



**Universidade de Aveiro** Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Ano 2015

**André Filipe  
Rosa Crespo**

**Projeto de Reabilitação Energética de Piscinas  
Interiores**





**Universidade de Aveiro** Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Ano 2015

**André Filipe  
Rosa Crespo**

## **Projeto de Reabilitação Energética de Piscinas Interiores**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Dr. Luís Tarelo, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ornamento da Universidade de Aveiro e do Dr. Nelson Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro



## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutor Gil D'Orey de Andrade Campos**  
Professor Associado da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (arguente)

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador).



## **Agradecimentos**

Aos meus orientadores, Dr. Nelson Martins e Dr. Luís Tarelho pelo apoio e orientação ao longo de todo o projeto e por todos os contactos e dicas disponibilizadas.

Ao Engenheiro José Almeida da Ventil – Engenharia do Ambiente, pelo tempo despendido e pelo conhecimento partilhado.

À Camara Municipal de Leiria, na pessoa do Engenheiro Micael Sousa, pelo esforço e empenho no projeto e por todos os dados disponibilizados.

Ao sr. Luis Dias do gabinete técnico das piscinas municipais de Leiria por toda a paciência, incentivo e pelas múltiplas visitas ao complexo que me possibilitou.

Aos meus colegas e amigos que de uma maneira ou de outra me apoiaram e me empurraram para a frente.

À minha família, os meus pais e irmão, por tornarem possível, não só este projeto mas todo o meu percurso académico e de vida. Obrigado pelo apoio, motivação e compreensão.

A todos o meu muito obrigado.





## Palavras-chave

Eficiência, piscinas, gestão de energia, climatização, simulação dinâmica, Design Builder, Energy Plus.

## Resumo

O presente relatório de projeto explicita as etapas da elaboração e os resultados obtidos através da realização de um projeto de reabilitação energética de um complexo de piscinas interiores. Esta reabilitação energética tem por objetivo a redução dos custos energéticos através da subtração de consumos supérfluos de energia ou da melhoria da eficiência energética dos equipamentos.

Para alcançar estes objetivos recorreu-se à simulação dinâmica do edifício de modo a estimar múltiplas variáveis energéticas e identificar quais os setores e equipamentos que maior influência têm no consumo energético do complexo em estudo. Para a realização da simulação, recorreu-se a um *software* desenvolvido pelo DOE dos Estados Unidos da América, o *Energy Plus*, com o auxílio do *Design Builder*, que permite a criação e edição do modelo de forma mais fácil e acessível.

Os valores retirados da simulação foram posteriormente comparados com valores reais.

Com o complexo caracterizado e os principais consumidores identificados foi possível iniciar o estudo das medidas de melhoria da eficiência energética. As principais medidas estudadas incidiram na instalação de coberturas isotérmicas nas piscinas para reduzir a perda de energia através da evaporação e da radiação, a introdução de fontes de energia renovável como alternativa energética, substituição de elementos do sistema de iluminação e o aproveitamento de energia dissipada em equipamentos.

Com este estudo, a entidade gestora do complexo encontra-se mais informada e pronta a tomar decisões que influenciem de forma significativa o consumo de energia no complexo, podendo optar pela instalação de alguma das medidas propostas.



**Keywords**

Efficiency, swimming pools, energy management, conditioning, dynamic simulation, Design Builder, Energy Plus..

**Abstract**

The present project report clearly states all milestones and results obtained throughout the duration of a project developed to rehabilitate an indoor swimming pool complex. This rehabilitation has the main objective of reducing costs and enhancing the energetic efficiency as well as reducing all non-necessary energy expenses.

In order to achieve this objectives, dynamic simulation of buildings was used. The simulation allow the evaluation of multiple energetic variables such as energetic needs, solar gains, heat losses by ventilation, among others. The software that was used to simulate was the USA's DOE Energy Plus. To make its use much easier I used Design Builder. This software allows its user to create, in a simple and very intuitive way, a digital model of the building and set its main constructive specifications.

The values obtained from the multiple simulations were then compared to the really consumed energy values.

With the main energy consuming devices and equipment identified it was possible to start prioritizing energy efficiency measure that could be applied to reduce the energy bill.

The main strategies identified were the introduction of a pool cover to reduce the losses in convection and evaporation, the introduction of renewable energy systems has an energetic alternative, replacement of parts of the illumination system and the energetic used of dissipated energy from the biggest energy consumers.

With this study, the managing entity is now more informed and ready to make important energetic changes that may reduce, in a significant way, the cost of energy.



## Índice

1.	Introdução .....	3
1.1.	Enquadramento do projeto .....	3
1.2.	Objetivos .....	7
1.3.	Revisão Bibliográfica .....	7
1.3.1.	Eficiência energética em Portugal .....	8
1.3.1.	Legislação.....	10
1.3.2.	Auditorias energéticas.....	12
1.3.3.	Metodologia para auditoria energética .....	13
1.3.4.	Simulação dinâmica.....	15
1.3.5.	Simulação de piscinas interiores .....	16
1.3.6.	Troca de calor por convecção.....	17
1.3.7.	Troca de calor por condução.....	18
1.3.8.	Troca de calor por radiação.....	18
1.3.9.	Evaporação da água da piscina interior .....	19
1.3.10.	Introdução de nova água ao sistema.....	21
1.3.11.	Ganho de calor com os banhistas.....	21
1.3.12.	Balanço energético .....	22
1.3.13.	Edifícios de piscinas – Manutenção, Operação e Energia .....	22
1.4.	Organização do relatório .....	24
2.	Caso de Estudo .....	29
2.1.	Metodologia com o Design Builder .....	33
2.2.	Metodologia com o Energy Plus .....	39
3.	Resultados da simulação .....	47
3.1.	Comparação dos resultados obtidos com valores faturados .....	52
4.	Medidas de melhoria da eficiência energética .....	57
4.1.	Medidas de redução do consumo de gás natural.....	57
4.1.1.	Cobertura térmica para piscinas .....	57
4.1.1.1.	Cobertura térmica de espuma.....	57
4.1.1.2.	Cobertura térmica de bolhas simples de 400 µm.....	59
4.1.1.3.	Cobertura ultra isotérmica de bolhas 500 µm.....	59
4.1.2.	Ajuste dos setpoints de temperatura.....	59
4.1.3.	Pré-aquecimento da água à entrada da piscina.....	60

