



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

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

Autor

Bruno Luís Pedrosa de Almeida

Orientador

Professor Doutor José Carlos Góis

Júri

Presidente Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Vogais Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Engenheiro Paulo Miguel Pessoa Rodrigues

Técnico Superior da Câmara Municipal de Coimbra

Professor Doutor José Carlos Miranda Góis

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra



CÂMARA
MUNICIPAL
DE
COIMBRA

**CÂMARA MUNICIPAL
DE COIMBRA**

Coimbra, fevereiro de 2014

Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador Professor Doutor José Carlos Góis, toda a disponibilidade sempre demonstrada, toda ajuda e esclarecimentos prestados durante a elaboração da tese, que aumentaram em muito no meu enriquecimento científico pessoal.

Agradecer à Camara Municipal de Coimbra pela autorização à realização deste trabalho, bem como ao Eng. Paulo Rodrigues e Eng. João Salustiano pela cedência de dados, boa vontade, boa disposição e ajuda preciosa no conhecimento aprofundado do funcionamento de sistemas e equipamentos do complexo.

Deixar uma palavra de apreço a todos os docentes, funcionários e alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, que fazem deste, um dos melhores e mais prestigiados do país.

Aos meus muitos colegas e amigos feitos durante o percurso académico, que me acompanharam ao longo desta longa viagem, partilhando comigo várias histórias que ficarão guardadas para a vida.

Ao meu grupo directo de amigos, que durante toda a vida disseram e vão continuar a dizer presente, nos melhores e piores momentos, eles sabem quem são.

À minha namorada, pelo carinho, apoio, incentivo e por me aturar.

À minha família no geral, em particular aos meus pais, por todos os princípios de vida inculcados que me fizeram crescer e tornar na pessoa que sou hoje, mas sobretudo por terem sempre acreditado em mim, permitindo-me ter chegado até aqui.

A todos o meu mais sincero, muito obrigado.

Resumo

Os complexos desportivos com piscinas são caracterizados por apresentar elevados consumos de energia térmica e eléctrica devido à necessidade de proporcionar condições de qualidade do ar e de conforto aos seus utilizadores. Em Portugal estes complexos, na sua grande maioria edifícios municipais, estão ainda muito pouco estudados. Tendo em consideração o elevado consumo de energia, percebe-se a necessidade de racionalizar e de maximizar a eficiência energética, tanto mais que muitos complexos praticam preços baixos de modo a facilitar o acesso à população.

Neste estudo feito ao complexo olímpico de piscinas de Coimbra, um dos melhores e mais recentes complexos do género em Portugal, é efectuado um levantamento dos equipamentos das instalações e respectivas potências, bem como os consumos e custos de energia eléctrica e térmica.

Os consumos obtidos, de 448 kWh/m² da parte térmica e de 169 kWh/m² da parte eléctrica, enquadram-se dentro dos indicadores de referência encontrados na bibliografia. A energia consumida pelos principais equipamentos foi calculada, permitindo identificar áreas e equipamentos que justificam intervenção no sentido da racionalização e aumento da eficiência energética. São apresentadas possíveis soluções e explicitadas as vantagens e desvantagens associadas.

Palavras-chave: Piscinas, Eficiência Energética, Consumo de Energia, Custo de Energia, Benchmarking

Abstract

Sports complex with swimming pools demand high consumption of thermal and electrical energy to provide the required air quality and comfort to the users. In Portugal these complexes are mostly municipal buildings and are still little studied. The high consumption of energy makes energy efficiency necessary, especially because these services are accessible with low price.

In this work about the Olympic Pool Complex of Coimbra, which is one of the best and most recent complexes in Portugal, is conducted a survey for all equipment and their power, such as the consumption and associated cost.

The consumptions obtained of 448 kWh/m² and 169 kWh/m² regarding heat and electricity respectively fall within the benchmarks found in the literature. The energy consumed by the main equipment was calculated, allowing identification of the areas and equipment that justify energy efficiency improvement. Possible solutions are pointed and advantages and disadvantages are discussed.

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

Índice

Índice de figuras	vi
Índice de tabelas	vii
Simbologia e Siglas	viii
Simbologia.....	viii
Siglas	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Estrutura da dissertação	3
2. Estado da arte.....	4
2.1. Legislação comunitária e nacional sobre a eficiência energética em edifícios.....	4
2.1.1. Indicador de eficiência energética	7
2.2. Normas sobre avaliação da eficiência energética de edifícios.....	10
2.3. Investigação sobre eficiência energética em complexos desportivos com piscinas	11
2.4. Medidas para melhorar a eficiência energética de complexos desportivos com piscinas cobertas	17
3. Caso de Estudo: COPC.....	18
3.1. Caracterização do edifício e dos equipamentos	18
3.2. Metodologia.....	19
3.3. Perfis de utilização.....	20
3.4. Consumos.....	21
3.4.1. Comparação dos consumos de energia térmica e eléctrica	25
3.5. Custos com energia e água.....	28
3.5.1. Comparação dos custos de energia térmica e eléctrica	29
4. Análise energética da instalação	32
4.1. Energia eléctrica	32
4.2. Energia térmica	34
4.2.1. Estimativa da energia térmica de AQS.....	35
4.2.2. Estimativa da energia térmica para aquecimento da água da piscina.....	36
4.3. Discussão de resultados	38
5. Conclusões.....	41
5.1. Possíveis soluções a adoptar	42
5.2. Propostas de trabalho futuro	42
Referências Bibliográficas.....	43
ANEXO A – Planta das instalações	45
ANEXO B – Diagrama processo instrumentação piscina olímpica.....	46
ANEXO C – Diagrama de fluídos térmicos	47

APÊNDICE A – Distribuição mensal dos utilizadores	48
APÊNDICE B – Cálculos das taxas de evaporação	49
APÊNDICE C – Cálculos das perdas de energia	50

Índice de figuras

Figura 2.1 - Calendarização do SCE (adaptado de ADENE, 2012).....	5
Figura 2.2 - Resumo da produção legislativa em matéria de eficiência energética e promoção de energias renováveis.....	7
Figura 2.3 – Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos com piscinas de interior (DETREE, 2013).....	12
Figura 2.4 -- Indicadores de referência da distribuição dos consumos de energia em complexos desportivos com piscina de interior.	13
Figura 2.5 - Custos médios de energia em complexos com piscinas de interior (DETERE, 2013).....	13
Figura 2.6 – Repartição dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto (adaptado de Pires, 2014).	16
Figura 2.7 - Repartição percentual dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto (adaptado de Pires, 2014).	16
Figura 2.8 - Processo de monitorização recomendado para aumentar a eficiência energética de piscinas cobertas	17
Figura 3.1 – Planta do nível 2 do COPC.	19
Figura 3.2 - Evolução do número anual de utilizadores de 2010 a 2013.	20
Figura 3.3 - Evolução do número mensal de utilizadores de 2010 a 2013.....	21
Figura 3.4 - Evolução do consumo anual de gás natural de 2010 a 2013.	22
Figura 3.5 – Evolução do consumo anual de água de 2010 a 2013.....	22
Figura 3.6 – Evolução do consumo mensal de gás natural de 2010 a 2013.....	23
Figura 3.7 – Evolução do consumo mensal de água de 2010 a 2013.....	23
Figura 3.8 – Evolução do consumo de eletricidade anual de 2012 a 2013.....	24
Figura 3.9 – Evolução do consumo mensal de eletricidade de 2012 a 2013.....	25
Figura 3.10 – Comparação percentual do consumo de energia térmica e elétrica nos anos 2012 e 2013.	26
Figura 3.11 - Variação do consumo específico por utente referente ao ano 2013.	27
Figura 3.12 – Custo anual dos diferentes consumos em 2012.....	28
Figura 3.13 – Custo mensal com os consumos de gás, eletricidade e água em 2012.....	29
Figura 3.14 – Comparação percentual de custos de energia nos anos 2012 e 2013.....	30
Figura 3.15 – Variação do consumo específico mensal do gás.	31
Figura 4.1 – Diagrama de princípio do circuito de água.	32

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Valores de referência anuais de consumo de energia em centros de lazer, para dois tipos de cenários (<i>Carbon Trust, 2006</i>).....	14
Tabela 2.2 – Valores anuais do consumo de referência em complexos desportivos com piscina coberta, para três cenários de desempenho energético (<i>Department of the Environment, Transport and the Regions, (2013)</i>).....	14
Tabela 3.1- Áreas dos diversos níveis do COPC.....	19
Tabela 3.2 - Consumo mensal de energia térmica e eléctrica em kWh.....	26
Tabela 3.3 – Energia por área de coberta e por área de piscina.	28
Tabela 3.4 – Custos totais de electricidade e gás natural de 2012 e 2013.....	30
Tabela 4.1 – Potência eléctrica dos equipamentos e consumo máximo horário e diário. ...	33
Tabela 4.2 – Comparação dos valores estimados e medidos.....	34
Tabela 4.3 – Potência térmica dos equipamentos.....	34
Tabela 4.4 – Estimativa de energia térmica útil de AQS.....	35
Tabela 4.5 – Taxas de evaporação.....	36
Tabela 4.6 – Perdas térmicas das piscinas.....	38

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

- c_p – Calor específico [kJ/kg.°C]
 c_v – Calor de vaporização [kJ/kg.°C]
 C_t – Coeficiente de transmissão de calor por condução [W/m².°C]
 Φ_a – Grau de saturação [%]
 W – Humidade absoluta do ar saturado [kg(ag)/kg(ar)]
 m – Massa [kg]
 ρ – Massa volúmica [kg/m³]
 Q_e – Perda térmica por evaporação [W/m²]
 Q_t – Perda térmica por transmissão de calor [W/m²];
 S – Superfície [m²]
 M_e – Taxa de evaporação [kg/h]
 T – Temperatura [°C]
 V – Volume [m³]

Siglas

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
COPC – Complexo olímpico de piscinas de Coimbra
DGEG – Direcção geral da energia e geologia
Eco.AP – Programa de eficiência energética na administração pública
GEE – Gases de efeito estufa
IEE – Indicador de eficiência energética
PE – Parlamento europeu
PRE – Plano de racionalização energética
QAI – Qualidade do ar interior nos edifícios
RCCTE – Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O crescente consumo de energia a nível mundial e as emissões de CO₂ associadas são motivo de graves problemas ambientais, o que tem levado a um amplo debate na sociedade. Desde há já alguns anos que têm vindo a ser estabelecidas diversas metas de redução de energia fóssil em detrimento das energias renováveis e a procura de uma maior eficiência energética.

Com a criação por parte da União Europeia da Diretiva 2012/27/EU, pretende-se reforçar a promoção da eficiência no consumo, e ainda motivar uma intervenção das entidades reguladoras nesta matéria, fazendo com que sejam também efectuadas auditorias energéticas que possam explicar de forma concisa os gastos energéticos perante as metas traçadas.

Os complexos desportivos com piscinas, na sua grande maioria, são edifícios municipais públicos que se caracterizam pelas suas grandes dimensões e o seu elevado consumo energético. As piscinas são espaços onde existem muitos equipamentos que trabalham durante 24h, que tem necessidades muito grandes a nível de ventilação e onde o conforto térmico é praticamente obrigatório, tudo isto leva a uma elevada utilização de energia eléctrica e fóssil, nomeadamente no aquecimento da água e do próprio espaço.

Tendo em conta que o custo da energia está dependente das forças dos mercados e sabendo que esse mesmo custo tem vindo a aumentar nos últimos anos, urge criar mecanismos que possam permitir uma maior eficiência energética, minimizando assim os custos envolvidos. De forma mais audaz será ainda importante ir estudando formas viáveis de minorar as dependências energéticas do exterior, criando estruturas que possam permitir uma forma alternativa de criação de energia.

Como as necessidades energéticas dos complexos desportivos assumem uma importância considerável e como os complexos com piscinas constituem um consumo mais acentuados, resolveu-se abraçar este tema com o intuito de se poder fazer uma reflexão com base em dados concretos, de modo a que de forma gradual e sustentada se possam adoptar medidas que visem a melhoria da sua eficiência energética e minimizem os custos associados às já muito endividadas autarquias e respectivos contribuintes.

1.2. Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo fazer uma análise do comportamento em termos energéticos de um dos melhores e mais recentes complexos desportivos com piscinas em Portugal, o Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (COPC).

Baseado em estudos nacionais e internacionais importa conhecer quais os consumos médios de instalações similares e a repartição pelos diversos tipos de energia e serviços. Neste contexto, como a localização geográfica e as dimensões dos complexos são diferentes interessa identificar consumos específicos, através de artigos técnico-científico, publicados em revistas da especialidade e dos valores de *benchmarking* proposto por departamentos de energia e instituições de referência internacionais na área da energia. Estes resultados serviram de comparação para os resultados obtidos com o caso de estudo.

Para a concretização deste objectivo irão ser analisados os dados relativos aos consumos de energia eléctrica, gás natural, água e número de utilizadores do COPC, conjugando-os de forma a perceber a sua evolução ao longo dos anos.

Para uma análise mais aprofundada irão ainda ser estudados alguns dos equipamentos instalados nas piscinas e perceber quais as suas percentagens do consumo em relação aos seus consumos máximos, tendo por base o consumo global.

Apresentação de possíveis soluções de melhoria a efectuar num futuro próximo que levem a poupanças de energia e subsequentemente a custos inferiores aos actuais, de forma a aumentar a sustentabilidade das piscinas.

1.3. Metodologia

Durante o desenrolar deste estudo foram dados vários passos, no intuito da progressão gradual do trabalho ser feita em várias fases.

Primeiramente foi efectuada uma visita às instalações com o reconhecimento dos circuitos principais de água, térmico e de ventilação, bem como da maioria dos seus equipamentos, levando à criação de um diagrama de princípio simplista que permitisse uma rápida análise de acordo com o nosso interesse.

De seguida foi efectuada um levantamento bastante exaustivo de todos os dados em formato papel que foram fornecidos e uma primeira análise dos mesmos, que

levou ao seu tratamento já em formato digital, de forma a entender a sua evolução e despistar possíveis erros.

Efectuou-se a finalmente uma comparação dos dados obtidos no estudo com os indicadores considerados de referência e fez-se uma análise crítica.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo que no presente capítulo é introduzido o tema e a forma como irá ser abordado.

No segundo capítulo apresenta-se um resumo das mais importantes informações recolhidas, sobre o tema, no que diz respeito a legislação, normas, indicadores de outros estudos já efectuados e algumas medidas de *benchmarking* que devem ser aplicadas.

