093
Mai	22049	882,0	44518
Junho	22356	894,2	45137
Julho	19365	774,6	39099
Agosto	0	0	0
Setembro	9367	374,7	18912
Outubro	21751	870,1	43916
Novembro	23332	933,3	47108
Dezembro	14650	586,0	29579
<b>Total</b>	<b>218107</b>	<b>8724,3</b>	<b>440365</b>

### 4.3. Cálculo das perdas térmicas da piscina

Através das equações representadas na Tabela 4.2 foram calculadas as diferentes perdas energéticas da piscina.

Para o cálculo da taxa de evaporação utilizaram-se as equações simplificadas de Bernier para piscinas cobertas, calculou-se a taxa de evaporação da água da piscina, para os casos de água em repouso e água agitada [18]. Uma vez que seria impossível contabilizar todos os utilizadores repartidos pelos intervalos de tempo correspondentes, optou-se por estabelecer uma média diária por hora repartida pelas diferentes piscinas. Na Tabela 4.2 podemos consultar os resultados obtidos.

No cálculo da quantidade de água evaporada estabeleceu-se que o complexo desportivo está aberto ao público durante 15 horas e fechado durante as restantes 9 horas, admite-se que a água se encontra em repouso durante o período de encerramento e agitada durante o restante. Logo tem-se que a quantidade de água evaporada do conjunto das 3 piscinas é de  $5,9 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Para obter o valor de energia térmica devido à renovação da água, é usual considerar-se uma quantidade de reposição cerca de 5% do volume total da piscina, assim de acordo com [19] utilizou-se a equação representada na Tabela 4.2 para o cálculo de  $Q_r$ . As perdas de energia por condução através das paredes e do fundo da piscina foram também

contabilizadas tendo em conta as respetivas áreas e considerando que coeficiente de transmissão de calor por condução é de 1,5 [W/m<sup>2</sup>.°C].

Relativamente aos valores de perdas de energia convecção estas são consideradas desprezáveis, uma vez que a temperatura na nave é superior à temperatura da água da piscina. Os valores totais das perdas térmicas estão representados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.2- Equações para o cálculo das perdas térmicas da piscina.**

Parâmetro	Equação
<b>Taxa de evaporação da piscina</b>	$M_e = 9 \times (W_e - W_a) \times (1 + V/1.20) \times S + 0.42n + 0.08N$
	$M_e$ -Taxa de evaporação [kg/h]
	S- Área de superfície da água [m <sup>2</sup> ]
	$W_e$ -Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água da piscina
	$W_a$ - Humidade absoluta do ar saturado à temperatura do ar ambiente
	$n$ -Número de nadadores [pessoas] $N$ - Número de espectadores [pessoas]
<b>Perdas por evaporação</b>	$Q_e = M_e \times c_v$
	$Q_e$ - Perda térmica por evaporação [W/m <sup>2</sup> ]
	$c_v$ -Calor de vaporização da água [kJ/kg.°C]
<b>Perdas por renovação</b>	$Q_r = V_r \times \rho_{h20} \times c_p \times (T_{h20\ piscina} - T_{h20\ rede})$
	$Q_r$ -Energia térmica perdida por renovação água
	$V_r$ -Volume de água repostos [m <sup>3</sup> ]
	$\rho_{h20}$ -Massa volúmica da água [kg/m <sup>3</sup> ]
	$T_{h20\ piscina}$ - Temperatura água da piscina [°C] $T_{h20\ rede}$ -Temperatura da água da rede [°C]
<b>Perdas por condução</b>	$Q_t = C_t \times S_c \times (T_{h20\ piscina} - T_{ext})$
	$Q_t$ -Perda térmica por condução de calor [W/m <sup>2</sup> ]
	$C_t$ -Coeficiente de transmissão de calor por condução [W/m <sup>2</sup> .°C]
	$S_c$ -Superfície de transferência de calor [m <sup>2</sup> ]
	$T_{ext}$ -Temperatura das superfícies exteriores [°C]

Tabela 4.3-Perdas térmicas totais da piscina

Perdas térmicas	Piscina		Total [kW]
	Competição	Lazer	
Evaporação	1292,4	927,3	<b>2219,7</b>
Renovação	656	388,5	<b>1044,5</b>
Condução	154,4	12,7	<b>167,1</b>
<b>Total [kW]</b>	<b>210,28</b>	<b>1328,5</b>	

Como podemos constatar pela análise da Tabela 4.3 e das Figuras 4.2 e 4.3 as perdas térmicas representam uma quantidade de energia considerável, sendo que se destacam as perdas por evaporação que representam cerca de 62% das perdas térmicas da piscina de competição e 70% das perdas térmicas da piscina de lazer. As perdas por renovação de água assumem também um papel bastante significativo, no entanto é difícil evitar estas perdas uma vez que a renovação de água é um requisito obrigatório na manutenção das piscinas. Com valores praticamente desprezáveis surgem as perdas por condução, que representam 7 e 1% das perdas das respetivas piscinas.