4.1.4.	Integração de energias renováveis.....	61
4.1.4.1.	Substituição de caldeiras a gás natural por caldeira a biomassa .....	61
4.1.4.2.	Instalação de painéis solares térmicos .....	63
4.2.	Medidas de redução do consumo de energia elétrica .....	64
4.2.1.	Chiller.....	65
4.2.2.	Equipamentos.....	66
4.2.3.	Iluminação .....	66
4.2.3.1.	Introdução de sistemas de controlo na nave de competição .....	67
4.2.3.1.	Ajuste da calendarização da iluminação.....	68
4.2.3.2.	Substituição de lâmpadas por Vapor de Sódio e LED .....	69
5.	Conclusões e trabalhos futuros .....	75
5.1.	Trabalhos futuros.....	77

## Índice de Figuras

Figura 1:	Consumo mundial de energia por vetor energético .....	3
Figura 2:	Descobertas de depósitos de petróleo e a seu consumo espetável até 2030..	4
Figura 3:	Consumo de energia primária em Portugal, na Europa e no Mundo .....	5
Figura 4:	Contribuição das energias renováveis para o consumo de eletricidade.....	5
Figura 5:	Consumo de energia em Portugal para o ano de 2012.....	6
Figura 6:	Diagrama das medidas previstas no PNAEE 2015 .....	9
Figura 7:	Esquematização das trocas de calor entre uma piscina e a envolvente.....	17
Figura 8:	Temperatura das piscinas em função do seu uso .....	23
Figura 9:	Principais parâmetros de operação de piscinas interiores .....	23
Figura 10:	Localização relativa do complexo em estudo.....	29
Figura 11:	Exportação visual do modelo 3D do complexo .....	30
Figura 12:	Modelo de geometria do complexo (Vista a Sul) .....	34
Figura 13:	Captura de ecrã do separador de atividade no DB .....	36
Figura 14:	Esquematização do sistema AVAC definido para o edifício .....	38
Figura 15:	Introdução de uma piscina interior no IDF Editor do Energy Plus .....	39
Figura 16:	Representação gráfica de um loop e dos elementos que o compõem.....	40
Figura 17:	Calendarização da ocupação das piscinas em DB .....	41
Figura 18:	Consumo de energia por vetor energético numa base mensal .....	47

Figura 19: Custos mensais de energia .....	48
Figura 20: Análise comparativa do consumo energético anual em kWh e Euros.....	48
Figura 21: Consumo total de energia e do consumo dos principais equipamentos.....	49
Figura 22: Diagrama de cargas de bombagem (Junho).....	49
Figura 23: Consumos de eletricidade na iluminação por espaço.....	50
Figura 24: Análise comparativa do consumo de energia .....	51
Figura 25: Distribuição do consumo de energia elétrica por tipo de consumo .....	51
Figura 26: Esquematização dos valores de Tabela 8.....	52
Figura 27: Curva de rendimento do coletor solar SOL 200 da BAXI.....	64
Figura 28: Perfil de carga do chiller .....	66
Figura 29: Análise comparativa dos diferentes tipos de lâmpadas.....	67
Figura 30: Mapas de iluminação para as duas naves do complexo .....	70

### **Índice de Tabelas**

Tabela 1: Fatores de atividade por tipo de piscina .....	20
Tabela 2: Caldeiras instaladas .....	30
Tabela 3: Chiller instalado .....	31
Tabela 4: Unidades de Tratamento de Ar do complexo.....	31
Tabela 5: Elementos construtivos utilizados na simulação dinâmica do edifício .....	34
Tabela 6: Parâmetros de atividade dos diferentes espaços no complexo.....	36
Tabela 7: Principais características do sistema de iluminação por espaço.....	37
Tabela 8: Consumos de energia no complexo para um ano de simulação.....	52
Tabela 9: Valores de energia faturados.....	53
Tabela 10: Análise das poupanças conseguidas na caldeira e no chiller com a aplicação da cobertura .....	58
Tabela 11: Valores mensais usados para o cálculo da energia térmica produzida.....	64
Tabela 12: Componentes principais do sistema KNX .....	68

## **Siglas e abreviaturas**

ARCE - Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CIE – Consumidor Intensivo de Energia

DB – Design Builder

DOE – Department of Energy

E+ - Energy Plus

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

EUA – Estados Unidos da América

FER – Fonte de Energia Renovável

IEA – International Energy Agency

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PREn - Plano de Racionalização dos Consumos de Energia

RCCTE - Regulamento das Característica do Comportamento Térmico dos Edifícios

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

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior

SGCIE - Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo



Capítulo 1

---

Introdução



## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento do projeto

A energia é um dos pilares da subsistência humana. Está presente em tudo o que produzimos, em todos os serviços de que usufruímos, em todos os pequenos luxos a que nos entregamos e em todos os processos que de uma forma mais visível ou mais discreta fazem parte do nosso quotidiano em sociedade.

O consumo de energia tem vindo a sofrer várias alterações com o passar dos anos e das décadas. Antes da revolução industrial esse consumo era baseado na queima de madeira e outros resíduos florestais que estavam disponíveis em abundância e de fácil acesso. No entanto, com a descoberta das reservas de carvão e do petróleo e gás natural todo este panorama se alterou drasticamente (Berman & Rembrandt 2010).