No terceiro capítulo encontra-se a descrição do caso de estudo, bem como uma primeira análise a todos os dados que foram fornecidos e devidamente tratados, sendo apresentados ainda alguns resultados no que concerne perfis de utilização, consumos e custos com a energia e água.

No quarto capítulo temos uma análise detalhada do funcionamento da instalação, bem como dos seus equipamentos, sendo estimados valores consumidos pelos mesmos em termos de energia eléctrica e térmica, discutindo ainda os resultados encontrados.

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

2. ESTADO DA ARTE

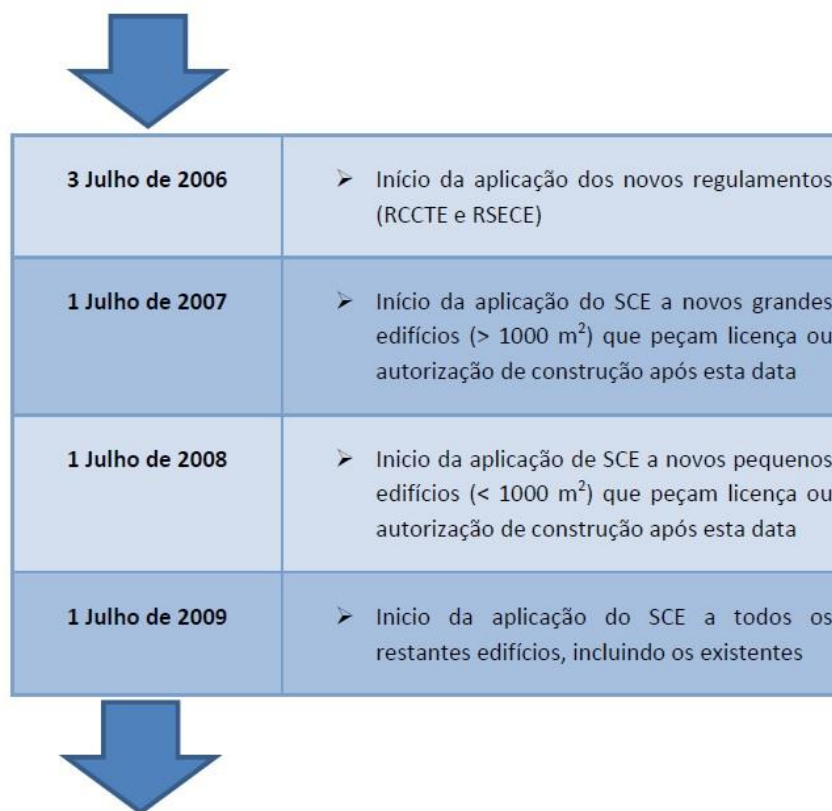
Desde há vários anos que uma das maiores preocupações da nossa sociedade se prende com os consumos bastante elevados e crescentes de energia e consequente utilização dos cada vez mais escassos combustíveis fósseis. Em consequência, têm sido criadas várias directivas europeias e protocolo internacionais no sentido de minimizar esses gastos, quer aumentando a eficiência energética, quer apostando nas energias renováveis, de modo a assegurar uma maior sustentabilidade. Algumas das medidas de melhoria apontadas passam pela aquisição de novos equipamentos e renovação de algumas instalações existentes, de modo a garantir um aumento na eficiência energética, complementadas com a utilização de energias renováveis.

A estratégia energética da UE tem sido focada em políticas que aumentem a parcela de energia renovável e a diversificação das fontes energéticas, de modo a aumentar a independência do fornecimento de energia e a diminuição na emissão de gases com efeito de estufa (GEE) (Krajacic, *et al.*, 2011).

2.1. Legislação comunitária e nacional sobre a eficiência energética em edifícios

Desde a publicação da Directiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu (PE) e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, transposta para o ordenamento jurídico nacional por vários diplomas (Decreto-lei n.º 78/2006 de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior (QAI) nos Edifícios, Decreto-lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e Decreto-lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), tem-se vindo a acentuar a preocupar com a certificação energética dos edifícios. A supervisão do SCE foi atribuída à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), no que respeita à energia e à Agência Portuguesa do Ambiente (APA), no que respeita à qualidade do ar interior, cabendo a gestão regular do sistema à ADENE. À ADENE foi atribuída responsabilidade na criação de uma bolsa de peritos qualificados, que conduzam o processo de certificação energética dos edifícios. Na

Figura 2.1 apresenta-se a calendarização prevista para o SCE.



O diagrama apresenta uma tabela com quatro linhas, cada uma representando uma data de implementação do SCE. A tabela é centralizada e possui setas azuis apontando para cima e para baixo, indicando o início e o fim do período de implementação.

3 Julho de 2006	➤ Início da aplicação dos novos regulamentos (RCCTE e RSECE)
1 Julho de 2007	➤ Início da aplicação do SCE a novos grandes edifícios (> 1000 m ²) que peçam licença ou autorização de construção após esta data
1 Julho de 2008	➤ Início da aplicação de SCE a novos pequenos edifícios (< 1000 m ²) que peçam licença ou autorização de construção após esta data
1 Julho de 2009	➤ Início da aplicação do SCE a todos os restantes edifícios, incluindo os existentes

Figura 2.1 - Calendarização do SCE (adaptado de ADENE, 2012)

As conclusões do Conselho Europeu de 8 e 9 de março de 2007 salientaram a necessidade de aumentar a eficiência energética na União Europeia, a fim de realizar o objectivo de economizar 20 % do consumo de energia primária da União até 2020, em relação às projecções.

Em 2009 foi publicada a Directiva 2009/28/CE de 23 de abril, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, que altera e subsequentemente revoga as diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE e estabelece um quadro comum para a promoção de energia proveniente das fontes renováveis. Essa Directiva fixa objectivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes. Para alcançar mais facilmente o objectivo estabelecido, os Estados-Membros devem promover e incentivar a eficiência energética e as poupanças de energia.

Em 2010, o PE publicou a Directiva 2010/31/EU de 19 de maio, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que veio reformular a Directiva 2002/91/CE. A presente Directiva promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade, mantendo as metas e os desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. A Directiva 2010/31/EU está transposta pelo Decreto-lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e visa melhorar a sistematização e o âmbito da aplicação do sistema de certificação energética e respectivos regulamentos, ao incluir num único diploma o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Em 4 de fevereiro de 2011, o Conselho Europeu veio sublinhar que o objectivo de alcançar 20 % de eficiência energética em 2020 não estava a alcançar as projeções previstas tendo em conta o objetivo previsto. As projeções feitas em 2007 previram um consumo de energia primária de 1842 Mtep em 2020. Uma redução de 20 % corresponde a 1474 Mtep em 2020, isto é, a uma diminuição de 368 Mtep em relação às projeções.

Da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 9 de dezembro foi criado o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP), publicado, em Diário da República, pelo Despacho n.º 1729/2011. O Eco.AP provém de uma perspectiva pós Protocolo de Quioto, através do Pacote "Energia-Clima 20-20-20" da UE, aprovado pelo Parlamento Europeu em 17 de dezembro de 2008, com as seguintes metas:

- Reduzir as emissões de GEE em 20 %, face a 1990, podendo esta meta passar a 30 %, no contexto das negociações em curso;
- Atingir 20% de quota global de energia proveniente de fontes de energia renovável no consumo final bruto de energia;
- Melhoria de 20% na eficiência energética.

O Eco.AP visa obter até 2020, nos serviços públicos e organismos da administração pública, um aumento do nível de eficiência energética de 20 % face a 1990. O Eco.AP traduz-se num conjunto de medidas de eficiência energética para execução a curto,

médio e longo prazo nos serviços, organismos e equipamentos públicos e tem por objetivo alterar comportamentos e promover uma gestão racional dos serviços energéticos.

A 25 de outubro de 2012 a União Europeia adotou a Diretiva 2012/27/EU, relativa à eficiência energética, que revoga as diretivas n.º 2004/8/CE e n.º 2006/32/CE. A Diretiva vem reforçar a promoção da eficiência no consumo, bem como a intervenção das entidades reguladoras nesta matéria, devendo ser transposta para a legislação nacional até junho de 2014. A Figura 2.2 resume a produção legislativa em temas de diretivas e decretos-lei.

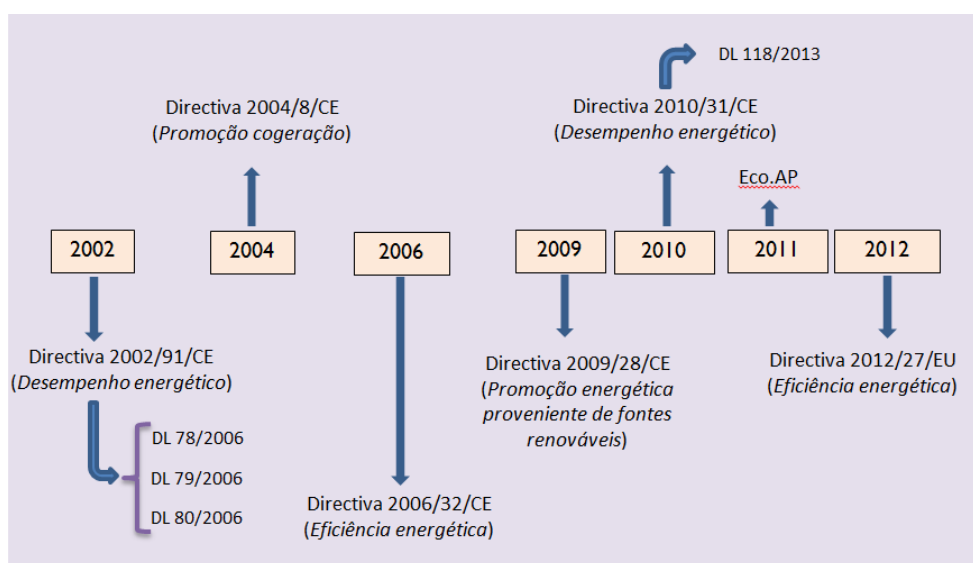


Figura 2.2 - Resumo da produção legislativa em matéria de eficiência energética e promoção de energias renováveis.

2.1.1. Indicador de eficiência energética

De acordo com a legislação em vigor, todos os edifícios novos terão de ser baseados num indicador calculado numa base nominal. Esses indicadores são baseados em consumos reais (medidos em auditoria) e só podem ser utilizados em edifícios públicos existentes em que há manutenção de condições e padrões de utilização.

O RSECE estabelece o “Indicador de Eficiência Energética” (IEE) para determinar o cumprimento, ou não, dos requisitos de eficiência energética dos edifícios por ele abrangidos. Os valores de referência foram determinados com base em simulações dinâmicas de edifícios. O IEE global dum edifício pode ser calculado através da soma dos IEE’s correspondentes aos serviços específicos e dos correspondentes aos serviços complementares, caso existam.

Para grandes edifícios¹ de serviços novos a construir, (art.º 8º do RSECE), o consumo nominal específico de energia (IEE_{nominal}), definido pelo RSECE, tem que ser inferior ou quando muito igual ao valor máximo regulamentar (art.º 8º, nº. 1 do RSECE). O IEE_{nominal} tem que ser determinado por simulação dinâmica multizona detalhada, com base nos padrões nominais definidos no Anexo XV do RSECE, utilizando um programa acreditado pela norma ASHRAE 140-2004, incluindo o programa RCCTE-STE do INETI.

Para grandes edifícios de serviços existentes, o consumo nominal específico de energia (IEE_{nominal}) tem que ser inferior ou quando muito igual ao valor máximo regulamentar (art.º 7º, nº 1 do RSECE) e o IEE_{nominal} tem que ser determinado por simulação dinâmica detalhada, validada por dados reais de consumo com base nos padrões nominais definidos no Anexo XV do RSECE, utilizando um programa acreditado pela norma ASHRAE 140-2004. Se o $IEE_{\text{real, faturas}}$ e o $IEE_{\text{real, simulado}}$ forem superiores ao limite regulamentar aplicável, deve ser preparado um Plano de Racionalização Energética (PRE), o qual deve ser submetido à aprovação da DGGE (art.º 7º, nº 1) e implementado com medidas com viabilidade económica (período de retorno inferior ou quando muito igual a 8 anos).

Para se proceder ao cálculo do IEE (tanto o nominal como o de referência) de um pavilhão desportivo novo coberto, com 3 áreas distintas (zona de balneários, escritórios e parte coberta desportiva) deve fazer-se uma ponderação entre as tipologias de edifício de serviços e de edifício desportivo sem piscina. Nos perfis e valores a usar para os edifícios desportivos (entretimento - clubes desportivos sem piscina) já estão incluídos os espaços anexos que lhe estão associados, ou seja, os balneários e afins. Assim, devem-se calcular apenas dois IEEs (um para o edifício de serviços e outro para o edifício desportivo sem piscina) e fazer a média ponderada com as respectivas áreas.

O método de cálculo do IEE é definido no anexo IX do RSECE, e estabelece que o IEE é expresso em $\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano}^2$ e é calculado através da expressão:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + Q_{\text{out}}/A_p \text{ (kgep/m}^2 \cdot \text{ano)} \quad (2.1)$$

em que:

¹ Grande Edifícios – De acordo com o RSECE correspondem aos edifícios com uma área útil de pavimento superior a 1000 m². Os grandes edifícios de serviços que tenham no seu interior piscinas são considerados “Grandes Edifícios” quando a área útil de pavimento for superior a 500 m².

² kgep – Quilograma equivalente de petróleo. É usado para exprimir o valor da energia primária, associada a recursos energéticos naturais como petróleo, hídrica, eólica, biomassa, solar e gás natural.

- IEE_I – Indicador de eficiência energética de aquecimento ($\text{kgep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$);
- IEE_V – Indicador de eficiência energética de arrefecimento ($\text{kgep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$);
- Q_{out} – Consumo ou necessidades nominais de energia não ligadas ao aquecimento e arrefecimento ($\text{kgep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$). Inclui consumos relacionados com iluminação e equipamentos tais como ventiladores e bombas hidráulicas. Caso seja possível, estes consumos devem ser imputados diretamente aos consumos de aquecimento e de arrefecimento. Senão, esses consumos devem ser repartidos proporcionalmente às horas de aquecimento e de arrefecimento.
- AP – Área útil de pavimento (m^2), é definido de acordo com o RCCTE e tem o mesmo valor para as expressões dos IEEs parciais (aquecimento e arrefecimento).