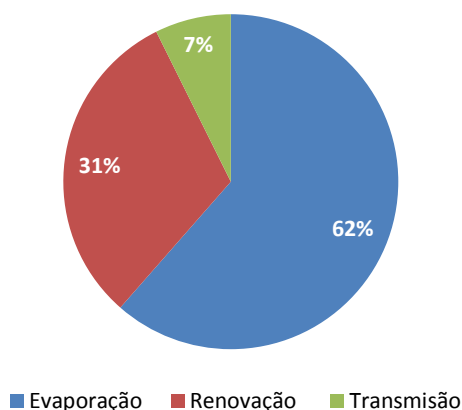


Figura 4.2- Perdas térmicas da piscina de competição.

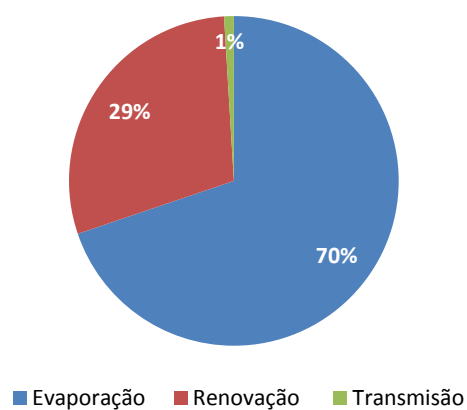


Figura 4.3-Perdas térmicas piscina de Lazer.

A implementação de telas de cobertura do plano de água destas duas piscinas iria permitir minimizar as perdas por evaporação, que como já se viu anteriormente representam cerca de 70% das perdas térmicas. A implementação deste sistema permitiria também uma redução do tempo de funcionamento do sistema AVAC que seria desligado parcialmente aquando da utilização das telas, ou seja, durante o período de encerramento da piscina. De acordo com outros estudos efetuados, a implementação desse sistema permite reduzir entre 10 e 30% dos gastos energéticos de uma piscina.



A substituição das caldeiras de gás natural por caldeiras de condensação seria uma das medidas que faria sentido implementar, uma vez que os consumos de gás natural têm vindo a aumentar ao longo dos anos como já vimos anteriormente. Este aumento será devido ao aumento do número de utilizadores que faz com que o aumento de consumo de AQS seja consideravelmente superior, mas também devido a uma possível quebra no rendimento das caldeiras. Com a introdução de caldeiras de condensação o rendimento irá ser superior e poderá existir um decréscimo no consumo de gás.

No que diz respeito ao sistema AVAC podem também ser consideradas algumas medidas de melhoria. A utilização de variadores de velocidade no sistema de ventilação iria permitir uma melhor gestão das cargas térmicas associadas aos diferentes espaços, ou seja, os espaços a climatizar iriam requerer apenas a energia proporcional às suas necessidades, permitindo assim uma poupança de energia.

Outra medida que poderia vir a ser adotada neste complexo seria a utilização do sistema de *free cooling*, que permite aproveitar a entrada de ar novo do exterior aproveitando a carga térmica existente, algo que possibilitaria poupar energia que é normalmente despendida no aquecimento ou arrefecimento do ar novo. No entanto, seria necessário ter em conta os elevados requisitos de qualidade do ar que iriam dificultar de alguma forma este processo.

#### **4.4. Notas Conclusivas**

Quanto aos consumos energéticos do complexo, contabilizou-se que 63% representa o valor percentual de energia térmica consumida e os restantes 23% dizem respeito ao consumo de energia elétrica. Os valores de referência de outros complexos semelhantes situam-se nos 22% para energia elétrica e 78% para energia térmica, o que revela similaridade entre os vários casos de estudo.

Da mesma forma, os valores associados aos custos energéticos do CMPL são semelhantes aos complexos estudados anteriormente. O custo de energia elétrica tem um peso de 54% face aos 46% do custo de energia térmica, para valores de referência de 59% e 41%, respetivamente

Os parâmetros do consumo de energia por unidade de área útil e o custo total de energia por unidade de área útil situam-se dentro dos valores de boas práticas, de acordo com o manual de boas práticas desenvolvido no Reino Unido. [13] Os valores calculados no CMPL são de 149,7 kW.h/m<sup>2</sup> de eletricidade, 346,9 kW.h/m<sup>2</sup> de combustível

Outro dos parâmetros calculados, com o qual é possível estabelecer comparação com o estudo efetuado no CMPL, é o consumo total de energia por utente. No COPC esse valor representa 1,88€ por utente enquanto o valor calculado neste estudo é de 0,87€ por utente.