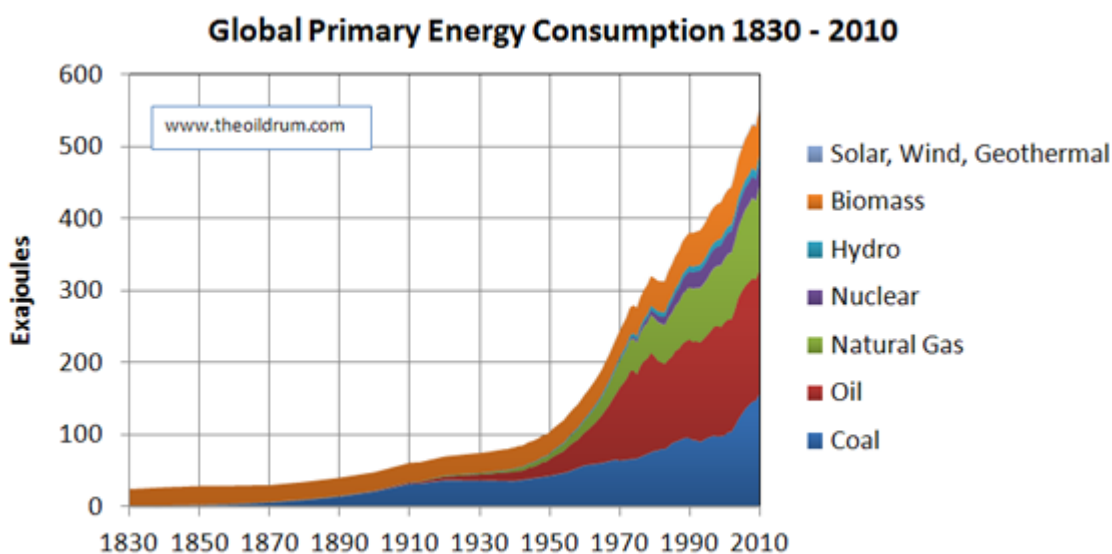


Figura 1: Consumo mundial de energia por vetor energético

O aumento do consumo de recursos energéticos que se seguiu à revolução industrial foi principalmente à base do consumo de carvão e, mais tarde, do petróleo e do gás natural, todos combustíveis fósseis e não renováveis. Só muito recentemente, com o despertar da consciência ecológica e a mediatização, das alterações climáticas, se começou a investir tempo e recursos para aproveitar as fontes de energia renovável e promover uma sustentabilidade no consumo dos recursos do planeta.

O consumo desenfreado de combustíveis derivados do petróleo leva a uma exploração cada vez mais intensa deste mesmo recurso finito e não-renovável. A IEA estima que a descoberta de novas reservas de petróleo, que já se encontra hoje abaixo dos dez milhões de barris por ano, combinada com a procura crescente do mesmo, resulte na sua escassez e um consequente *crash* económico nos países produtores que pode alastrar a todo o globo.

A diminuição das reservas de petróleo, bem como o aumento dos consumos de energia, nas suas mais variadas formas ao longo dos últimos anos e décadas, tem levado a um

aumento do custo da energia, tanto para os produtores e gestores de redes de distribuição, como para o consumidor final.

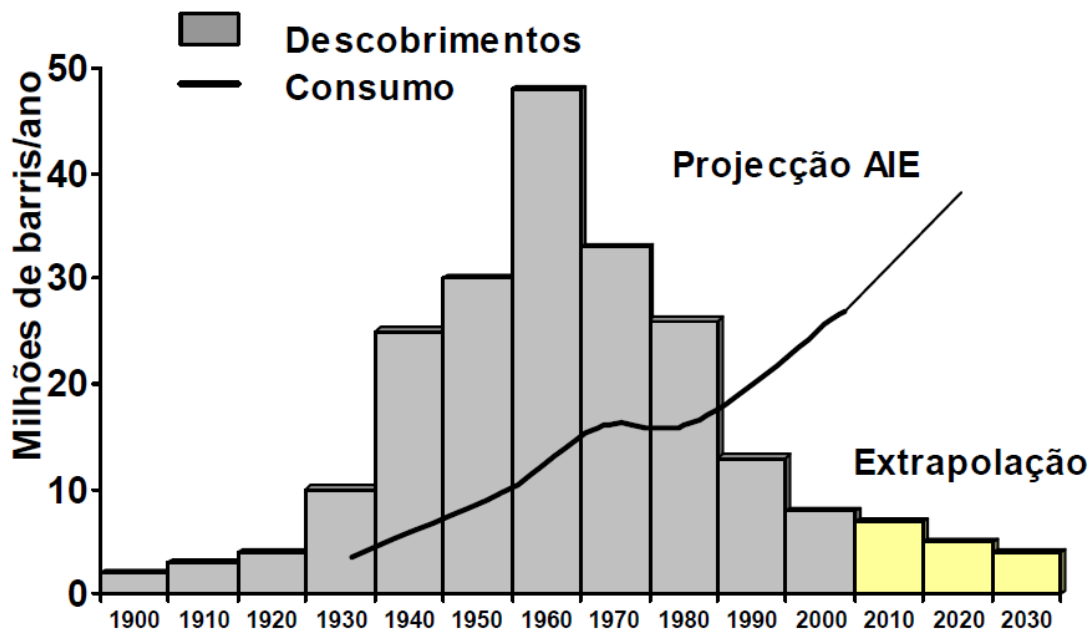


Figura 2: Descobertas de depósitos de petróleo e a seu consumo espetável até 2030

Dados da organização “The World Bank” mostram que o consumo de energia per capita em Portugal, apesar de se encontrar abaixo do consumo médio europeu, tem vindo a subir desde a década de noventa do século vinte até muito recentemente. Esta recente descida justifica-se com as dificuldades económicas que o país enfrenta, que têm levado a uma diminuição do crescimento e ao fecho de muitas indústrias transformadoras e de exploração (TheWorldBank 2015).

No entanto, como é visível na Figura 3, a média mundial não acompanhou esta descida do consumo de energia, principalmente motivada pelas crescentes necessidades de energia por parte de países em desenvolvimento rápido como a China.