Por sua vez:

$$IEE_I = (Q_{\text{aq}}/AP) \times F_{CI} \quad \text{e} \quad IEE_V = (Q_{\text{arr}}/AP) \times F_{CV} \quad (2.2)$$

em que:

- Q_{aq} – Consumo ou necessidades nominais de energia para aquecimento ($\text{kgep} \cdot \text{ano}$);
- F_{CI} – Factor de correção do consumo de energia de aquecimento, o qual é função do fator de forma (FF) do edifício: $F_{CI} = N_{II}/N_{Ii}$,

em que:

- N_{II} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência II ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$);
- N_{Ii} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$);
- Q_{arr} – Consumo ou necessidades nominais de energia de energia para arrefecimento ($\text{kgep} \cdot \text{ano}$);
- F_{CV} – Factor de correção do consumo de energia de arrefecimento, com $F_{CV} = N_{VI}/N_{Vi}$,

em que:

- N_{V1} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1-V1 (kWh/m².ano);
- N_{Vi} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício (kWh/m².ano).

2.2. Normas sobre avaliação da eficiência energética de edifícios

Até à data apenas foram perspectivadas as normas referidas na Diretiva europeia 2012/27/UE, segundo esta directiva as auditorias energéticas devem ter em conta as normas EN ISO 50001 (Sistemas de Gestão Energética), EN ISO 16247-1 (Auditorias Energéticas) e EN ISO 14000 (Sistemas de Gestão Ambiental). A execução de uma auditoria energética, mais do que um estudo sistemático do uso de energia e consumo de energia de organizações, edifícios e sistemas é uma base importante para melhorar a eficiência energética e reduzir o consumo de energia das organizações, especialmente em aplicações comerciais, industriais ou residenciais. A norma especifica os requisitos para uma auditoria de energia de alta qualidade, o que deve ajudar a fornecer clareza e transparência no mercado de serviços de auditoria energética.

A par destas existem também, em matéria de Eficiência Térmica de Edifícios e seus Componentes, as normas:

- EN 15217:2007 - “*Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*”, que fixa os requisitos mínimos para os certificados energéticos, em termos de: “imagem” do certificado; classe de eficiência energética para edifícios e indicadores a utilizar;
- EN 15255:2007 – “*Energy performance of buildings - Sensible room cooling load calculation - General criteria and validation procedures*”;
- EN 15265:2007 – “*Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures*”;

- EN ISO 15927-4:2005 – “*Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling (ISO 15927-4:2005)*” e
- EN ISO 13790:2008 – “*Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008)*”.

Em termos de ventilação de edifícios existem as normas:

- EN 15240:2007 – “*Ventilation for buildings - Energy performance of buildings - Guidelines for inspection of air-conditioning systems*”;
- EN 15239:2007 – “*Ventilation for buildings - Energy performance of buildings - Guidelines for inspection of ventilation systems*” e
- EN 15251:2007 – “*Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*”.

2.3. Investigação sobre eficiência energética em complexos desportivos com piscinas

Os complexos desportivos são caracterizados por terem necessidades energéticas bastante diferentes de quaisquer outros tipos de edifício, não podendo por isso ser comparados os consumos típicos de edifícios de serviços ou de habitação. As necessidades energéticas estão muito dependentes do tipo de atividade desportiva praticada, do horário de funcionamento, da época do ano e da localização geográfica do complexo desportivo.

No que concerne a complexos desportivos com piscinas o consumo energético é bastante superior aos restantes tipo de complexos desportivos, dado a sua grande necessidade de energia eléctrica e térmica, para o aquecimento da água da piscina e manutenção das condições de temperatura e humidade relativa do ar ambiente. A temperatura do ar ambiente na área de piscinas cobertas deve manter-se entre 1 a 2 °C acima a temperatura média da água da piscina e a humidade relativa deve estar compreendida entre 50 e 70 % (DETREE, 2013). Dado que a temperatura da água das piscinas cobertas varia entre 25 e 29 °C a temperatura do ar no espaço adjacente deve situar-se normalmente entre 28 e 30 °C. Como a temperatura de conforto térmico noutros espaços adjacentes ao da piscina (gabinetes, arrumos e corredores de acesso) varia

normalmente entre 20 e 25 °C existem condições para haver correntes térmicas caso não haja uma cortina térmica ou portas.

O consumo de energia em complexos desportivos com piscinas cobertas está dependente do tipo de estrutura, localização geográfica e tipo de espaços adjacentes à piscina. A Figura 2.3 mostra a distribuição dos consumos de energia em complexos com piscinas cobertas, estimado pelo Departamento do Ambiente, Transporte e Eficiência Energética, do Reino Unido, numa base de boas práticas, sendo possível observar que o consumo de energia térmica correspondente ao aquecimento da água da piscina e do espaço interior totaliza 78% do total, enquanto o consumo de energia eléctrica atinge 22%.

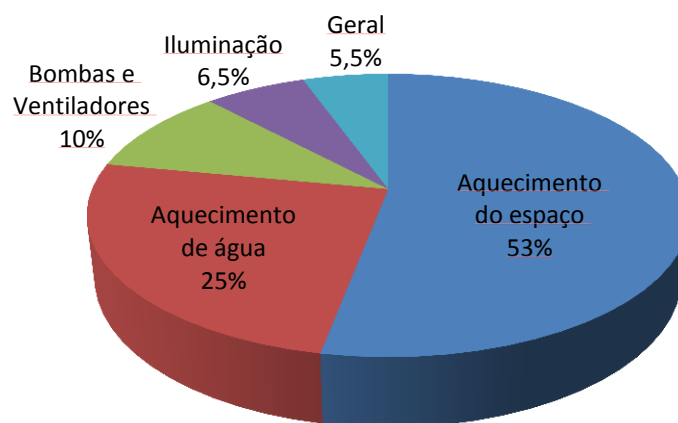
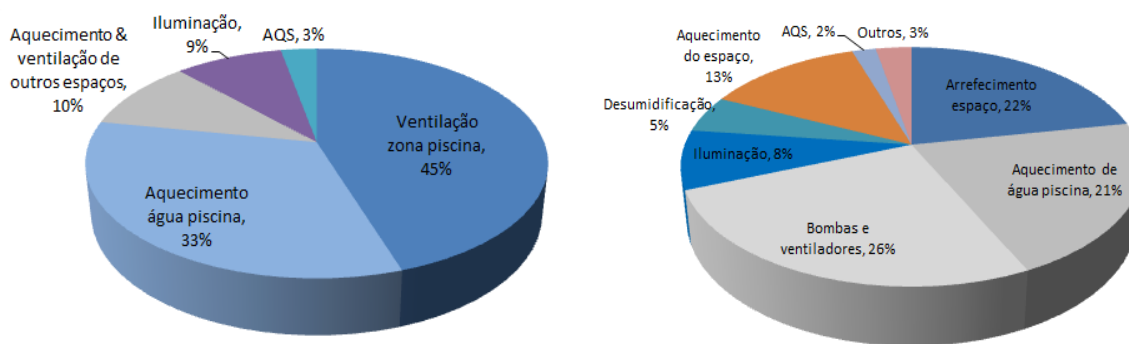


Figura 2.3 – Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos com piscinas de interior (DETREE, 2013).

Uma publicação do EEO de 1988, referenciada por Trianti-Stourna *et al.* (1998), apresenta uma percentagem do consumo de energia para aquecimento de água da piscina e do espaço interior da mesma ordem dos apresentados na figura anterior. Para a Smart Energy Design Assistance Center, da Universidade de Illinois, EUA (2011) a percentagem do consumo de energia para o aquecimento da água da piscina é muito próxima da dos valores anteriormente apresentados. A Figura 2.4 compara a distribuição percentual dos consumos de energia para as duas referências anteriormente citadas.



Fonte: Trianti-Stourna et al., 1998.

Fonte: Smart Energy Design Assistance Center, 2011.

Figura 2.4 -- Indicadores de referência da distribuição dos consumos de energia em complexos desportivos com piscina de interior.

Relativamente aos custos médios desses mesmos consumos de energia, a distribuição não segue a mesma ordem, como podemos verificar através da Figura 2.5, com o custo de energia eléctrica a ser superior ao custo de energia térmica, 59% e 41% respetivamente.

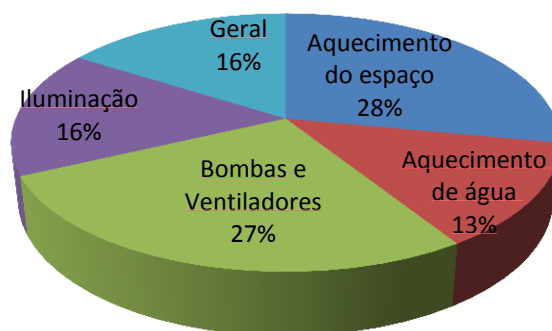


Figura 2.5 - Custos médios de energia em complexos com piscinas de interior (DETERE, 2013).

Um estudo efectuado Trianti-Stourna, *et al.* (1998) para cinco complexos desportivos com piscina cobertas, (com uma área de piscina compreendida entre 1628 – 2696 m², para uma área do complexo desportivo compreendida entre 3016 e 3527 m²), com mais de 20 anos de idade e sem sistemas de climatização, situados em diferentes regiões da Grécia, o consumo médio anual de energia por unidade de área coberta é de 450,1 kWh/m².ano e por área de piscina de 1094,5 kWh/m².ano (ap³). Para o mesmo estudo o consumo eléctrico médio anual por área coberta foi de 57,5 kWh/m².ano.

³ Área de piscina.

Segundo a IECU (1994) o consumo médio anual de energia em complexos com piscinas cobertas, localizadas em climas mediterrâneos, é de 4300 kWh/m².ano (ap) e de cerca de 5200 kWh/m².ano (ap) para complexos desportivos situados em climas continentais. Segundo Trianti-Stourna *et al.* (1998), para este último tipo de clima, o consumo médio anual de energia em complexos com piscinas cobertas varia entre 600 e 6000 kWh/m².ano de área coberta.

A Tabela 2.1 mostra, para complexos desportivos com piscina cobertas, os consumos médios anuais de energia térmica e elétrica para dois tipos de cenários (consumo típico e consumo adotando boas práticas). Na Tabela 2.2 são apresentados os consumos médios anuais de energia em complexos desportivos com piscinas cobertas para três cenários, em termos de eficiência energética.

Tabela 2.1 - Valores de referência anuais de consumo de energia em centros de lazer, para dois tipos de cenários (Carbon Trust, 2006).

Tipo	Combustível fóssil		Eletricidade	
	Típico	Boas práticas	Típico	Boas práticas
kWh/m ² .ano				
Centro com piscina de 25 m	1336	573	237	152
Centro com piscina de lazer	1321	573	258	164
Centro com combinação dos dois cenários	598	264	152	96

Tabela 2.2 – Valores anuais do consumo de referência em complexos desportivos com piscina coberta, para três cenários de desempenho energético (Department of the Environment, Transport and the Regions, (2013)).

Bom	Normal	Mau
(kWh/m ² .ano)		
< 501	510 – 745	> 745

Segundo Sports Council (1993) *apud* Trianti-Stourna *et al.* (1998), o consumo médio anual típico de água de uma piscina de média dimensão é de cerca de 3100 m³.ano. Segundo IECU (1994), o consumo médio anual de água de piscina por utente é de 0,04 m³.ano, e o consumo médio anual de energia por utente é de 0,7 a 1,4 kWh/ano.utente. Segundo a mesma referência, a evaporação específica é de 13 g/(m²/h/mbar) no período de funcionamento e em 6,5 g/(m²/h/mbar) no período de não-funcionamento. A mesma referência diz ainda que, para o período de funcionamento (estimado em 12 h) o consumo médio anual de energia estimado para aquecer a água da piscina é de 4,7 kWh/m².ano (ap).

A qualidade do ar ambiente da piscina impõe que os espaços das divisões adjacentes estejam em sobrepressão em relação ao da piscina, de modo a impedir a propagação dos odores de cloro que se registam no espaço da piscina, devido ao tratamento que é feito para eliminar microorganismos da água, que podem ser responsáveis pela transmissão de doenças e infeções. As exigências de qualidade do ar interior na zona da piscina obrigam a um número de renovações com ar fresco em número muito superior ao comum para outros espaços climatizados, variando entre 4-10 ren/h. Em termos de caudal volúmico, as renovações do ar fresco no espaço da piscina são em média de $15 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^3$. Nos balneários esse valor é de $220 \text{ m}^3\text{/h}$ por chuveiro (IECU, 1994).

A quantidade de energia para condicionamento do ar da piscina depende da quantidade de água evaporada, do grau de ocupação e da dimensão da piscina. Segundo Trianti-Stourna *et al.*, (1998), para 12 h de funcionamento a energia média anual necessária para climatizar o espaço da piscina, à temperatura de $24 \text{ }^\circ\text{C}$, está compreendido entre 280 e $350 \text{ kWh/m}^3\text{.ano}$. Nos balneários esse valor está compreendido entre 560 e $750 \text{ kWh/m}^3\text{.ano}$.

A evaporação depende do diferencial de temperatura entre a água e o ar, a humidade relativa do espaço, o tempo de ocupação da piscina, a superfície da piscina e a velocidade do ar à superfície da piscina. Se a temperatura do ar no espaço da piscina for baixa a evaporação aumenta, sendo necessário aumentar a temperatura da água. Se a velocidade do ar for elevada, o ar fica mais seco e a evaporação aumenta. Se pelo contrário a velocidade do ar diminui, a humidade relativa aumenta, provocando desconforto aos ocupantes e aumentando a condensação, contribuindo assim para uma mais rápida deterioração dos materiais da estrutura do edifício. Para contrariar o aumento da evaporação é necessário aumentar a ventilação para manter a humidade relativa do ar, mas por sua vez o aumento da ventilação aumenta a evaporação. Para reduzir a evaporação a solução passa normalmente por aumentar a temperatura da água, de modo a diminuir a diferença de temperatura para o ar ambiente. Um estudo conjunto elaborado pelo Sport Council, ISRM e ILAM, para o Reino Unido (BRECSU, 1994) sobre a cobertura de uma piscina ($25 \times 12,5 \text{ m}^2$) em Cardiff, permitiu concluir que a cobertura da piscina durante o período de não-funcionamento permite reduzir a evaporação e perdas térmicas, traduzindo-se numa poupança de 22%.

Segundo Pires (2014), existem em Portugal cerca de 310 piscinas municipais cobertas, o que representa um consumo de 43 GWh, de energia eléctrica por ano. A estimativa das necessidades energéticas de uma piscina coberta, feita através do programa de simulação dinâmica de edifícios, TRNSYS, para a cidade do Porto, é cerca de 180 tep/ano e distribui-se segundo a Figura 2.6. Em termos de distribuição percentual o resultado é apresentado na Figura 2.7.