Quanto às estimativas do consumo de energia térmica, obteve-se o valor da energia média diária gasta devido às perdas por evaporação, transmissão de calor e renovações de água, que é de aproximadamente 5440 kW.h e que representa 49% do total de energia térmica total consumida. O consumo de energia necessário para o aquecimento de AQS é de 1206 kW.h e representa 11% da energia térmica do CMPL. Os restantes 40% são consumidos pelos aparelhos de ventilação e outros mecanismos de aquecimento do ar ambiente das naves do complexo.

## 5. CONCLUSÕES

Os custos associados à exploração de qualquer edifício nunca devem ser relegados para segundo plano, independentemente da maior ou menor relevância que estes possam ter nos custos totais de exploração do edifício. Com a realização deste estudo, para além da análise e caracterização do edifício efetuou-se uma análise energética do mesmo que permitiu perceber o funcionamento do complexo, assim como, quais os seus consumos e custos energéticos. Este estudo revelou que num edifício como o Complexo Municipal de Piscinas de Leiria, os custos associados ao gasto energético são bastante significativos, pelo que a utilização de energia deve ser racionalizada e o conceito de eficiência energética deve estar sempre presente.

Com intuito de perceber quais as medidas necessárias para que o complexo seja mais eficiente, no presente trabalho foi efetuado o levantamento e o estudo comparativo dos consumos energéticos do complexo desportivo, respeitantes à componente elétrica e à componente térmica, as quais se fazem associar à utilização de energia elétrica e gás natural, respetivamente. Através destes dados foi possível calcular alguns indicadores que caracterizam o edifício. São eles o consumo médio por área e o consumo médio por utente, para os diferentes tipos de energia. À luz do que se espera para esta tipologia de edifício, o volume de energia consumido é enorme, apresentando o complexo um consumo anual total de energia térmica de 1798,4 MWh e um consumo de 776 MWh em energia elétrica. Em termos de consumo específico de energia total por unidade de área do complexo, o consumo médio é de 528 kWh/m<sup>2</sup>, enquanto o mesmo parâmetro mas por unidade de área de plano de água é de 2861,2 kWh/m<sup>2</sup>.

Relativamente ao estudo dos custos associados ao consumo energético do complexo, conclui-se que os custos de energia térmica e elétrica são de 33 e 67 %, respetivamente. Comparativamente a outros estudos, o custo de energia elétrica em 67% excede a média que se situa abaixo dos 50%.

Outros dos parâmetros calculados foram os custos específicos por utente, que têm importante relevância no que diz respeito à gestão financeira do complexo, uma vez que a partir deste dado é possível verificar se a tarifa cobrada aos utilizadores do CMPL é ajustada relativamente aos gastos energéticos da instalação. Para este indicador foram calculados o consumo energético por utente e o seu custo, de onde se retira 4,17 kWh/utente que corresponde a um valor de 0,87 €/utente.

Com a caracterização de energia elétrica efetuada através das medições de um analisador de energia foi possível caracterizar os consumos totais do edifício num período semanal e diário. No diagrama de consumos diário verificou-se que o consumo de energia elétrica chega a atingir picos de 161 kW e que a potência consumida durante o período de funcionamento da instalação varia entre os 130 e os 160 kW.

Relativamente aos cálculos efetuados para determinação da energia térmica necessária para o aquecimento das AQS e perdas energéticas na água da piscina, os valores revelam que é necessário cerca de 440365 kWh para aquecimento de AQS e que as perdas na água da piscina representam 5440 kWh.

## 5.1. Propostas de trabalho futuro

Com a realização deste trabalho e à medida que trabalhava nos objetivos propostos, iam surgindo novos desafios bastante interessantes que poderiam vir a ser desenvolvidos num trabalho futuro e servir de complemento a este estudo. Deixo aqui algumas propostas de trabalho futuro para quem pretender continuar este projeto.

A realização de uma simulação dinâmica do edifício seria uma excelente aposta, pois iria permitir detetar algumas falhas existentes no complexo e também permitir simular alterações no mesmo. Este estudo seria extremamente útil para os responsáveis do complexo pois poderiam testar a introdução de novos equipamentos e ter perceção do seu rendimento e poupança energética, aquando da sua implementação.

A introdução de contadores parciais de energia elétrica e térmica seria também algo bastante interessante, pois iria permitir fazer uma desagregação de consumos mais exata e que seria bastante útil na deteção de anomalias e na exatidão de alguns cálculos que foram efetuados neste estudo através de estimativas.

Seria também interessante num futuro trabalho, analisar com recurso a um software, como por exemplo o SolTerm 5.0, quais as potencialidades dos coletores e o seu impacto na instalação.