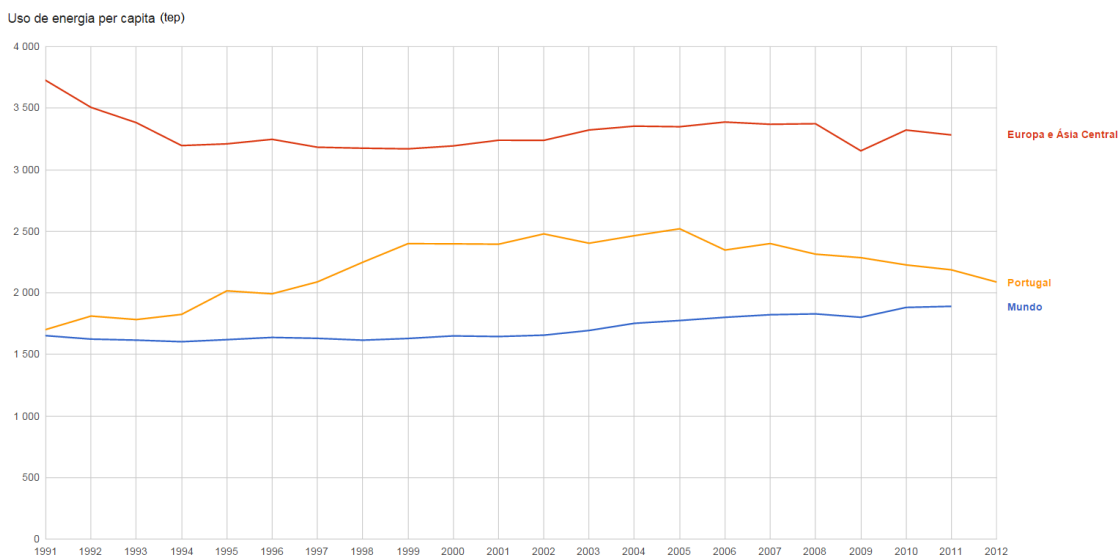


Figura 3: Consumo de energia primária em Portugal, na Europa e no Mundo

A procura incessante de recursos fósseis que possam responder às crescentes demandas de energia levam, cada vez mais, a conflitos armados e disputas políticas, que causam sofrimento e até a morte dos povos.

Apesar dos relatórios mais críticos que indicam que a extração de petróleo entrará em recessão em 2050, a experiência mostra que as reservas tendem a ser mais vastas do que se estima.

A utilização crescente de energias renováveis, apesar de muito louvável e interessante do ponto de vista do mix energético, nunca poderá representar 100% da energia consumida. A natureza imprevisível da generalidade das fontes de energia renovável, bem como a dificuldade de armazenamento, faz com que a energia renovável não esteja disponível sempre que ela seja necessária.

A Figura 4 demonstra a evolução, ao longo dos últimos anos, da incorporação de energias renováveis no consumo final de energia no país (INE 2015).

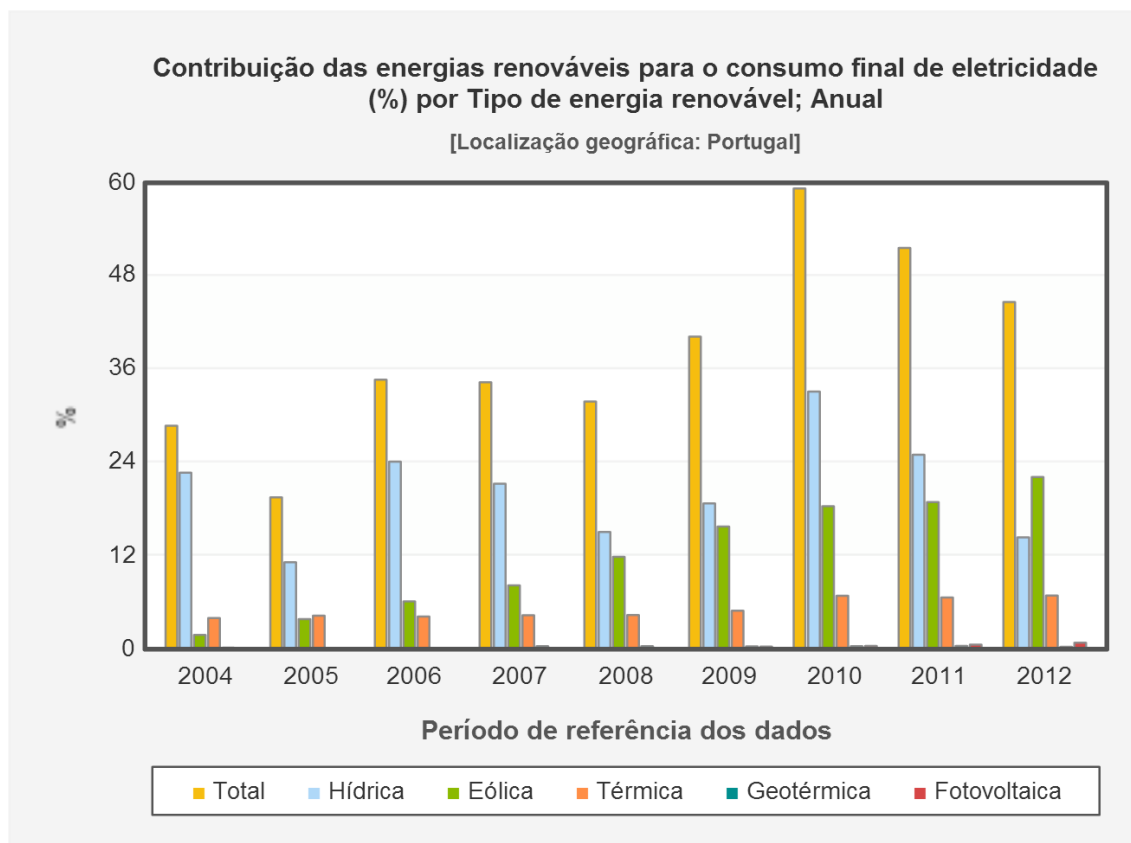


Figura 4: Contribuição das energias renováveis para o consumo de eletricidade

Portugal encontra-se numa situação muito favorável no que toca ao aproveitamento de fontes de energia renovável e tem um forte investimento neste tipo de energia, no entanto, como é visível na Figura 4, as energias renováveis representam apenas cerca de 40% do *mix* energético nacional, o que deixa o nosso país com a necessidade de importar 60% da energia que consome, na sua maioria produzida a partir de energias fósseis.

Perante este panorama energético, no qual a dependência de fontes de energia fóssil parece, de momento, inevitável, tentam-se arranjar formas de diminuir o seu consumo excessivo.

Um método de poupança de energia particularmente eficaz é o investimento na eficiência energética. A IEA define a eficiência energética como sendo uma ferramenta de gestão e limitação do aumento dos consumos de energia através da utilização de equipamentos que produzam o mesmo trabalho útil com menos energia.

Outra ferramenta muito útil na redução dos consumos é a utilização racional de energia. Muitas vezes confundida com eficiência energética, o uso racional da energia assenta em medidas de minimização dos gastos supérfluos de energia e não de melhoria do rendimento dos equipamentos instalados. As medidas de uso racional de energia são muitas vezes as mais baratas e mais fáceis de implementar, mas também as que trazem melhores resultados.