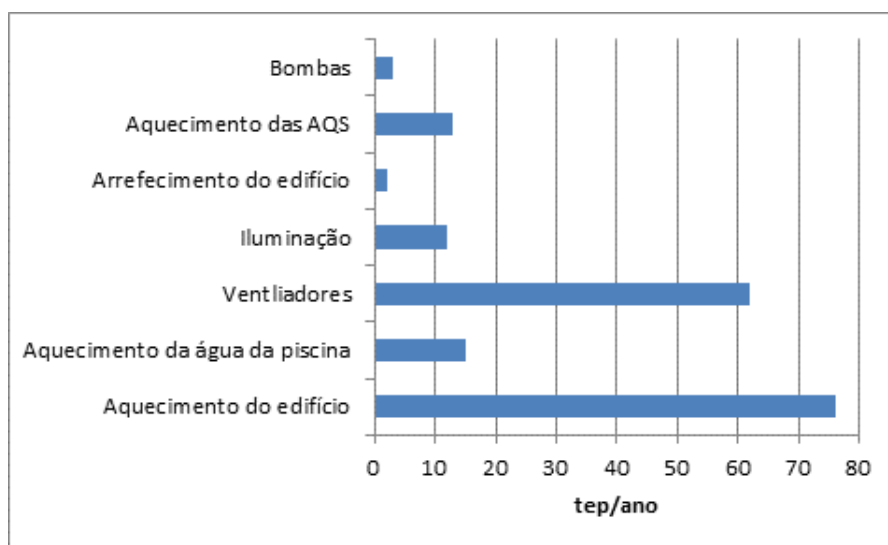


Figura 2.6 – Repartição dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto (adaptado de Pires, 2014).

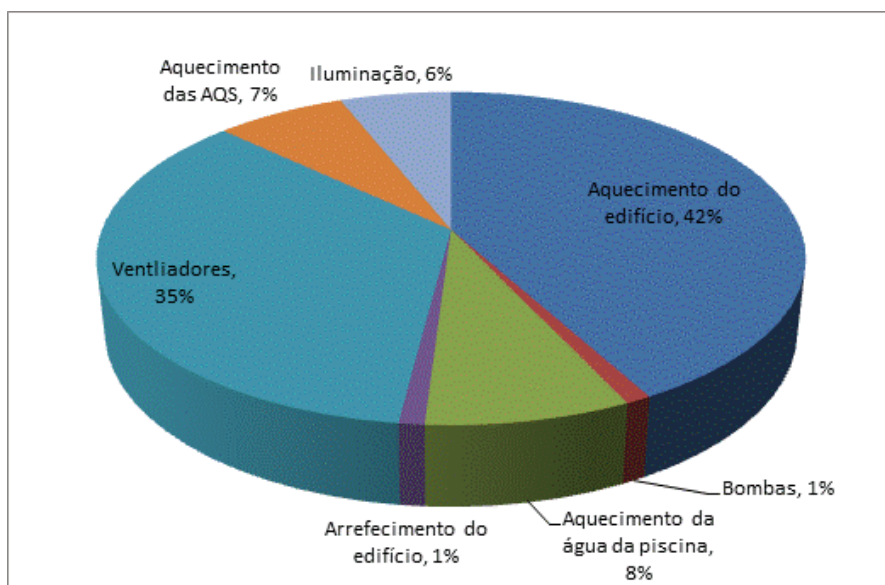


Figura 2.7 - Repartição percentual dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto (adaptado de Pires, 2014).

2.4. Medidas para melhorar a eficiência energética de complexos desportivos com piscinas cobertas

Entre as medidas para melhorar a eficiência energética e redução dos gastos em complexos desportivos propostas por departamentos de Estado ligados ao licenciamento e fiscalização do sector da energia e por artigos da especialidade (*BRESCU, DETREE*) estão:

- A utilização de sensores de deteção de presença nos espaços menos utilizados, que permitem reduzir a luminosidade ou interromper em caso de não utilização;
- Uma boa manutenção de todas as bombas hidráulicas, ventiladores e componentes que necessitem de energia eléctrica, para que mantenham a sua eficiência num ponto elevado, isto sabendo que os consumos de electricidade deveriam ser na ordem dos 20% e sabendo também que o seu custo é bastante superior ao do gás natural, resultando em custos na ordem dos 60%;
- Aplicação em todas as torneiras de água de dispositivos com ajuste automático de tempo e eventualmente de temperatura;
- Monitorização diária de todos os consumos efectuados. Desta forma é possível a prevenção de fugas, controlo de gastos supérfluos e actuar com maior rapidez. Permite ainda saber se os consumos estão dentro do previsto e estimar os potenciais consumos no final do mês. A criação de um gráfico histórico mensal permita avaliar todas as possíveis mudanças efectuadas e compará-las;
- Controlo das temperaturas da água e do espaço da piscina, bem como o da humidade relativa.

A Figura 2.8 ilustra o processo de monitorização recomendado para aumentar a eficiência energética de piscinas cobertas.

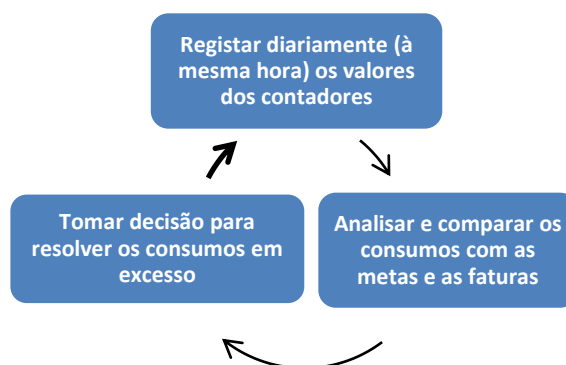


Figura 2.8 - Processo de monitorização recomendado para aumentar a eficiência energética de piscinas cobertas

3. CASO DE ESTUDO: COPC

3.1. Caracterização do edifício e dos equipamentos

Inaugurado a 21 de julho de 2005, o complexo olímpico de piscinas de Coimbra (COPC) é um dos melhores e mais recentes complexos do género em Portugal. Trata-se de um edifício composto por 5 andares e com várias valências.

O complexo está preparado para natação de formação e competição (incluindo provas internacionais). É composto por uma piscina olímpica de 50x25 metros, com profundidade que converge de 2 para 2,25 metros, com capacidade para 10 pistas e por uma piscina de 25x12,5 metros com profundidade que varia de 1,2 a 1,8 metros, com capacidade para 6 pistas. Na zona da piscina olímpica existem bancadas com capacidade para 670 espectadores e 505 nadadores. No complexo destacam-se ainda o ginásio, diversos balneários, salas para massagens, controlo anti doping, arbitragem, secretariado, imprensa e vários gabinetes.

O nível 1, designado por área técnica, está situada abaixo do nível das piscinas e é lá que está todo o sistema das linhas da rede de água, que é composto por bombas de pressurização, bombas doseadoras, filtros ultravioleta, tanques de compensação, permutadores de calor e tanques de armazenamento de água quente para os balneários.

No nível 2 estão as piscinas acima descritas, balneários e várias salas de apoio.

No nível 3 podemos encontrar a bancada normalmente reservada aos atletas, o bar e área de convívio e ainda outras salas.

O nível 4 é onde se situa o átrio de entrada, receção, vários gabinetes e bancada do público.

O nível 5 é outra área técnica, onde se encontram as unidades de tratamento de ar (UTA's), e as caldeiras.

A Figura 3.1 mostra a planta do nível 2, onde estão situadas as piscinas e que ilustra o espaço ocupado pelas mesmas em consonância com os diversos outros espaços, as plantas referentes aos outros pisos encontram-se no Anexo A.

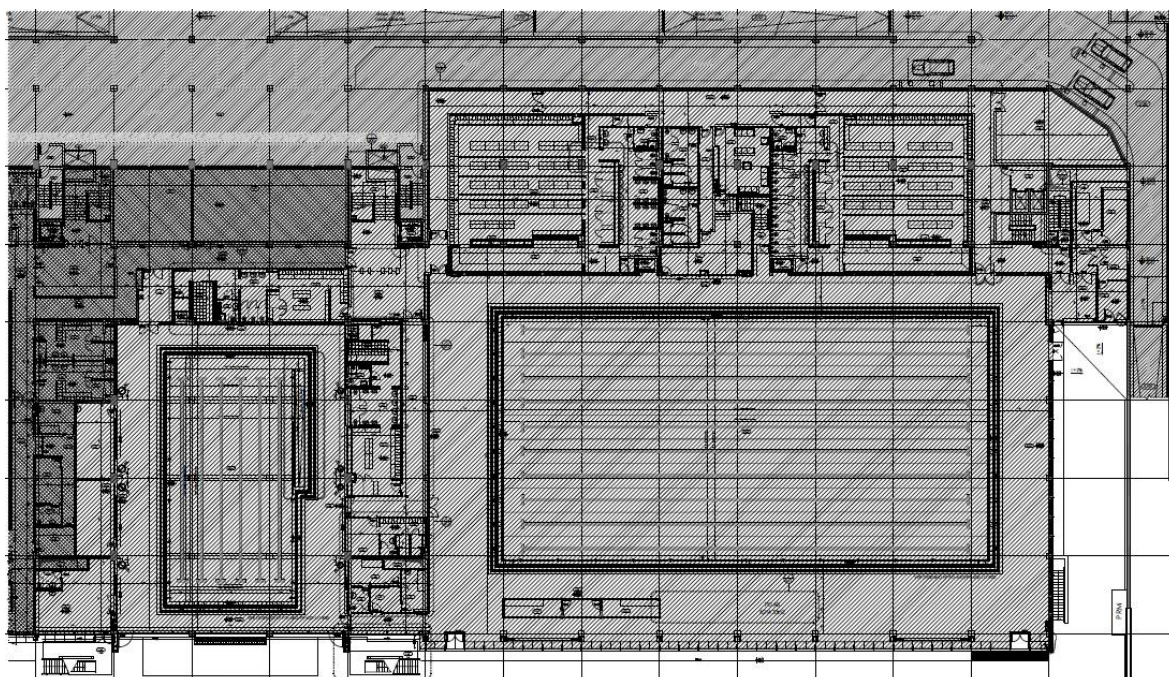


Figura 3.1 – Planta do nível 2 do COPC.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as áreas referentes aos diferentes níveis do COPC.

Tabela 3.1- Áreas dos diversos níveis do COPC.

Níveis	Área bruta (m ²)	Área útil (m ²)
1	1912,20	1824,00
2	5221,90	4906,33
3	1084,71	976,91
4	841,10	552,20
5	798,59	649,77

3.2. Metodologia

Para proceder a este estudo foi fornecido pelos responsáveis do COPC as informações constantes em documentos em formato papel, com os registos das entradas diárias de utentes. Os dados mais antigos apresentam falhas, já que procedimento era feito manualmente e só registava os utentes em regime livre, não sendo contabilizados os utentes dos clubes. Atualmente a implementação de torniquetes no acesso à área das piscinas veio facilitar essa contagem, ainda que não todas as pessoas que acedem sejam utentes das piscinas.

No que diz respeito aos consumos de água e gás natural (combustível das caldeiras), o registo diário era feito manualmente em folhas que foram igualmente disponibilizadas. Relativamente a consumos de eletricidade apenas foram disponibilizados dados referentes aos dois últimos anos, no entanto foi-nos assegurado que não tem havido grande variação ao longo dos anos.

Depois da morosa transposição e verificação de todos os dados foi efectuado um criterioso tratamento de dados com o intuito de procurar possíveis falhas, dado o seu formato inicial, de modo a proceder à análise dos resultados. Por fim foi feita a comparação dos resultados obtidos com os indicadores de referência anteriormente recolhidos na pesquisa bibliográfica.

3.3. Perfis de utilização

Tendo por base os dados disponíveis foram construídas tabelas e gráficos com a distribuição mensal e anual dos utentes e dos consumos de água, gás natural e eletricidade.

Os dados sobre os utentes não incluem os participantes e acompanhantes em torneios realizados no período em análise e que foram certamente responsáveis por consumos energéticos consideráveis, dadas as exigências de qualidade da água e de climatização do espaço que essas provas impõem. A Figura 3.2 apresenta a evolução global de utilização no COPC.

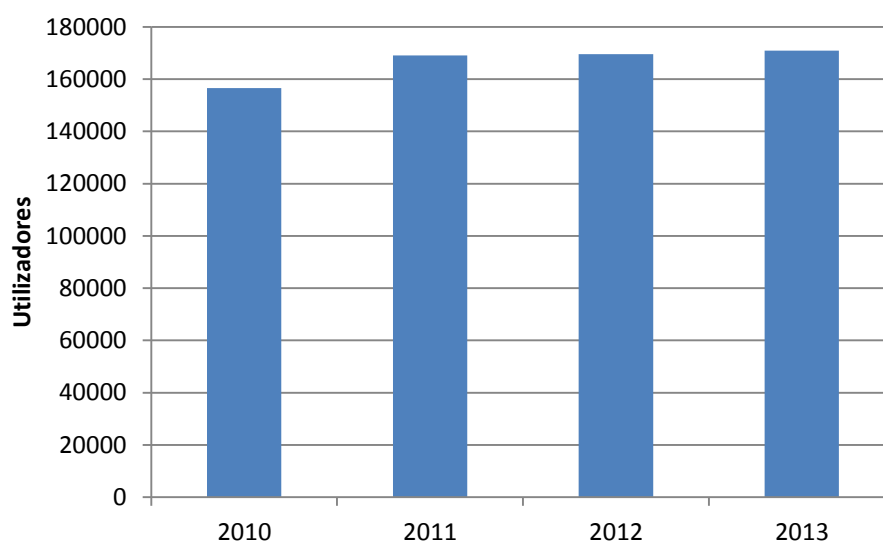


Figura 3.2 - Evolução do número anual de utilizadores de 2010 a 2013.

Pelos resultados é notório um ligeiro crescimento do número de utilizadores, número esse, que de acordo com os limites máximos previstos de 2500 utilizadores diários para a piscina de 50 m e de 625 para piscinas de 25 m, impostos pelo regulamento do COPC, regido pela Directiva CNQ 23/93 e Decreto-Regulamentar 5/97, de 31 de março, tem ainda uma margem de progressão bastante larga.