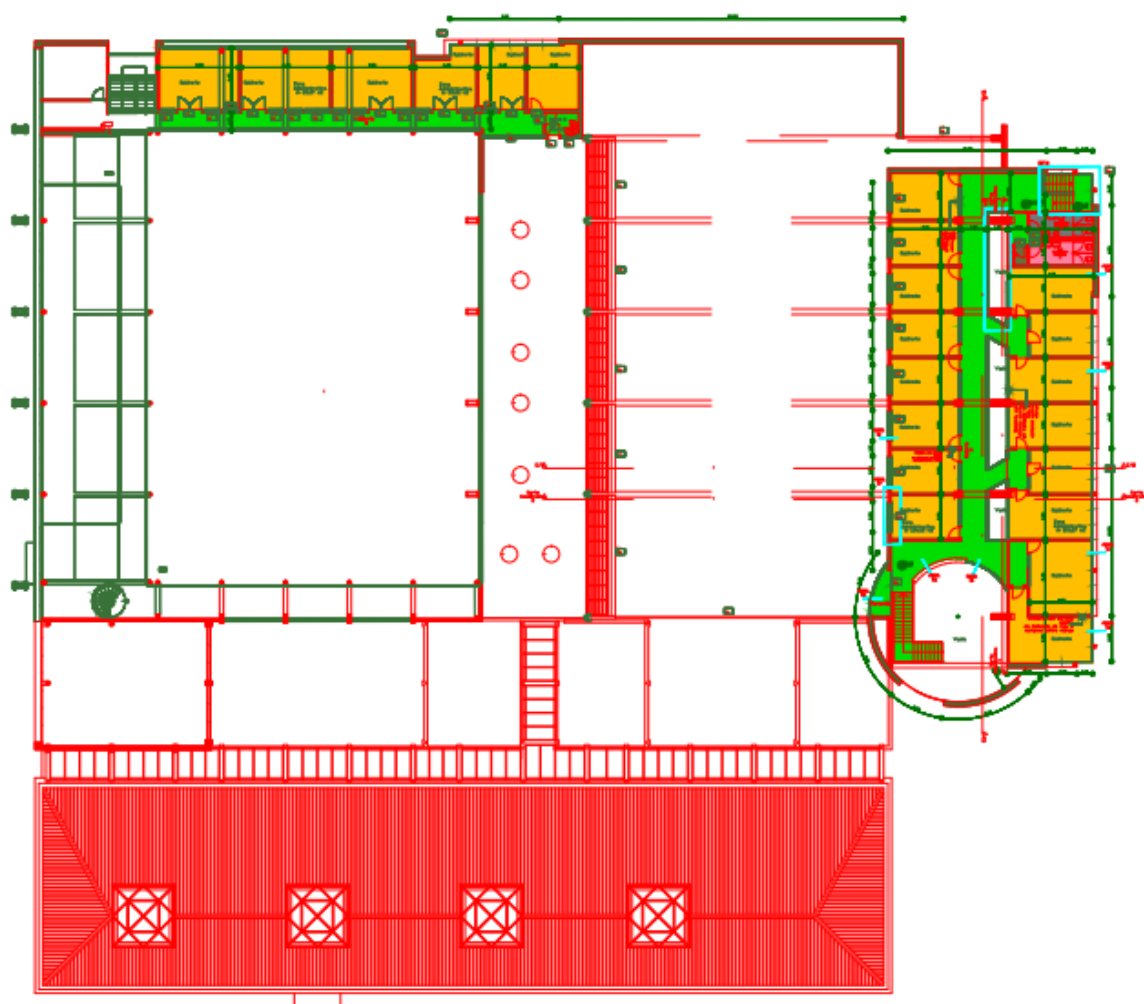
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Europeu, “DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” 2010. [Online]. Available: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/DAR/Ar%20Interior/Diretiva\\_2010\\_31\\_UE\\_DesempEnergEdificios.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ar%20Interior/Diretiva_2010_31_UE_DesempEnergEdificios.pdf). [Acedido em 2015].
- [2] ADENE, “Enquadramento,” 29 Maio 2015. [Online]. Available: <http://www.adene.pt/agencia-0>. [Acedido em Março 2015].
- [3] A. F. d. Santos, “Energia e a crise. A mudança do paradigma energético.,” *Edifícios e Energia*, vol. 46, nº Paradigma energético, pp. 28,29, 2015.
- [4] I. E. Agency, “Key World Energy Statistics,” 2014.
- [5] APREN, “Evolução da taxa de dependência energética,” APREN, 2014. [Online]. Available: [www.apren.pt](http://www.apren.pt). [Acedido em Março 2015].
- [6] ADENE, “Política Energética,” ADENE, 2015. [Online]. Available: <http://www.adene.pt/politica-energetica>. [Acedido em Março 2015].
- [7] P. 2020, “O que é o Portugal 2020?,” 2014. [Online]. Available: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/o-que-e-o-portugal2020>. [Acedido em 2015].
- [8] ADENE, “Planos e Programas,” ADENE, 2015. [Online]. Available: <http://www.adene.pt/planos-e-programas>. [Acedido em Março 2015].
- [9] E. Commission, “Climate Action,” European Commission, 2015. [Online]. [Acedido em Março 2015].
- [10] C. E. d. N. (CEN), “Swimming pools - Part 1: Safety requirements for design,” Setembro 2008. [Online]. Available: [http://www.news.cyprus-property-buyers.com/wp-content/uploads/2010/06/EN\\_15288-1.2008.pdf](http://www.news.cyprus-property-buyers.com/wp-content/uploads/2010/06/EN_15288-1.2008.pdf). [Acedido em Março 2015].