A ideia de aplicar os conceitos de eficiência energética e de utilização racional da energia à indústria e a edifícios de serviços começou-se a propagar naturalmente devido à necessidade de contenção de despesas por parte das empresas. Os setores da indústria e dos edifícios de serviços representavam em 2012 mais de 40% da energia consumida em Portugal (INE 2015), como é visível no gráfico da Figura 5, pelo que mesmo pequenas reduções percentuais de consumo de energia podem levar a poupanças consideráveis em termos de custos e de recursos.

O setor dos edifícios de serviços é um dos setores onde se estima que possa existir um grande nível de poupança, pois cerca de metade da energia por estes consumida tem por base a iluminação e climatização, frequentemente pouco eficientes e desatualizadas.

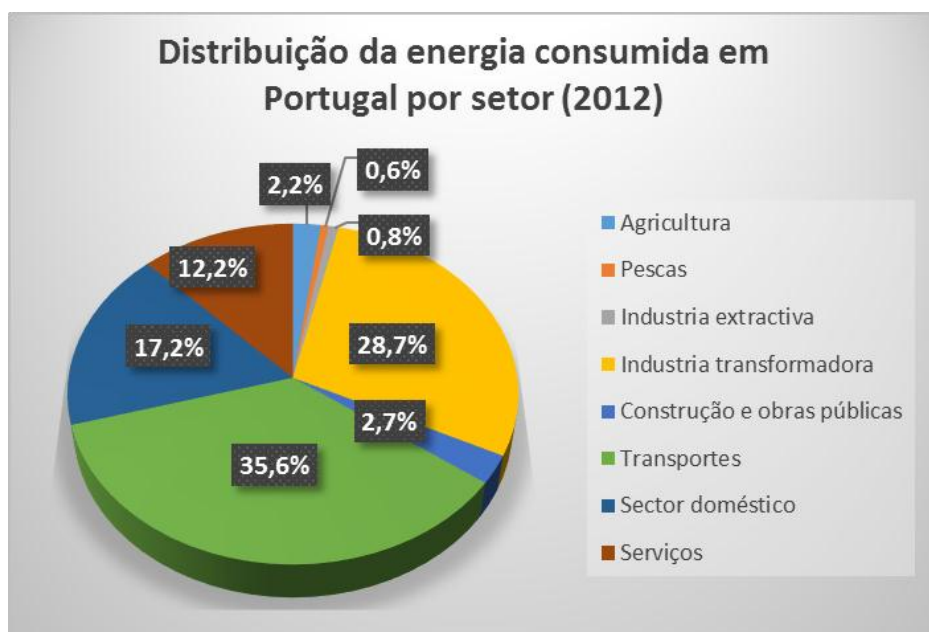


Figura 5: Consumo de energia em Portugal para o ano de 2012

Este projeto vai incidir sobre um edifício de serviços muito particular, um complexo de piscinas. É um edifício peculiar pelos seus elevados consumos e pela enorme carga latente que uma massa de água tão grande representa.

Apesar da complexidade e rigor dos parâmetros operativos de piscinas interiores, é possível obter enormes poupanças com a aplicação de medidas de melhoria da eficiência no complexo.

### 1.2. Objetivos

Este projeto tem como objetivo avaliar, através de simulação dinâmica, o desempenho atual do edifício em termos energéticos e identificar possíveis medidas de melhoria da eficiência energética do complexo das piscinas municipais de Leiria.

Pretende-se avaliar os custos e o período de retorno dos investimentos propostos para permitir uma decisão mais fácil e informada por parte das entidades gestoras do complexo.

Para atingir estes objetivos principais existem alguns objetivos secundários que necessitam de ser alcançados, entre os quais se destacam:

- Criar de um modelo computacional na plataforma *Design Builder*, que permite a simulação dinâmica e consequente obtenção de valores para múltiplas variáveis energéticas através do *software EnergyPlus*;
- Identificar medidas de eficiência energética com base no consumo relativo de cada vetor energético, ou seja, tipo de energia e do tipo de utilização da energia, bem como do retorno esperado;
- Avaliar as medidas pensadas e análise económica das mesmas;
- Propor pacotes de medidas de eficiência, consoante o nível de investimento necessário.

Numa perspetiva menos académica e mais próxima do trabalho que é esperado de um engenheiro, este projeto tem como objetivo diminuir os custos relacionados com as despesas energéticas para a entidade gestora do complexo das piscinas e, consequentemente, despertar uma consciência para a necessidade da formação e contratação de pessoal especializado nas áreas da gestão de energia e eficiência energética.

### 1.3. Revisão Bibliográfica

A realização de projetos de eficiência energética é cada vez mais comum nos dias de hoje e existem muitos métodos para fazer avaliações do desempenho energético de um edifício. Um projeto de melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços pode ser feito recorrendo apenas aos valores faturados pelo fornecedor de energia, sabendo o peso relativo de cada equipamento no consumo total, ou então pode ser feita com um nível de precisão e exatidão muito superior recorrendo a equipamentos de medição.

Uma auditoria energética pode ser definida como um processo para avaliar onde uma instalação consumidora, indústria ou edifício, utiliza a energia e para identificar oportunidades de redução dos consumos (Thumann & Younger 2007). Este conceito de auditoria energética, bem como todos os processos anexos ao próprio conceito, surgiram com o aumento da consciência ambiental e energética.

A identificação de edifícios de piscinas interiores como sendo edifícios de particular carga energética e nos quais seria possível uma grande poupança de recursos e de dinheiro, levou a uma crescente procura por soluções mais eficientes para o aquecimento da água e climatização do espaço.

Para além do aumento da consciencialização que advém de toda uma recente mediatização dos impactes ambientais, também o aparecimento de nova e rigorosa legislação a nível europeu fez crescer o interesse na realização de projetos que resultem em significantes poupanças de energia.

Ao longo deste capítulo será feita uma revisão das práticas comuns na realização de projetos deste género e da utilização de simulação dinâmica como ferramenta de gestão de energia, bem como da legislação e diretivas aplicáveis.