Seguidamente foi ainda elaborado um gráfico que nos pudesse mostrar esta mesma distribuição em termos mensais ao longo dos anos, como a seguir se apresenta na Figura 3.3.

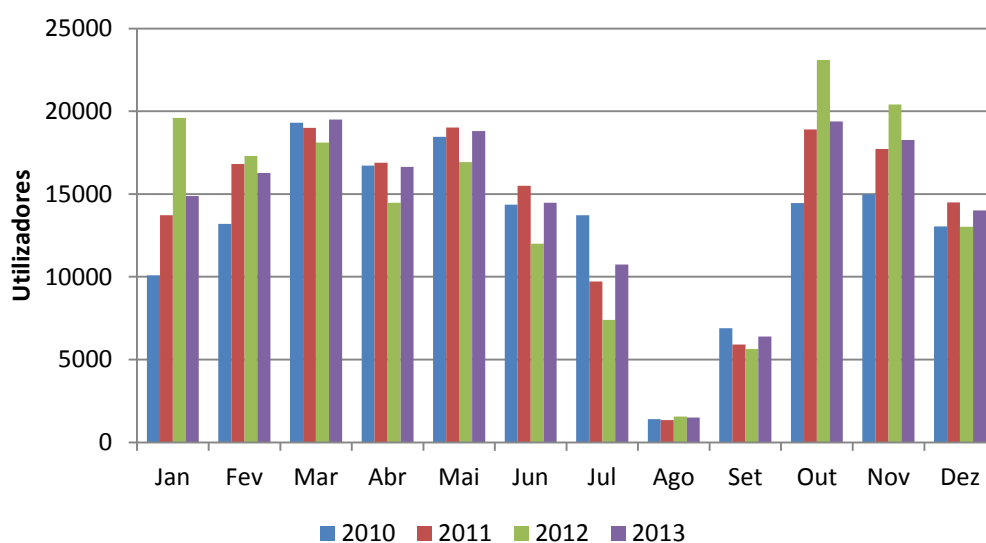


Figura 3.3 - Evolução do número mensal de utilizadores de 2010 a 2013.

Através deste gráfico é possível ter uma maior percepção do efeito da sazonalidade na utilização do complexo. Facilmente se detecta que nos meses de verão existe um enorme decréscimo de utilizadores devido às férias, aliado ao facto que durante mais de metade do mês de agosto as piscinas se encontrarem encerradas para manutenção de equipamentos, lavagem da piscina e conseqüente renovação total da água. Toda esta informação pode ser encontrada mais detalhadamente no Apêndice A.

3.4. Consumos

Relativamente ao estudo dos consumos de gás natural e água é de salientar que os dados aqui apresentados são baseados em registos manuais diários dos operadores do COPC. Desta forma optou-se por realizar uma primeira análise a nível global com os

consumos recolhidos ao longo dos anos, com o objectivo de verificar a existência ou não de variações significativas, o resultado apresenta-se nas Figura 3.4 e Figura 3.5.

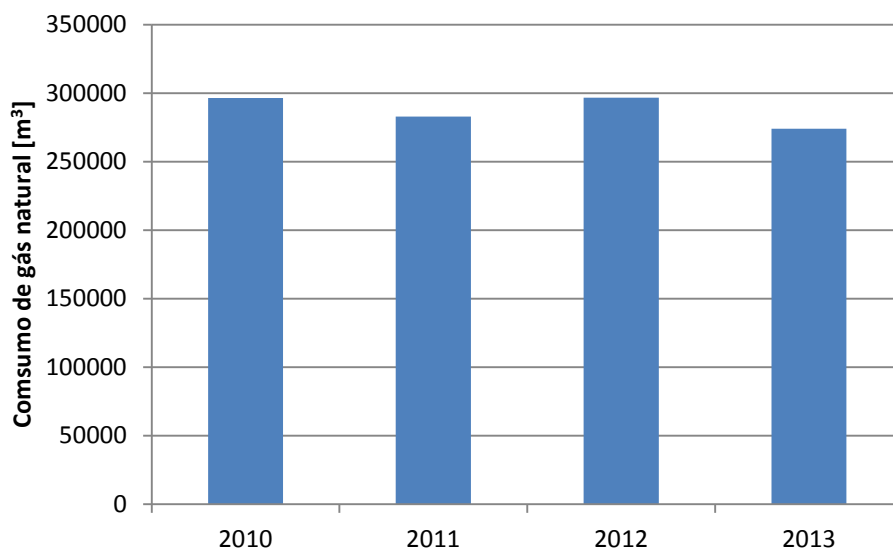


Figura 3.4 - Evolução do consumo anual de gás natural de 2010 a 2013.

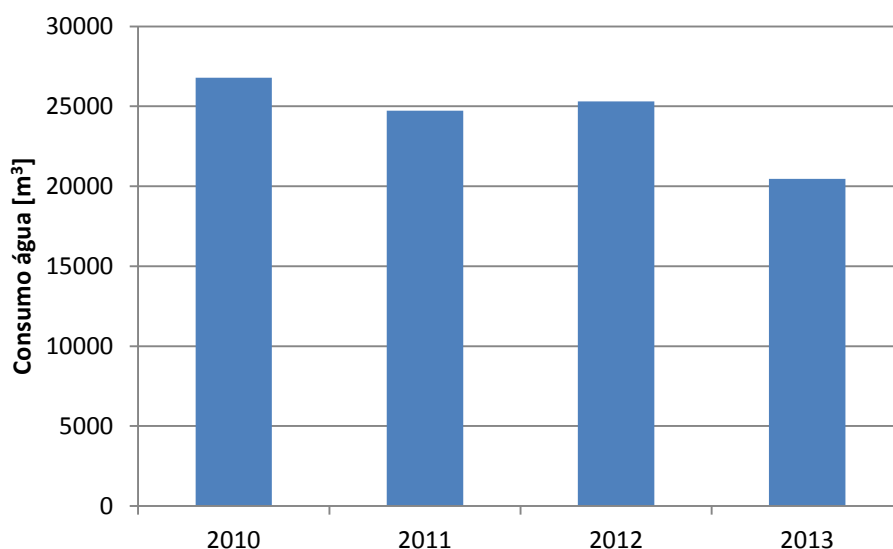


Figura 3.5 – Evolução do consumo anual de água de 2010 a 2013.

São observadas pequenas variações no consumo anual de gás, que podem ser explicadas pelas diferenças de temperatura ocorridas durante os anos em análise e na conseqüente maior ou menor necessidade de produção de aquecimento, quer a nível da água da piscina, quer na climatização do ar ambiente. Relativamente ao consumo de água

observa-se uma diminuição significativa, sobretudo no ano de 2013, resultante sobretudo da implementação de novas medidas por parte dos responsáveis na limpeza dos filtros.

De modo a conhecer o efeito da sazonalidade foram elaborados gráficos com os consumos mensais, respeitantes aos anos em análise, representados nas Figura 3.6 e Figura 3.7.

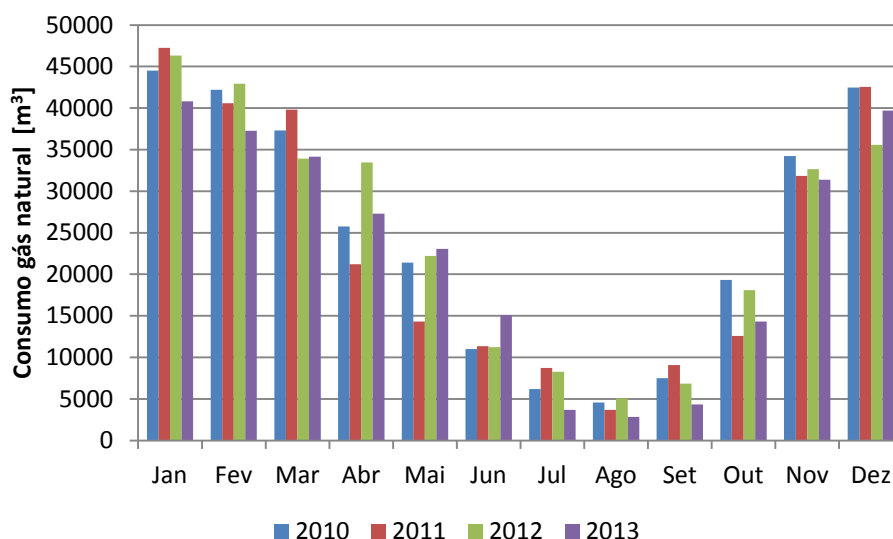


Figura 3.6 – Evolução do consumo mensal de gás natural de 2010 a 2013.

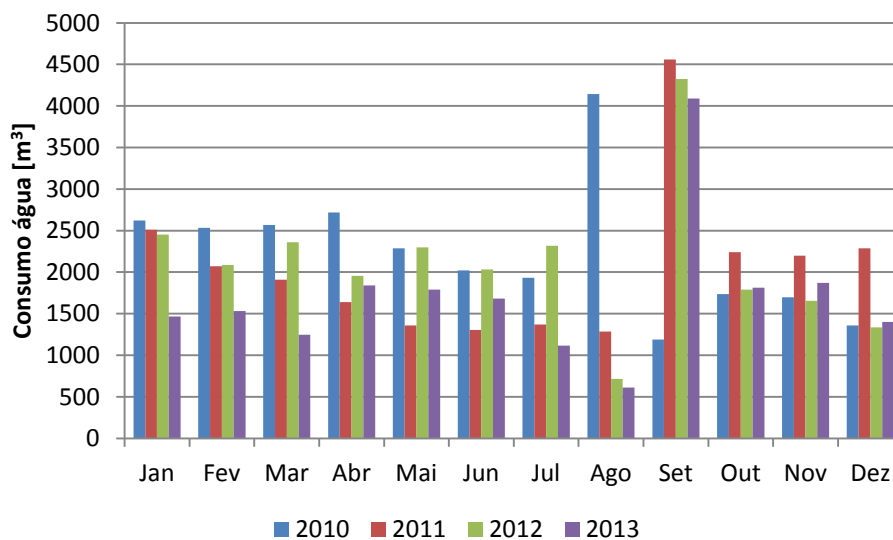


Figura 3.7 – Evolução do consumo mensal de água de 2010 a 2013.

Na Figura 3.6 são notórias as grandes variações de consumo de gás natural ao longo do ano, as quais são determinadas pelas variações de temperatura exteriores

associadas às estações do ano, acrescidas pelo menor número de utilizadores nos meses de verão.

Na Figura 3.7 as variações, em termos mensais, não são tão evidentes quanto as do consumo de gás natural, apenas se notando um decréscimo do consumo de água nos meses de julho e agosto, muito pela redução do número de utilizadores, e um pico nos meses de Setembro e por vezes em Agosto, devido a manutenção das piscinas que passa pela substituição total da água.

No que diz respeito ao consumos de eletricidade, importa referir que existe apenas um contador geral que é referente ao conjunto do COPC com o Pavilhão Mário Mexia, no entanto de acordo com os responsáveis a percentagem referente ao COPC situa-se nos 80%. Por esta razão e pelo facto de apenas nos terem sido facultados registos referentes aos dois últimos anos a análise será menos precisa. Assim da mesma forma que anteriormente foram elaborados dois gráficos, um com os consumos anuais e outro com os mensais que são seguidamente apresentados nas Figura 3.8 e Figura 3.9.

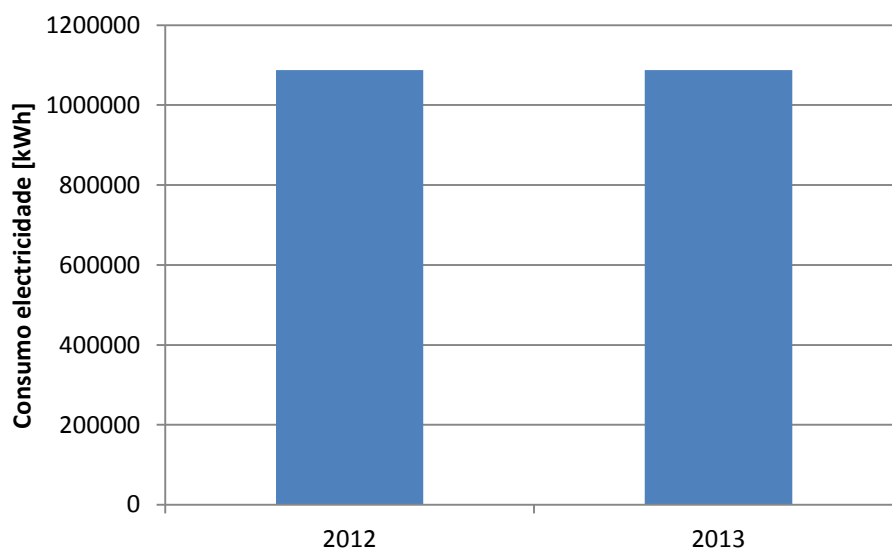


Figura 3.8 – Evolução do consumo de eletricidade anual de 2012 a 2013.

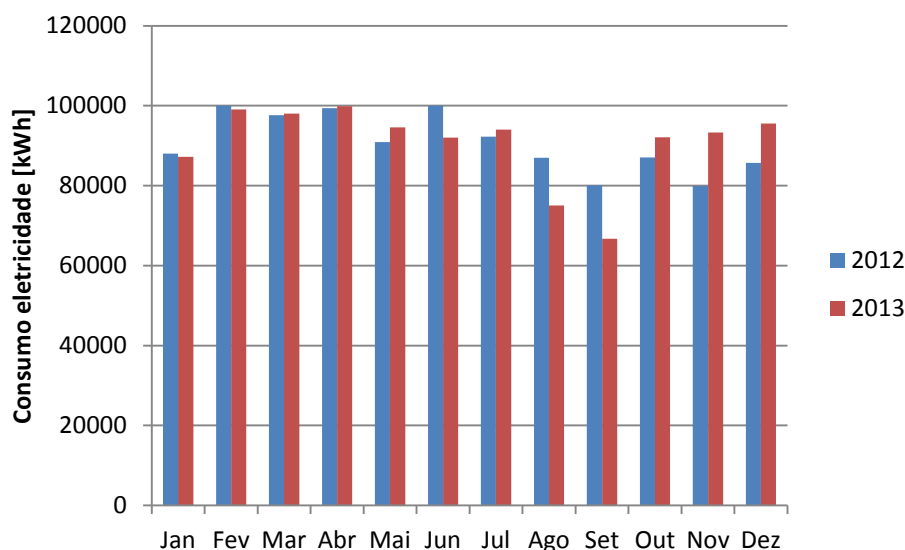


Figura 3.9 – Evolução do consumo mensal de eletricidade de 2012 a 2013.