- [11] C. N. d. Qualidade, “A Qualidade das Piscinas de Uso Público,” 1993. ]
- [12] Direcção Geral de Saúde, *Programa de Vigilância Sanitária de Piscinas*, 2009. ]
- [13] BRECSU, “Energy use in sports and recreation buildings,” 1998. [Online]. Available: <http://targ.co.uk/other/guide78.pdf>. [Acedido em Março 2015]. ]
- [14] C. Trust, “Sports and Leisure-Introducing energy saving opportunities for business,” junho 2006. [Online]. Available: [www.carbontrust.co.uk/energy](http://www.carbontrust.co.uk/energy). [Acedido em Abril 2015]. ]
- [15] B. L. P. d. Almeida, “Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra,” Coimbra, 2014. ]
- [16] Trianti-Stourna, “Energy conservation strategies for sports centers: Part B . Swimming pools,” *Energy and Buildings*, p. 123;135, 25 Maio 1998. ]
- [17] EDP, “Tarifas Média Tensão,” Janeiro 2015. [Online]. Available: <http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx>. [Acedido em Maio 2015]. ]
- [18] CIATESA, “Climatización de piscinas cubiertas,” CIATESA, 2008. [Online]. Available: <http://www.boscoluz.com/pdfs/clima01.pdf>. [Acedido em 2015]. ]
- [19] Eva Ma Albarracín ; Javier Sanabria ;Agustín Maillo, *Ahorro de Energía en Piscinas Cubiertas*, Espanha, 2002, p. 1;20. ]
- [20] I. d. P. A. d. Amazônia, “ABC do Clima,” IPAM, 2008. [Online]. Available: <http://www.ipam.org.br/saiba-mais/abc/mudancaspergunta/Qual-o-objetivo-do-Protocolo-de-Quito-e-quais-sao-as-metas-especificas-com-as-quais-os-paises-se-comprometeram-E-para-quem-elas-valem-21/11>. [Acedido em Março 2015]. ]
- [21] REN21, “REN21,” REN21, 2014. [Online]. Available: [http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014\\_full%20report\\_low%20res.pdf](http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf). [Acedido em 2015]. ]
- [22] I. E. Agency, “Oil & Gas Security,” 2011. ]