### **1.3.1. Eficiência energética em Portugal**

A ENE 2020 estabelece metas rigorosas para a redução do consumo de energia e para a incorporação de energias renováveis no *mix* energético até 2020 para o nosso país. Espera-se que até ao final do período de ação desta estratégia, o país tenha reduzido o consumo de energia primária, por aumento da eficiência energética, em 20% (Silva 2010).

Para além da eficiência energética, a ENE 2020 também impõe metas para a utilização de FER, colocando como meta o consumo de 31% de energia proveniente de FER no total de energia final consumida e 10% de utilização de FER nos transportes. É também especificado como meta para as renováveis, a utilização de 60% de FER no consumo de eletricidade em 2020.

De acordo com o Eurostat, a dependência energética de Portugal em 2006 era de 83,1%, sendo por isso o sexto país da União Europeia a vinte sete países com maior dependência energética (Silva 2009). Tendo em conta esta dependência dos recursos externos e os recursos endógenos existentes no país concluiu-se que a o país sofria de uma elevada ineficiência energética, principalmente na indústria e nos edifícios.

Na sequência da reunião do conselho de ministros de 19 de Agosto de 2004 surgiu o “Programa para reduzir a dependência de Portugal face ao petróleo” com o intuito de combater a ineficiência energética que assola o país. Este programa vem ao encontro do que mais tarde veio a ser estipulado na Diretiva nº 2006/32/CE que obriga todos os estados-membros a reduzir os seus consumos de energia em pelo menos 1% até 2016.

A tradução desta diretiva em direito nacional resultou no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).



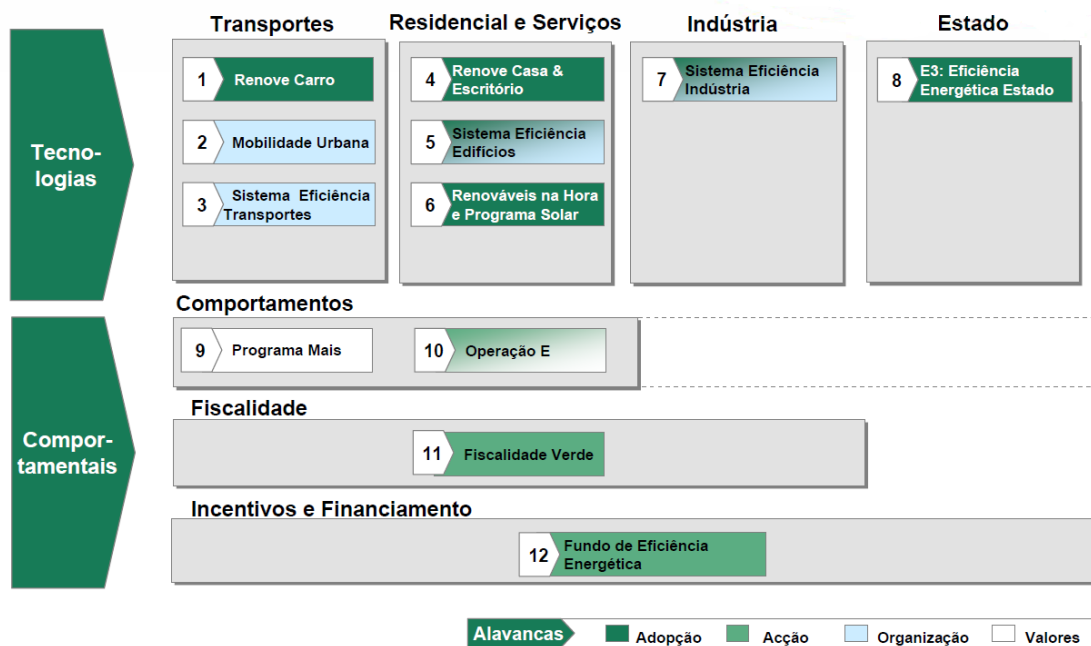


Figura 6: Diagrama das medidas previstas no PNAEE 2015

A Figura 6 demonstra como se encontra organizado o PNAEE e quais os principais pontos de foque do plano, bem como os dois principais tipos de medida a aplicar, comportamentais e tecnológicas.

O PNAEE é composto de vários subprogramas que promovem a melhoria da eficiência energética em setores muito específicos como os transportes, a habitação e o estado, com o objetivo de estimular a mudança através de incentivos financeiros e fiscais para quem tome medidas para minorar os consumos de energia e promover uma maior competitividade do país.

Planos como o “Renove Carro” e o “Renove Casa & Escritório” incentivam a troca de veículo e de casa ou escritório estimulando assim a economia e promovendo a melhoria da eficiência. Tem-se por objetivo que o parque automóvel nacional seja renovado de modo a que a percentagem de viaturas com mais de 10 anos, no final de 2015, represente-se menos de 30% do parque automóvel nacional.

O programa “Renováveis na Hora” e “Programa Solar” promovem o investimento em energias renováveis endógenas que permitem uma maior independência energética e uma melhor integração de renováveis no *mix* energético sem obrigar a investimento excessivo do estado.

Noutra vertente, o PNAEE promove medidas de mudança comportamental como a muito falada “Fiscalidade Verde”. Esta pretende penalizar fiscalmente atividades e consumos que não contribuam para as metas do PNAEE incentivando as restantes. Esta medida foi mediatizada na aplicação de taxas na compra de sacos de plástico de espessura reduzida e em impostos adicionais no combustível, mas também é responsável pelos incentivos na compra de eletrodomésticos de classe A+ ou superior e na compra ou aluguer de casa com classe energética A ou A+.

Se o PNAEE for bem-sucedido, no final de 2015, a intensidade energética deve ser reduzida em 5%, as emissões de CO<sub>2</sub> devem ser reduzidas em 10%, a penetração de equipamentos eficientes (Classe A ou superior) deve ser superior a 71% e globalmente a eficiência energética do país deve resultar numa poupança específica elétrica superior a 4500 GWh.

Este projeto vai ao encontro do PNAEE, pois pretende promover a eficiência dos equipamentos utilizados na climatização das naves e do restante complexo das piscinas, bem como uma redução generalizada dos consumos energéticos.

### **1.3.1. Legislação**

O sistema nacional de certificação energética de edifícios e qualidade do ar interior (SCE) foi introduzido pela primeira vez em Portugal através do Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril. Este Decreto-Lei transpunha para direito nacional a diretiva comunitária nº 2002/91/CE relativo ao desempenho energético dos edifícios. Esta diretiva estabelece que todos os estados membros da União Europeia têm que definir um sistema de certificação energética de modo a informar o cidadão sobre a qualidade térmica e energética dos edifícios (Camelo et al. 2006).