Os valores mensais do consumo de energia mensal são muito idênticos ao longo do ano, exetando os meses de agosto e setembro, nos quais se regista uma ligeira descida devido às paragens para manutenção e menor número de utilizadores, aliado ainda à questão da não necessidade de utilização de iluminação interior durante tanto tempo. Mais se comprova que apesar de pequeníssimas variações mensais, os valores mensais nos dois anos em análise são muito próximos.

3.4.1. Comparação dos consumos de energia térmica e elétrica

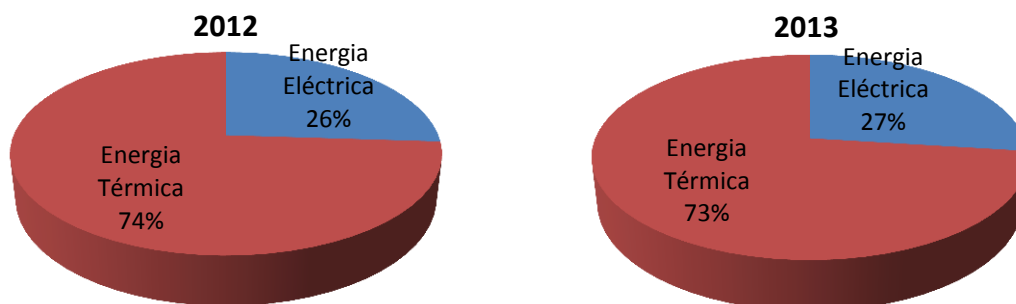
Com base nos dados de consumo obtidos podemos agora estabelecer uma análise comparativa entre as necessidades de energia térmica e elétrica. Para isso necessitamos em primeiro lugar converter o consumo de gás natural, dado em m^3 , para kWh, isso consegue-se através da utilização da massa volúmica do gás natural ($0,8404 \text{ kg}/m^3N$) e do seu poder calorífico ($45,1 \text{ MJ}/\text{kg}$) (Despacho 17313/2008).

A Tabela 3.2 mostra a variação mensal do consumo de energia térmica e elétrica para dois anos consecutivos. O consumo de energia térmica está claramente associado a temperatura exterior, variando de forma inversa. O consumo de energia elétrica não sofre grandes alterações ao longo do ano há exceção do mês de agosto e setembro em que o número de utentes baixa claramente devido ao período de férias.

Tabela 3.2 - Consumo mensal de energia térmica e elétrica em kWh.

Meses	2012			2013		
	Electricidade [kWh]	Gás [m ³]	Gás [kWh]	Electricidade [kWh]	Gás [m ³]	Gás [kWh]
Jan	87990	46329	487766	87182	40819	429755
Fev	99989	42943	452117	99071	37276	392453
Mar	97606	33915	357067	98038	34136	359394
Abr	99422	33439	352056	99862	27312	287549
Mai	90870	22196	233686	94604	23045	242625
Jun	100053	11227	118201	92035	15071	158672
Jul	92284	8265	87016	93992	3696	38913
Ago	86986	5086	53547	75014	2814	29627
Set	80102	6853	72150	66711	4354	45840
Out	87040	18096	190520	92106	14310	150660
Nov	79889	32662	343875	93318	31375	330325
Dez	85674	35590	374702	95527	39678	417742
TOTAL	1087904	296601	3122704	1087460	273886	2883554

Na Figura 3.10 são comparados os consumos anuais de energia elétrica e térmica nos últimos dois anos, verificando uma relação muito semelhante nos dois anos em análise, com consumos de 26-27% de energia elétrica e 73-74% de energia térmica.

**Figura 3.10 – Comparação percentual do consumo de energia térmica e elétrica nos anos 2012 e 2013.**

Outro dado que é interessante obter é o consumo específico por utente para cada tipo de energia que nos é apresentado na Figura 3.11.

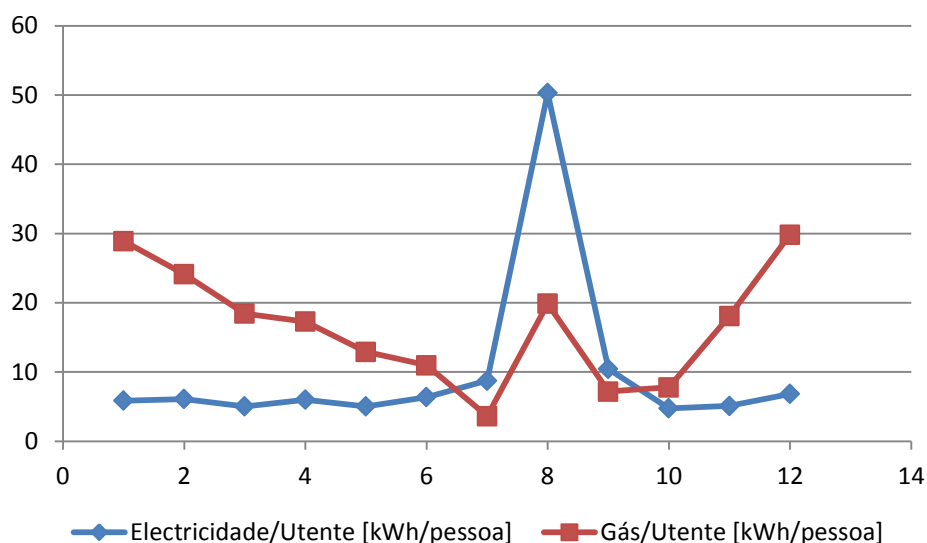


Figura 3.11 - Variação do consumo específico por utente referente ao ano 2013.

Por estes dados podemos mais uma vez confirmar o que era esperado, ou seja, como o valor do consumo de energia eléctrica é praticamente constante ao longo do ano, o seu consumo específico irá variar fortemente consoante o número de utentes. No caso do consumo específico de gás natural, como este varia consoante a altura do ano, mesmo com a variação do número de utentes este mantém a tendência de diminuição nos meses de verão. Mais uma vez importa referir o pico de valores para o mês que as piscinas estão em manutenção só abrindo alguns dias do mês.

Finalmente procedendo de forma a tipificar as energias consumidas por área, estabelecemos em primeiro lugar apenas as áreas uteis referentes aos níveis 2, 3 e 4, isto dado que nos outros níveis apenas se encontram os equipamentos. No que diz respeito à energia consumida por superfície de água, contabilizamos a área referente às duas piscinas. Assim, fazendo uma análise anual foram obtidos os dados apresentados na Tabela 3.3.

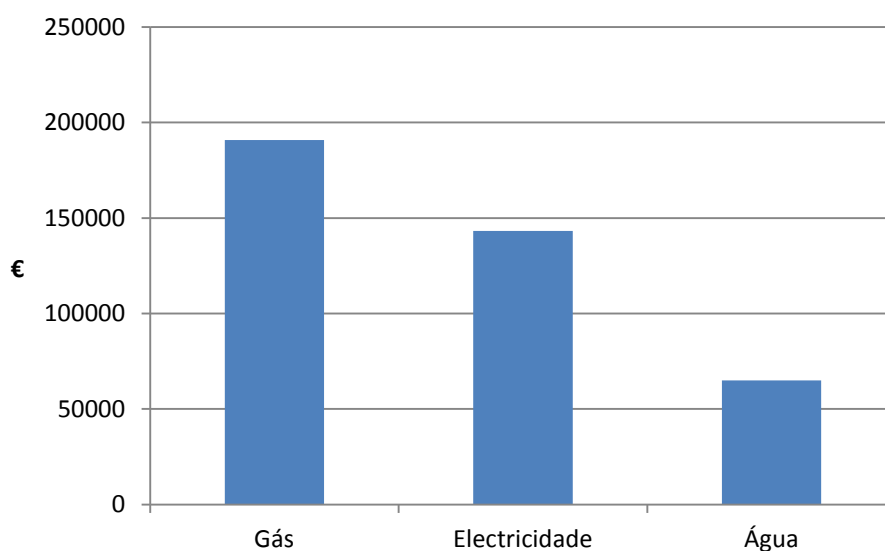
Tabela 3.3 – Energia por área de cobertura e por área de piscina.

	2012	2013
Electricidade/Área COPC [kWh/m ²]	169	169
Gás/Área COPC [kWh/m ²]	485	448
Energia Total/Área COPC [kWh/m ²]	654	617
Electricidade/Área Sup. Piscinas [kWh/m ²]	696	696
Gás/Área Sup. Piscinas [kWh/m ²]	1999	1845
Energia Total/Área Sup. Piscinas [kWh/m ²]	2695	2541

3.5. Custos com energia e água

Tendo recebido apenas os dados de faturação relativos ao ano de 2012 de todos os consumos anteriormente referenciados, optou-se por fazer uma abordagem detalhada de todos os parâmetros de modo a poder estabelecer correlações com os resultados anteriores.

Na Figura 3.12 são comparados os custos totais dos vários consumos energéticos e de água em 2012.

**Figura 3.12 – Custo anual dos diferentes consumos em 2012.**

Como podemos constatar os custos com o gás natural são amplamente superiores a todos os outros, justificando por isso uma maior atenção em termos de análise de possíveis melhorias em termos de eficiência energética e redução do consumo de energia térmica.

De modo a permitir analisar a variação da faturação ao longo do ano relativa aos três tipos de consumos, elaborou-se o gráfico da Figura 3.13 com custos mensais.

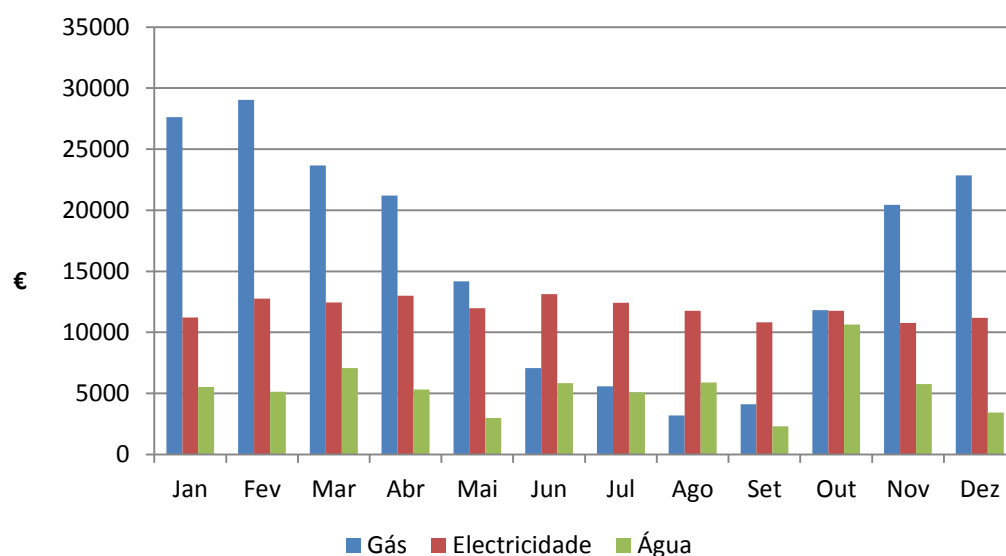


Figura 3.13 – Custo mensal com os consumos de gás, eletricidade e água em 2012.

Na Figura 3.13 podemos observar que o custo com a água é claramente o mais baixo em todos os meses, há exceção do mês em que ocorre a renovação total da água da piscina. Não fosse as necessidades de aquecimento dos espaços no período de novembro a abril, e o custo com eletricidade seria superior. No verão observa-se uma ligeira redução dos custos com eletricidade, que serão atribuídos a maior luminosidade exterior que permite reduzir os consumos com iluminação. Os baixos custos de eletricidade nos meses de dezembro e janeiro podem ser atribuídos ao período de férias escolares de Natal e menor atividade de alguns serviços nesse período. As grandes variações dão-se no custo com gás natural, que justificam a existência de três caldeiras.

3.5.1. Comparação dos custos de energia térmica e elétrica

Na Tabela 3.4 são apresentados os custos dos dois tipos de energia, sendo claro as variações relativo ao custo com o gás natural. Na Figura 3.14 são comparados os custos

com eletricidade e com gás natural nos últimos dois anos, constando-se que o custos de energia térmica superiores ao custo de energia eléctrica, sendo de 55-57% e de 43-45% respetivamente.

Tabela 3.4 – Custos totais de electricidade e gás natural de 2012 e 2013.

Meses	2012		2013	
	Electricidade [€]	Gás [€]	Electricidade [€]	Gás [€]
Jan	11220,75	27610,68	11630,38	26185,11
Fev	12772,14	29037,49	13216,42	23912,30
Mar	12438,13	23659,88	13078,53	21898,01
Abr	13007,14	21190,79	13268,22	17520,46
Mai	11966,62	14191,11	12466,67	14783,21
Jun	13129,34	7067,25	12179,54	9667,94
Jul	12416,78	5589,09	12270,78	2370,96
Ago	11769,47	3187,18	10138,21	1805,16
Set	10824,59	4122,52	9268,15	2793,06
Out	11762,16	11817,01	12159,43	9179,77
Nov	10762,70	20455,21	12512,84	20126,85
Dez	11202,92	22843,01	12696,71	25453,17
TOTAL	143272,74	190771,22	144885,87	175696,01

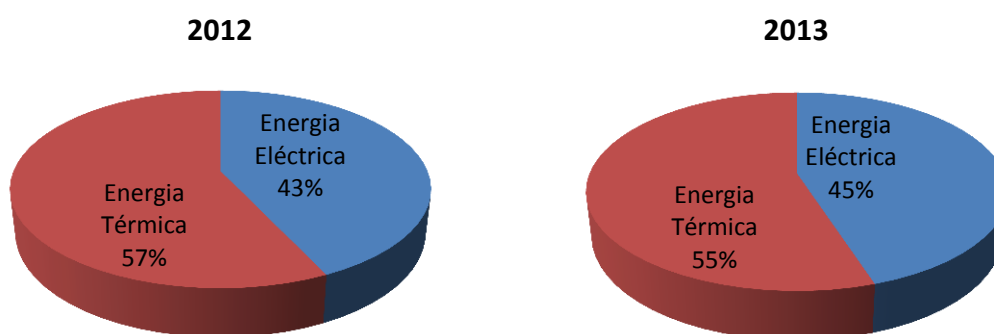


Figura 3.14 – Comparação percentual de custos de energia nos anos 2012 e 2013

A Figura 3.15 compara o consumo de gás natural com o custo específico da energia, expresso em €/kWh. Muito embora transpareça existirem grandes variações, devido à escala usada, o valor está compreendido entre 0,057 e 0,066 €/kWh, sendo a média anual de 0,061 €/kWh.