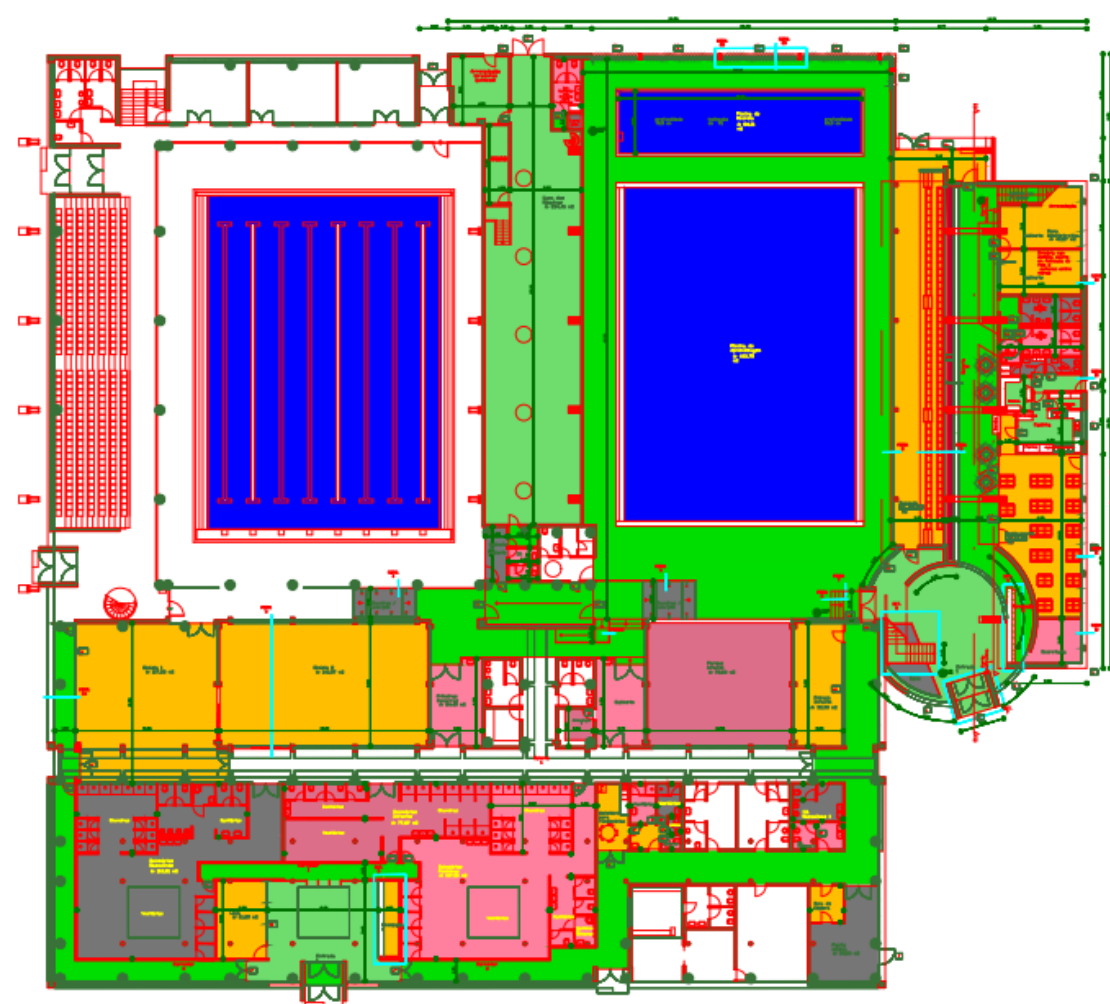
- [23] S. E. D. A. Center, “Energy Smart Tips for Swimming Pools,” Maio 2011. [Online]. Available: <http://smartenergy.arch.uiuc.edu/pdf/Pool%20Niche%20Market%20Report%20FINAL%20-%202005.02.2011.pdf>. [Acedido em Março 2015].
- [24] S. Smart Energy Design Assistance Center, “Energy Smart Tips for Swimming Pools,” Maio 2011. [Online]. Available: <http://smartenergy.arch.uiuc.edu/pdf/Pool%20Niche%20Market%20Report%20FINAL%20-%202005.02.2011.pdf>.