Quando transposta, a diretiva da EU, gerou três Decretos-Lei, o SCE, o RSECE e o RCCTE. O SCE correspondia ao DL 78/2006 e foi o documento que definiu a existência de um sistema nacional de certificação energética bem como as regras fundamentais do seu funcionamento e aplicação. O Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização em Edifícios (RSECE) estabelecia as regulamentações a aplicar a edifícios de serviços com uma grande capacidade instalada para a climatização. O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) correspondia ao DL 80/2006 e estabelecia as características construtivas essenciais para edifícios novos ou grandes remodelações com baixas potências de climatização, ou mesmo sem qualquer climatização.

Desde então estes decretos-lei foram revistos e revogados pelo DL 118/2013 de 13 de Novembro. Este decreto-lei vem transpor para direito nacional a nova diretiva europeia sobre o comportamento térmico dos edifícios que estabelece novas metas de acordo com a política europeia para 2020, acordada pelos Estados-Membros da EU.

O DL 118/2013 compacta num só diploma o Sistema de Certificação Energética dos 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), tornando assim o SCE num sistema integrado, mais coeso e aplicável (Emprego 2013).

Antigamente, o que distinguia que regulamento seria utilizado na certificação de um edifício era a potência de climatização instalada, agora é o tipo de utilização de um edifício. Isto permite uma melhor alocação dos recursos técnicos das entidades responsáveis pela aplicação e fiscalização do SCE, a ADENE e a DGEG.

O REH incide nas características térmicas e na eficiência dos sistemas energéticos das habitações. Este é o regulamento aplicado a todos os edifícios residenciais com exceção dos edifícios com menos de 50m<sup>2</sup> e habitações em ruínas, independentemente da existência ou não de sistemas de climatização e da sua potência.

Já o RECS incide maioritariamente sobre a instalação, a condução e a manutenção dos sistemas técnicos em edifícios de serviços. Dos edifícios de serviços, estão isentos de certificação pelo SCE, todos os edifícios destinados na sua totalidade a atividades industriais, agrícolas e pecuárias, culto religioso, armazéns, estacionamentos, oficinas, edifícios de comércio e outros com utilizações semelhantes.

Para ambos os regulamentos são definidos os princípios gerais e especificações para edifícios novos e grandes remodelações.

No ponto 4 do artigo 6º é explicitado que é objeto de certificação todo o edifício de serviços que disponha de um sistema de climatização centralizado para parte ou totalidade das suas frações, estando assim dispensadas de certificação as frações. Isto significa que, no caso do complexo municipal de piscinas, onde o sistema de climatização é centralizado e aplicado à maioria do edifício, e conseqüentemente está sujeito a certificação na sua totalidade e não em frações autónomas.

Os artigos 34 a 37 do RECS impõem a certificação dos quatro pilares fundamentais do sistema de certificação energética em edifícios de comércio e serviços que são o comportamento térmico, a eficiência dos sistemas técnicos, a ventilação e qualidade do ar interior e a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

Na subsecção III do RECS são especificados os requisitos, para os quatro pontos-chave acima mencionados para edifícios já existentes.

O artigo 46º legisla que para edifícios já existentes, como é o caso do edifício das piscinas municipais, não existem quaisquer requisitos de conforto térmico.

No que toca à eficiência de sistemas técnicos, o artigo 47º também não tem requisitos específicos, no entanto já impõe uma avaliação periódica com vista à identificação de oportunidades de melhoria da eficiência dos equipamentos, nomeadamente aquando da substituição de um equipamento em fim de vida.

Os requisitos de qualidade do ar interior e ventilação nos edifícios de serviços são estabelecidos, de acordo com o artigo 48º do RECS, na portaria nº 353-A/2013 de 4 de Dezembro. Nesta portaria são estabelecidos os limites, os métodos de cálculo e de medição de poluentes no ar interior. Estes limites são estabelecidos consoante vários fatores que influenciam a necessidade de ar novo num edifício, entre estes o tipo de utilização, a existência de equipamentos, os materiais de construção aplicados, o método de insuflação de ar novo, entre outros. Os métodos de determinação do caudal de ar novo e dos limites dos poluentes no ar interior são descritos em profundidade na portaria acima mencionada.

O novo regulamento impõe exigências no que toca à manutenção dos equipamentos, promovendo assim uma manutenção das condições nas quais é emitido o certificado ao longo do seu período de validade. Este é um dos pontos onde o antigo RSECE falhava, pois muitos edifícios eram preparados com antecedência para auditoria na qual obtinham aprovação, mas não existia uma obrigação da manutenção das condições, o que resultava numa rápida degradação da qualidade do ar interior e do conforto dos utentes do edifício.

O produto final da certificação energética e de qualidade do ar interior, imposta pelo DL 118/2013, é um certificado energético que classifica, de acordo com os parâmetros definidos, o edifício em classes energéticas. A classe de um edifício irá depois ter influência no seu valor comercial.

### **1.3.2. Auditorias energéticas**

No setor dos edifícios, com maior relevância nos edifícios de serviços, a gestão de energia tem um papel preponderante, quer devido aos custos associados aos consumos existentes, quer devido aos impactos ambientais desses consumos (Fial 2011).

Para poder diminuir os consumos de energia e melhorar o desempenho energético é indispensável o controlo rigoroso dos consumos de energia por parte dos equipamentos. Somente sabendo quanto se consome e quanto se poderia consumir, é possível estimar a poupança que poderia ser alcançada.

Atualmente, na indústria, é cada vez mais comum a utilização de sensores que medem o consumo energético, a temperatura do equipamento, entre outros parâmetros que permitem a um auditor avaliar o desempenho dos equipamentos e saber com antecedência se existe algum problema com os mesmos. A monitorização permite assim a redução dos consumos de energia, a manutenção mais eficaz da maquinaria e o uso mais racional da energia e dos recursos disponíveis a uma empresa.

No setor dos edifícios o mesmo cuidado não se verifica. A aplicação de sensores nos sistemas de climatização ainda é considerada um custo e não um investimento com retorno garantido.