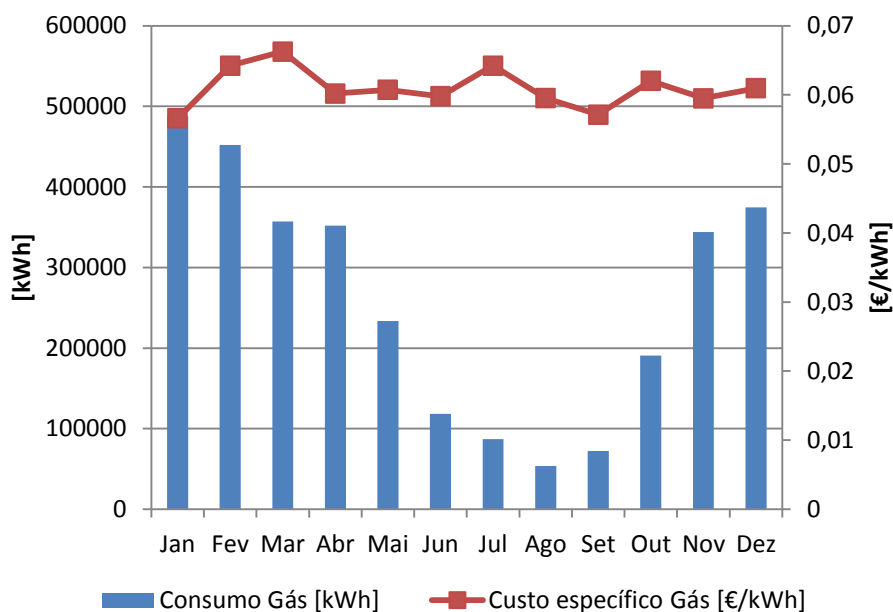


Figura 3.15 – Variação do consumo específico mensal do gás.

Da mesma forma que no capítulo anterior criou-se uma tabela referente aos custos por unidade de área, que resultou da seguinte maneira.

	2012	2013
Electricidade/Área COPC [€/m ²]	22,26	22,15
Gás/Área COPC [€/m ²]	29,74	27,30
Energia Total/Área COPC [€/m ²]	52	49,45

4. ANÁLISE ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO

De forma a poder facilitar a leitura dos dados referentes à energia eléctrica e térmica optou-se por analisar todos os equipamentos fundamentais que pudessem ser relevantes em termos de potência. Elaborou-se também um fluxograma simplificado que podemos observar na Figura 4.1 de maneira a tornar mais fácil o seu entendimento.

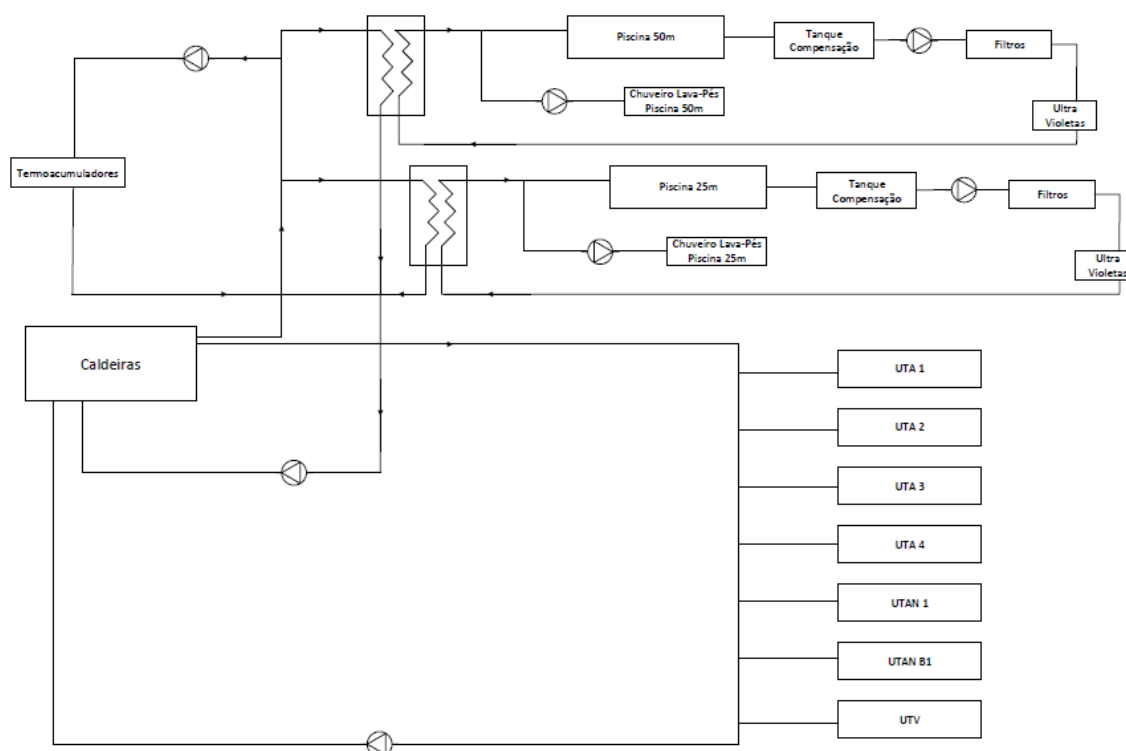


Figura 4.1 – Diagrama de princípio do circuito de água.

4.1. Energia eléctrica

A maior fatia no consumo de energia eléctrica diz respeito à ventilação do ar, aos motores das bombas de circulação da água das piscinas e à iluminação.

A iluminação da piscina, quando está na sua capacidade máxima, tem um papel importante no consumo, dado que existem 44 projetores de 1 kW cada, contudo como normalmente estão desligados, total ou parcialmente não irão ser considerados na análise. Para este facto muito contribui a boa capacidade de iluminação natural do complexo, devido à dimensão e orientação da sua fachada, virada a sul e totalmente envidraçada.

Assim, tomando em consideração o funcionamento permanente dos equipamentos eléctricos descritos na Tabela 4.1, o consumo diário de energia eléctrica, será de 4166,4 kWh/dia. O pressuposto que levou a considerar 24 horas de funcionamento para os equipamentos descritos na Tabela 4.1 teve por base as informações dos responsáveis do COPC.

Tabela 4.1 – Potência eléctrica dos equipamentos e consumo máximo horário e diário.

UTA 1	29,5	
UTA 2	29,5	
UTA 3	15	
UTA 4	13	
UTAN 1	2,2	
UTAN B1	2,2	kW
UTV	2,2	
Bombas circulação	8	
Hidropressoras AQS	12	
Bombas P50m	45	
Bombas P25m	15	
Consumo global horário	173,6	
Consumo global diário	4166,4	kWh

Para aferir a validade da estimativa de consumo eléctrico baseada no cálculo anterior foi feita a leitura do contador de energia eléctrica para um período de uma hora e convertido esse valor para 80%, pelas razões anteriormente referidas (Tabela 4.2). O valor obtido deve contudo ser analisado com cuidado já durante essa hora não havia actividade no pavilhão desportivo, pelo que a percentagem de electricidade afecta ao COPC seria certamente superior. Na última coluna da Tabela 4.2 é apresentado o valor do consumo horário, tendo por base o consumo anual de electricidade em 2013 (365diasx24h). Da Tabela 4.2 é possível comprovar que os equipamentos apesar de funcionarem durante 24 horas não funcionam sempre na potência máxima. Admitindo ainda que o valor indicado na leitura real (às 15 h) seria todo dos equipamentos referidos na Tabela 4.2 teríamos que no máximo em média os equipamentos estariam a trabalhar a 95%. Se considerarmos o valor afecto ao COPC, tendo por base o consumo de um ano, os equipamentos no global trabalharão a 72% da sua capacidade máxima.

Tabela 4.2 – Comparação dos valores estimados e medidos.

	Estimado	Leitura contador geral	Conversão leitura para COPC (80%)	Baseado no consumo total anual de 2013 (convertido a 80% para o COPC)
Consumo horário [kWh]	173,6	165	132	124
Consumo diário [kWh]	4166,4	3960	3168	2979

4.2. Energia térmica

Relativamente ao consumo de energia térmica dos equipamentos a análise torna-se bem mais difícil uma vez que apesar de estarem a trabalhar as 24 horas por dia, não sabemos as cargas a que trabalham dado que dependem de diversos e variados factores. No entanto, como sabemos as potências térmicas dos equipamentos (Tabela 4.1) é possível estimar a que percentagem da carga máxima a partir da repartição de energia térmica.

Tabela 4.3 – Potência térmica dos equipamentos.

Equipamento	Potência [kW]
UTA 1	148,7
UTA 2	148,7
UTA 3	280
UTA 4	69,5
UTAN 1	48
UTAN B1	51
Permutador P50m	890,6
Permutador P25m	120,1
Termoacumuladores AQS	469

4.2.1. Estimativa da energia térmica de AQS

No que diz respeito à estimativa de energia gasta para AQS podemos proceder da seguinte forma para efectuar essa avaliação:

De acordo com o Decreto-lei n. °80/2006, cada pessoa gasta em média por banho 40 litros a 60 °C. Assim, partindo do pressuposto que todos os utentes das piscinas tomam banho no final é possível calcular o volume de água gasta por mês com AQS. Sendo a massa volúmica da água a 60 °C de 988 kg/m³, podemos calcular a massa de água pela Equação (4.1).

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

Podemos agora calcular a sua energia útil em kJ, admitindo um valor de calor específico médio de $c_p = 4,18$ kJ/kg e uma temperatura de entrada $T_1 = 15$ °C e temperatura de saída $T_2 = 60$ °C, utilizando a seguinte equação.

$$Q_{\text{útil}} = m \times c_p \times (T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

Finalmente podemos agora converter a energia térmica calculada em kWh, sabendo que 1 kWh é igual a 3,6 MJ. Todos os cálculos anteriormente explicados são agora apresentados em forma de tabela referente ao ano de 2013.

Tabela 4.4 – Estimativa de energia térmica útil de AQS.

Meses	Utentes	AQS [L]	AQS [kg]	Energia [kJ]	Energia [kWh]
Jan	14870	594782,6	587645,2	110536068,2	30704
Fev	16272	650881,8	643071,2	120961702,1	33600
Mar	19501	780022,2	770662	144961518	40267
Abr	16632	665285,8	657302,4	123638576,7	34344
Mai	18804	752152,6	743126,8	139782146,9	38828
Jun	14469	578769,4	571824,2	107560129,8	29877
Jul	10751	430022,1	424861,8	79916508,78	22199
Ago	1492	59669,68	58953,65	11089180,73	3080
Set	6390	255589	252521,9	47499378,59	13194
Out	19376	775050	765749,4	144037458,6	40010
Nov	18265	730617,7	721850,3	135780032,7	37716
Dez	14002	560077	553356,1	104086283,8	28912
TOTAL	170823	6832920	6750925	1269848985	352736

4.2.2. Estimativa da energia térmica para aquecimento da água da piscina

Para podermos proceder ao cálculo deste valor necessitamos em primeiro lugar de recorrer a equações gerais encontradas em vários estudos sobre o comportamento em complexos com piscinas. Primeiramente, calculamos as taxas de evaporação da água da piscina recorrendo a umas equações simplificadas de Bernier para piscinas cobertas, para os casos de água em repouso ou de água agitada com nadadores.

$$M_{e\text{ repouco}} = 16 \times S \times (W_e - \phi_a \times W_{as}) \quad 4.3$$

$$M_{e\text{ agitada}} = 133 \times (W_e - \phi_a \times W_{as}) \times n \quad 4.4$$

Sendo:

M_e - Taxa de evaporação [kg/h];

S - Superfície de água [m²];

W_e - Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água da piscina [kg(ag)/kg(ar)];

W_a - Humidade absoluta do ar saturado à temperatura do ar ambiente [kg(ag)/kg(ar)];

ϕ_a - Grau de saturação [%];

n - Número de nadadores.

Para facilitar os cálculos e tendo em conta que era praticamente impossível fazê-lo de outra forma, tendo os utilizadores mensais, foi considerada uma média diária e por hora, repartida pelas duas piscinas, chegando assim aos dados apresentados na seguinte tabela.

Tabela 4.5 – Taxas de evaporação.

	M_e Repouso [kg/h]	M_e Agitado [kg/h]
Piscina 50m	114,00	135,23
Piscina 25m	29,63	35,14
Total	134,63	170,37

Sabendo que as piscinas estão abertas com utentes durante 16 horas e em repouso durante 8 horas podemos assim calcular um total de 3,873 m³ de água evaporada por dia. No entanto, o mais importante é quantificar a energia perdida pela evaporação que nos é dada através da equação

$$Q_e = M_e \times c_v \quad (4.5)$$

Onde:

Q_e – Perda térmica por evaporação [W/m²];

M_e – Taxa de evaporação [kg/h];

c_v – Calor de vaporização da água [kJ/kg.°C].

Para o cálculo da energia térmica perdida por renovação de água é usual considerar-se por razões de higiene uma quantidade de reposição de 5% do volume total da piscina, assim seguindo mais uma vez as equações propostas pela Ciatesa[®], temos:

$$Q_r = V_r \times \rho_{ag} \times c_p \times (T_{ag\ piscina} - T_{ag\ rede}) \quad 4.6$$

Sendo,

V_r – Volume de água repostado [m³];

ρ_a – Massa volúmica da água [kg/m³];

c_p – Calor específico água [kJ/kg.°C];

$T_{ag\ piscina}$ – Temperatura água da piscina [°C];

$T_{ag\ rede}$ – Temperatura água da rede [°C].

Temos ainda as perdas de energia por transmissão de calor, que dependem dos coeficientes de transmissão dos materiais e suas especificidades, no entanto mais uma vez utilizando as equações referidas.

$$Q_t = C_t \times S_c \times (T_{ag\ piscina} - T_{ext}) \quad (4.7)$$

Onde:

Q_t – Perda térmica por transmissão de calor [W/m²];

C_t – Coeficiente de transmissão de calor por condução [W/m².°C];

S_c – Superfície de contacto [m^2];

$T_{ag\ piscina}$ – Temperatura da água da piscina [$^{\circ}C$];

T_{ext} – Temperatura das superfícies exteriores [$^{\circ}C$].