## ANEXO A- PLANTAS

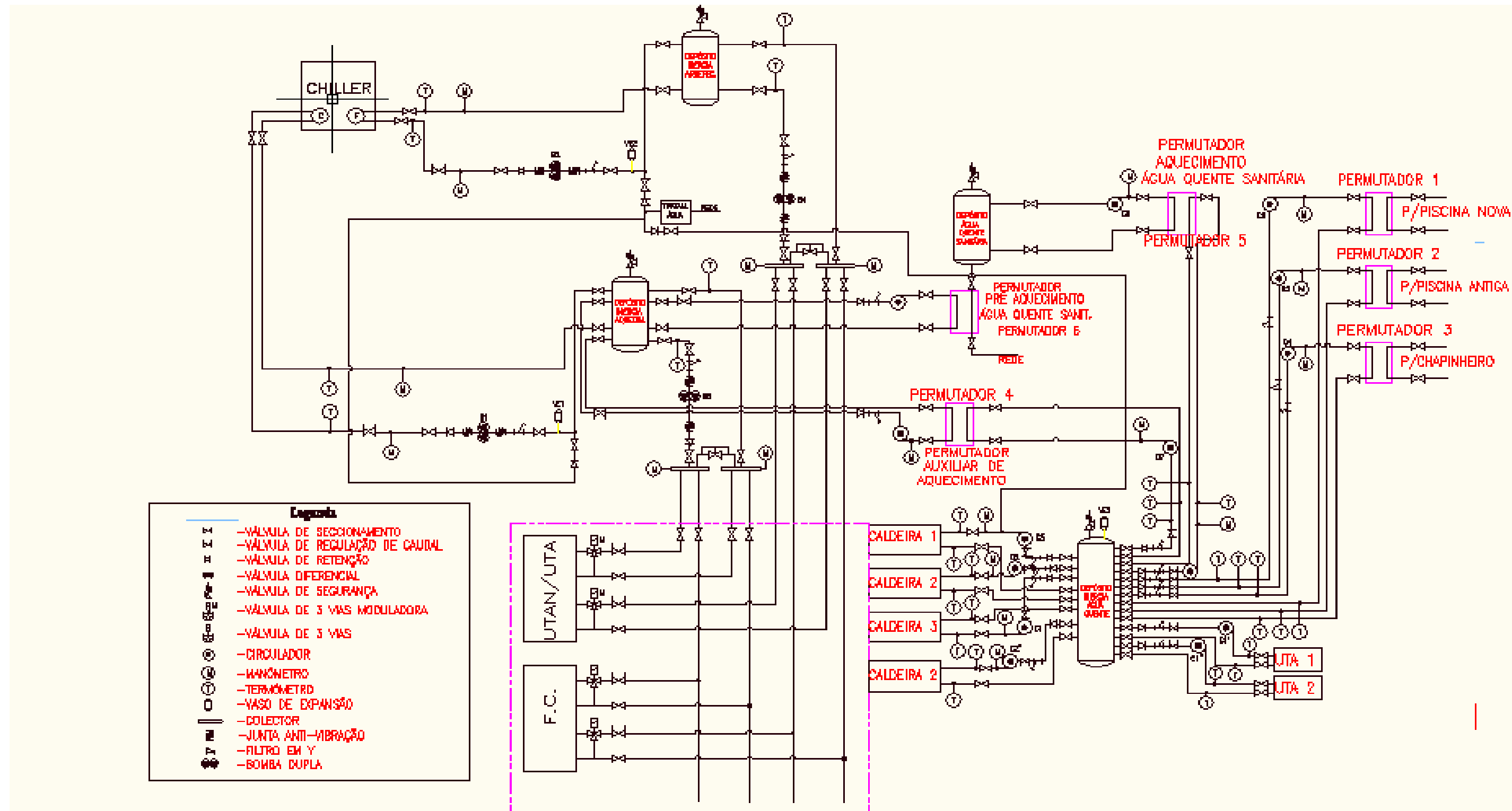
### PISO 1



### PISO 0

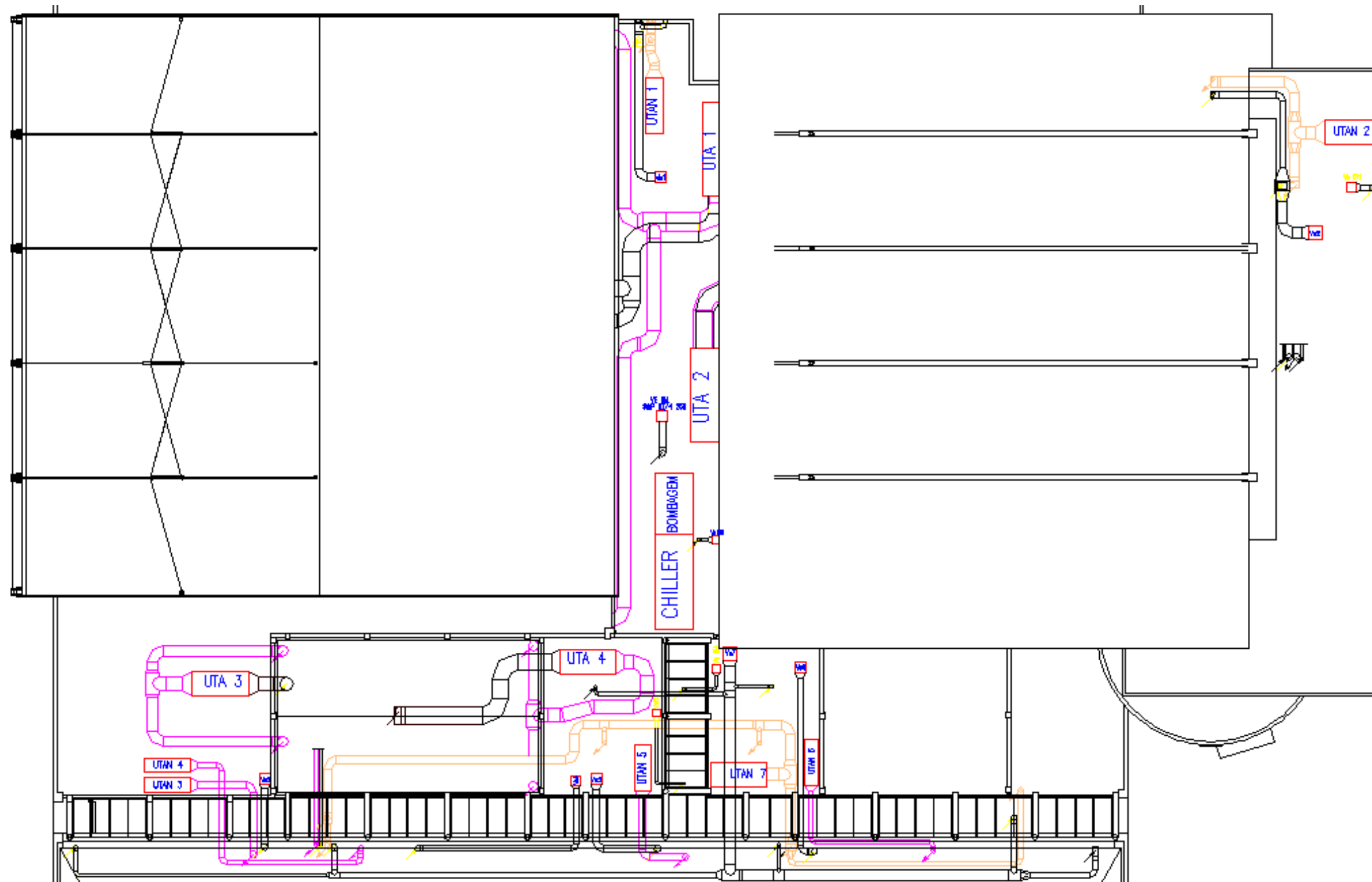


### ANEXO B- DIAGRAMA PRINCÍPIO DA INSTALAÇÃO





### ANEXO C- ESQUEMA DE PRINCIPIO SISTEMA AVAC



## APÊNDICE A – CÁLCULO DAS TAXAS DE EVAPORAÇÃO

$$M_e = 9 \times (W_e - W_a) \times (1 + V/1.20) \times S + 0.42n + 0.08N$$

Piscina Competição		
Taxa de evaporação [kg/h]	Repouso	48,5
	Com utentes	98,3

T Água [°C]	29
T ar [°C]	31
Superfície água [m <sup>2</sup> ]	435
W <sub>e</sub> [kg(ag)/kg(ar)]	0,0255
W <sub>a</sub> [kg(ag)/kg(ar)]	0,0285
Utentes	106

Piscina Lazer		
Taxa de evaporação [kg/h]	Repouso	62,6
	Com utentes	53,9

T Água [°C]	30
T ar [°C]	32
Superfície água [m <sup>2</sup> ]	435
W <sub>e</sub> [kg(ag)/kg(ar)]	0,0285
W <sub>a</sub> [kg(ag)/kg(ar)]	0,03
Utentes	45

Taxa de Evaporação	[kg/h]	[horas]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]
Repouso	111,2	9	1000,674	1,000674
Com utentes	152,2	15	2283	2,283
<b>Total</b>	<b>263,4</b>	<b>24</b>	<b>3283,674</b>	<b>3,283674</b>

## APÊNDICE B-CÁLCULO DAS PERDAS DE ENERGIA

$$Q_e = M_e \times c_v$$

Calor latente por evaporação da água [W.h/m <sup>2</sup> ]	676
--	-----

Piscina	Perdas térmicas por evaporação (Q <sub>e</sub> ) [kW]
Lazer	927,3
Competição	1292,5
<b>Total</b>	<b>2219,7</b>

$$Q_r = V_r \times \rho_{h20} \times c_p \times (T_{h20\ piscina} - T_{h20\ rede})$$

Parâmetros	Competição	Lazer
Volume repostado [m <sup>3</sup> ]	92,73	23,925
Densidade da água [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	1000
Calor específico água [W.h/kg.°C]	1,16	1,16
T piscina [°C]	29	30
T rede [°C]	16	16

Piscina	Perdas térmicas por renovação [kW]
Lazer	388,5
Competição	656,0
<b>Total</b>	<b>1044,5</b>

$$Q_t = C_t \times S_c \times (T_{h20\ piscina} - T_{ext})$$

Parâmetros	Competição	Lazer
Coefficiente de transmissão de calor [W/m <sup>2</sup> .°C]	1,5	1,5
Superfície de contato [m <sup>2</sup> ]	7351	528,28
Temperatura exterior [°C]	15	15
Temperatura piscina [°C]	29	31

Piscina	Perdas térmicas por transmissão [kW]
Lazer	12,7
Competição	154,4
<b>Total</b>	<b>167,0</b>

## APÊNDICE C- CÁLCULO PARÂMETROS CALDEIRAS

Dados recolhidos das medições efetuadas às caldeiras:

Parâmetro	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
	Valor medido		
Temperatura ambiente [°C]	27,1	27,1	22,9
Temperatura gases [°C]	130	129,3	137,2
O <sub>2</sub> [%]	4,8	4,9	4,3
CO <sub>2</sub> [%]	9,2	9,2	9,5
CO [ppm]	1	1	1
NO [ppm]	64	64	60
Nox [ppm]	65	65	61
NO <sub>2</sub> [ppm]	1	1	1
λ [%]	1,3	1,3	1,26
qP	5,3	5,2	5,7

Perdas na chaminé com queimador ligado:

$$P_{ch,on} = (T_{gc} - T_{ar}) \times \left( \frac{A}{21 - O_2} + B \right) [\%]$$

$A = 0.65$   $B = 0.009$  (valores normalmente utilizados para o gás natural)

	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Perdas na chaminé com queimador ligado [%]	5,1	5,0	5,5

Rendimento de Combustão:

$$\eta_{comb} = 100 - P_{ch,on} [\%]$$

	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Rendimento combustão [%]	94,95	94,95	94,52