De salientar que as perdas por radiação térmica são consideradas desprezáveis, bem como as perdas de energia por convecção, dado que o valor do ar ambiente é superior à temperatura da água. Finalmente, podemos agora construir uma tabela com todos os dados calculados.

Tabela 4.6 – Perdas térmicas das piscinas.

Perdas Energia	Piscina 50m [W]	Piscina 25m [W]	Total [W]
Evaporação	91413	23755	115169
Renovação	89870	16992	106862
Transmissão	25781	7785	33566
Perdas totais	207064	48533	255597

4.3. Discussão de resultados

Com base em todos os cálculos efectuados anteriormente é agora feita uma criteriosa análise e discussão dos mesmos.

Verificou-se desta forma então, que para complexos desportivos com piscinas cobertas os valores percentuais do consumo energético, situam-se na ordem dos 22 % para a energia eléctrica e de 78 % para a energia térmica, e os valores por este trabalho obtidos são de 27 % para energia eléctrica e de 73 % para energia térmica, o que parecem ser valores aceitáveis, ainda mais tendo em conta que Portugal, e neste caso Coimbra é uma região com um clima mais quente do que a dos obtidos através dos indicadores, situados na sua maioria no norte da europa.

Relativamente aos custos com a energia a situação já não é a mesma, dado que existe uma grande alteração dos valores indicativos de 59 % para a energia eléctrica e 41 % para a energia térmica, tendo o COPC apresentado custos com a energia eléctrica de 45 % e dos restantes 55 % com a energia térmica.

No que diz respeito ao consumo de energia por unidade de área existem também valores indicadores que se manifestam através do uso entre boas e razoáveis praticas. Assim, o consumo médio anual de energia térmica por unidade de área situa-se entre os 573 e os 1336 kWh/m² e o valor obtido por este trabalho foi de 448 kWh/m², este valor foi utilizando as áreas úteis dos 3 pisos utilizáveis, se tivéssemos tido em conta apenas a área do piso onde se situa a piscina o valor seria de 636 kWh/m². Da mesma forma o consumo de energia eléctrica por unidade de área indicativo situa-se entre os 152 e 258 kWh/m², e o valor calculado foi de 169 kWh/m² para os 3 pisos e 221 kWh/m² para o piso da piscina.

No caso concreto e de um estudo efectuado na Grécia, onde é ainda especificado o valor de 1094,5 kWh/m² referente ao consumo total de energia por área da superfície da piscina, encontramos para o COPC um valor de 2541,45 kWh/m², o que poderá justificar-se sabendo que a área total do edifício é bastante superior ao normal, e sobretudo ao seu pé direito bastante grande, que provoca um volume também ele muito superior ao normal.

Foi ainda calculado e neste caso sem se terem dados de comparação, mas por perceber que pode ser interessante para futuras análises, um valor do custo de energia por unidade de área, assim foram obtidos para o nosso caso os valores anuais de 22,51 €/m² de custo de energia eléctrica, e de 27,30 €/m² para o custo de energia térmica.

Outros dois parâmetros bastante interessantes de analisar e que podem ajudar a promover deliberações e ajustes quanto ao preço de utilização da piscina, dos quais não existiam também indicadores, são o consumo total de ambas as energias por utente que se cifrou em 23,24 kWh/utente e o seu correspondente custo situado em 1,88 €/utente.

Relativamente às estimativas dos consumos energéticos, no que diz respeito à energia eléctrica facilmente detectamos que a parte afecta aos equipamentos é bastante significativa, sendo que a maioria dos equipamentos trabalham diariamente no máximo a 95% durante o período em que as piscinas estão abertas, e globalmente o seu rendimento será de 72%. Atendendo ainda aos registos, importa salientar que uma média diária de 2979 kWh/dia de consumo de electricidade parece ser um valor bastante aceitável.

No que concerne à energia térmica referir que foi a mais complicada de analisar dado terem de ser estabelecidas várias aproximações, no entanto salientar que a energia média diária gasta através das várias perdas, renovações de água e seu aquecimento apenas com as piscinas é aproximadamente de 6134 kWh, que representam cerca de 43 %. Um cálculo semelhante resultou na contabilização de energia gasta com o aquecimento das águas quentes sanitárias de 948 kWh, representando assim cerca de 7 %. A energia gasta com a ventilação e aquecimento do ar ambiente da piscina, não foi calculado no entanto deve representar os restantes 50 %.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi feito o levantamento e estudo dos consumos de energia eléctrica e energia térmica sob a forma de gás natural, tendo sido posteriormente calculados os valores de consumo médio por área e por utente das respectivas energias. O COPC apresenta valores anuais totais de consumo de energia eléctrica de 1188 MWh e energia térmica de 2739 MWh. No que diz respeito ao valor médio de consumo de energia total por área obtivemos 517 kWh/m², que revelam situar-se bem de acordo e até um pouco abaixo dos indicadores estudados previamente.

Foram também calculados os custos com a energia, mas neste campo os valores encontrados distanciam-se daquilo que são os valores de *benchmarking*, isto é temos gastos com energia térmica de 55 % bastante superiores aos 41 % que seriam espectáveis. No entanto, esta análise carece de saber se os valores específicos do custo de energia se situam na mesma ordem de grandeza dos nossos, pois se os valores de referência forem de um país nórdico, é possível que o preço do gás natural seja inferior, causando assim interferência nos valores obtidos.

Um dado de superior interesse que não dispunha de nenhum indicador, nem é referenciado em nenhum estudo, é o do custo específico por utente. Este valor poderá ser bastante útil para uma análise aprofundada sobre o tarifário aplicável no COPC, neste campo foi obtido um registo em termos energéticos de 23,24 kWh/utente ao que corresponde 1,88 €/utente.

Na metodologia aplicada à análise energética de equipamentos verificou-se que estes em termos eléctricos trabalham com um rendimento global de cerca de 72 %, havendo consumos diários na ordem dos 2979 kWh.

De forma idêntica foram calculadas as energias térmicas de 948 kWh para o aquecimento de AQS, e de 6134 kWh com as perdas na água da piscina, valor este que é bastante significativo.

5.1. Possíveis soluções a adoptar

Mesmo não sendo um tema ainda muito abordado no panorama nacional foi feita uma vasta pesquisa, onde através da análise e leitura de vários estudos internacionais, foram sinalizadas algumas medidas de possíveis soluções, que naturalmente teriam de ser estudadas ao pormenor, verificando se as mesmas poderiam ser rentáveis.

A implementação de um sistema de cogeração, teria como principal finalidade promover uma ajuda preciosa na produção de energia eléctrica e térmica, tão necessária para o aquecimento tanto do ar ambiente como da água da piscina. Como maior inconveniente teria a disparidade de necessidades nos meses de verão como foi comprovado pelos dados aqui apresentados.

A utilização de uma cobertura na piscina no período de encerramento nocturno, que visa minimizar as perdas de energia com a água da piscina e que apresenta resultados bastante positivos como foi verificado no caso de estudo apresentado do capítulo 2. Aqui a principal dificuldade prender-se-ia com o complicado processo de colocação da cobertura numa piscina olímpica, não sendo instalado de raiz um processo mecânico.

A utilização de painéis solares para o aquecimento de águas quentes sanitárias, levando dessa forma a uma diminuição da energia térmica a utilizar, no entanto a questão das necessidades na época de verão não serem tão acentuadas que é precisamente a altura de maior produção de água quente, poderá ser muito relevante.

5.2. Propostas de trabalho futuro

A utilização de contadores parciais em alguns dos equipamentos também poderia ser uma mais-valia, facilitando assim os cálculos necessários e torná-los mais exactos, viabilizando a mais rápida detecção de eventuais anomalias.

Como foi referenciado no capítulo 2, todos os edifícios irão necessitar de fazer auditorias energéticas e esse seria um trabalho interessante de realizar, no sentido que poderiam dissipar algumas dúvidas remanescentes deste estudo agora feito e confirmar algumas das hipóteses aqui levantadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artuso, P. e Santiangeli, A. (2008), "Energy solutions for sports facilities", *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 3182-3187.
- BRESCU, (1998), *Good practice case study 76*, "Energy efficiency in sports and recreation buildings: swimming pool covers", <http://www.forgeleisure.co.uk/Case%20Study.pdf>, consulta em 14 dez, 2013
- BRESCU, (1998), *Energy Consumption Guide 78*, "Energy use in sports and recreation buildings", <http://targ.co.uk/other/guide78.pdf>, consulta em 28 nov, 2013
- Carbon Trust, (2006), "Sports and leisure: Introducing energy saving opportunities for business", www.thecarbontrush.co.uk/energy, consulta em 5 jan. 2014.
- CIATESA, (2008,) *Compañia Industrial de Aplicaciones Térmicas, SA*, "Climatización de piscinas cubiertas", <http://www.boscoluz.com/pdfs/clima01.pdf>, consulta em 21 dez, 2013
- Daniele Fiaschi, Romeo Bandinelli, Silvia Conti (2012), "A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables", *Applied Energy* 97, 101-114
- Department of the Environment, Transport and the Regions, (2013), "Energy efficiency in sports and recreation buildings: a guide for owners and energy managers", *Guide 51*, http://www.intelmeter.com/output/carbon%20trust/ecg051_recreation%20centres.pdf, consulta em 12 dez. 2013.
- DETREE, (2013), *Good practice guide 219 - Energy efficiency in swimming pools - for centre managers and operators; The Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency, Best Practice programme*; http://www.swimming.org/assets/uploads/library/Energy_Efficiency_in_Swimming_Pools_219.pdf, consulta em 20 de dez. 2013.
- IECU (1994), "Energy Efficient Technologies in Sports Facilities. A Thermie Programme Action", *International Centre for Energy and Environmental Technology European Commission, Directorate General for Energy*.
- Joaquim Ferreira, Manuel Pinheiro (2011), "In search of better energy performance in the Portuguese buildings - The case of the Portuguese regulation", *Energy Policy* 39, 7666-7683
- Krajacic, G., Duic, N., Zmijarevic, Z., Mathiesen, B., Vucinic, A. e Carvalho, M. (2011), "Planning for a 100% independent energy system based on smart energy storage for integration of renewables and CO2 emissions reduction", *Applied Thermal Engineering*, 31, 2073-2083.

-
- Pires, J. (2014), *Novas tecnologias de construção e reabilitação urbana sustentável*, Associação Inova.Gaia, FEUP, Universidade do Porto. [upin.up.pt/docs/6_Unidade_eficiente.pdf](http://pin.up.pt/docs/6_Unidade_eficiente.pdf), consulta em 8 jan. 2014.
- Peng Sun, Jing Yi Wu, Ru Zhu Wang, Yu Xiong Xu (2011), “Analysis of indoor environmental conditions and heat pump energy supply systems in indoor swimming pools”, *Energy and Buildings* 43, 1071-1080.
- Smart Energy Design Assistance Center, 2011, *Energy smart tips for swimming pools*, www.sedac.org, consulta em 21 dez. 2013.
- Sports Council (1993), “The Small Pools Project”, *Environmental Services Monitoring Report*, WS Atkins Consultants, Dot. Ref. No.B6122/B/CD024.
- Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylakto, C., Droutsas, K., Balaras, C.A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G.e Papanikolaou, N., (1998), “Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools”, *Energy and Buildings* 27, 123-135.
- Wolfgang Kampel, Bjørn Aas, Amund Bruland (2013), “Energy-use in Norwegian swimming halls”, *Energy and Buildings* 59, 181-186

ANEXO A – PLANTA DAS INSTALAÇÕES

ANEXO B – DIAGRAMA PROCESSO INSTRUMENTAÇÃO PISCINA OLÍMPICA

ANEXO C – DIAGRAMA DE FLUÍDOS TÉRMICOS

APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS UTILIZADORES

	2010	%	2011	%	2012	%	2013	%
Jan	10077	6,44	13725	8,12	19590	11,56	14870	8,70
Fev	13194	8,43	16807	9,95	17300	10,21	16272	9,53
Mar	19308	12,33	18992	11,24	18100	10,68	19501	11,42
Abr	16725	10,68	16884	9,99	14473	8,54	16632	9,74
Mai	18454	11,79	19010	11,25	16933	9,99	18804	11,01
Jun	14351	9,17	15490	9,17	12001	7,08	14469	8,47
Jul	13722	8,76	9716	5,75	7403	4,37	10751	6,29
Ago	1410	0,90	1349	0,80	1562	0,92	1492	0,87
Set	6889	4,40	5906	3,50	5640	3,33	6390	3,74
Out	14444	9,22	18894	11,18	23095	13,62	19376	11,34
Nov	14967	9,56	17714	10,48	20405	12,04	18265	10,69
Dez	13046	8,33	14499	8,58	13017	7,68	14002	8,20
TOTAL	156586	100	168986	100	169517	100	170823	100,00

APÊNDICE B – CÁLCULOS DAS TAXAS DE EVAPORAÇÃO

$$M_{e \text{ repouco}} = 16 \times S \times (W_e - \phi_a \times W_{as})$$

$$M_{e \text{ agitada}} = 133 \times (W_e - \phi_a \times W_{as}) \times n$$

Piscina 50m		
Taxa de Repouso		114,0 kg/h
Taxa de Evaporação C/Utentes		135,23 kg/h

T Água	26 °C
T Ar	28 °C
Área P50	1250 m ²
Utentes média dia	28

Piscina 25m		
Taxa de Repouso		29,63 kg/h
Taxa de Evaporação C/Utentes		35,14 kg/h

T Água	27 °C
T Ar	29 °C
Área P25	312,5 m ²
Utentes média dia	7

		h/dia	
Total Repouso	143,63	8	1149 kg
Total Utentes	170,37	16	2725,888 kg
Total dia			3874,888 kg

3,875 m³/dia

APÊNDICE C – CÁLCULOS DAS PERDAS DE ENERGIA

$$Q_e = M_e \times c_v$$

Perdas evaporação	Qe P50m	91413 W
	Qe P25m	23755 W

Calor latente evaporação agua	676 Wh/kg
-------------------------------	-----------

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

Perdas renovação água	Qr P50	2156875 Wh	89870 W
	Qr P25	407813 Wh	16992 W

Calor específico água	1,16 Wh/kg.°C
Volume Água P50	2656,25 m ³
Volume Água P25	468,75 m ³
Densidade Água	1000 kg/m ³

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

Perdas Transmissão	Qt P50	25781 W
	Qt P25	7785 W

Coeficiente transmissão	1,5 W/m ² °C
Area Contacto P50	1562,5 m ²
Area Contacto P25	432,5 m ²
T _{ext}	15 °C