É ainda raro o administrador de edifícios de serviços que tem uma consciência energética e ambiental. A fatura da energia é considerado um custo fixo sem que seja tomada qualquer medida para a diminuição dos consumos e rentabilização da energia consumida. A maioria dos sistemas de climatização é instalada aquando da construção do edifício e mantêm-se durante várias décadas, frequentemente com deficiente manutenção, para que continuem a funcionar muito após o seu período de vida ter expirado.

A auditoria energética surge também como uma obrigação legal para todas as instalações consumidoras intensivas de energia, abrangidas pelo SGCIE (Inovação 2008).

Os edifícios cujo consumo de energia seja superior a 500 tep/ano são considerados CIE e como tal são obrigados à realização de auditorias energéticas periódicas. Estes edifícios estão sujeitos às normas do SGCIE e são obrigados a elaborar e cumprir um PReN, que tem que estar implementado três anos após a sua elaboração. Após a aprovação do PReN pelas entidades reguladoras do SGCIE, a ADENE e a DGEG, o PReN passa a denominar-se ARCE. Se este não for implementado, a empresa ou gerente do edifício auditado será sujeito às penalizações acordadas.

Outros edifícios que não sejam classificados como CIE, podem também registar-se na plataforma do SGCIE para assim tentarem reduzir o seu consumo de energia e melhorarem o seu desempenho energético.

É responsabilidade de um gestor de energia elucidar e sensibilizar o administrador do edifício para as questões energéticas e provar que o investimento feito em eficiência energética é facilmente recuperável a curto ou médio prazo, existindo um efetivo retorno do investimento. A simulação dinâmica é uma das ferramentas do gestor de energia para demonstrar de uma forma visual e intuitiva, através de gráficos e tabelas, o efeito aproximado das medidas propostas no desempenho térmico, energético e ambiental do edifício.

### **1.3.3. Metodologia para auditoria energética**

A realização de uma auditoria energética tem que passar por determinadas tarefas a desenvolver, segundo uma sequência restrita. Vão desde a análise detalhada das faturas energéticas dos anos que antecedem a realização da auditoria, passando pela análise física detalhada aos equipamentos e sistemas geradores de energia térmica e elétrica existentes, das suas condições de operação e controlo, assim como dos cuidados de manutenção e o seu tempo de operação, até à fase final de estudo, no qual são indicadas as medidas a tomar para a redução dos consumos em áreas específicas (Coelho 2000).

As auditorias energéticas podem ser simples ou altamente sofisticadas, dependendo da instalação a auditar, do orçamento disponível e das técnicas usadas no processo de avaliação. Podem distinguir-se quatro tipos de auditorias (Fial 2011):

- A auditoria simples que consiste tipicamente numa pequena visita à instalação para inspeção visual de cada um dos sistemas de energia usados;
- Uma análise de custo-utilidade que inclui uma avaliação cuidadosa dos indicadores de consumo de energia e dos custos operacionais da instalação;
- A auditoria energética padrão que consiste numa análise energética abrangente aos sistemas de energia da instalação;
- Auditoria energética detalhada inclui o uso de instrumentos de medição dos consumos de energia para toda a instalação e/ou para alguns sistemas de energia existentes na instalação.

Duma maneira geral, podem-se considerar as seguintes fases de realização de uma auditoria energética padrão: (Fial 2011)

- Preparação da intervenção;

- Intervenção em campo;
- Análise e tratamento da informação;
- Elaboração do relatório da auditoria.

Na preparação da intervenção procede-se a uma análise dos documentos fornecidos pela empresa ou entidade à equipa auditora. Destes dados constam faturas energéticas, plantas, planos de construção e manutenção e descrição dos equipamentos.

Os diferentes tipos de auditoria, acima mencionados, divergem uns dos outros, principalmente na fase da intervenção de campo. Numa auditoria simples o auditor energético identifica os equipamentos visualmente através das respetivas chapas de características e retira o máximo de dados possíveis sobre a instalação e edifício sem recorrer ao uso de equipamentos de medida. Numa auditoria mais complexa e detalhada, o auditor já tem que, durante a intervenção de campo, efetuar medições precisas dos consumos de energia de cada equipamento ao longo de um período de tempo para poder realizar os cálculos e modelos informáticos com o máximo de fiabilidade possível.

Na análise dos dados obtidos nas fases anteriores utilizam-se *softwares* para analisar os consumos de energia na instalação. É nesta fase que entra a simulação dinâmica como ferramenta indispensável no desenvolvimento de modelos energéticos que permitem calcular múltiplas variáveis energéticas e estimar o impacte de possíveis medidas de melhoria da eficiência energética.

Os outputs da simulação dinâmica devem explicitar um conjunto de indicadores como:

- Custos e consumos globais de energia por vetor energético ao longo do ano;
- Desagregação dos consumos por equipamento;
- Desagregação dos consumos por setor;
- Balanços energéticos anuais.

Os valores obtidos através de simulação dinâmica necessitam de ser confirmados com base nos valores obtidos na intervenção de campo detalhada ou através das faturas energéticas disponibilizadas pela entidade gestora do edifício.

Por fim, a equipa auditora elabora um relatório de auditoria destinado à entidade gestora. Este relatório deverá apresentar, ao gestor da empresa e ao gestor de energia, toda a informação (recolhida e tratada) de uma forma organizada e coerente. Na elaboração deste documento deverá ter-se em consideração que a auditoria energética constitui uma ferramenta essencial para o começo de um processo contínuo de gestão e monitorização da energia na empresa auditada.

Este relatório deve incluir:

- Faturas de energia da empresa para o ano de referência bem como a caracterização dos principais sistemas energéticos;
- Resultados das medições e simulações realizadas por vetor energético, por setor e por equipamento;

- Análise crítica dos consumos;
- Análise detalhada das medidas de eficiência propostas pela equipa auditora;
- Análise de viabilidade económica para as medidas propostas.

#### 1.3.4. Simulação dinâmica

A simulação dinâmica de edifícios é uma ferramenta utilizada para determinar, com grande precisão, o comportamento térmico de um edifício ao longo de um período de tempo, para um clima definido, para que seja possível uma tomada de decisão mais coerente e informada sobre os materiais a utilizar, os sistemas de AVAC e iluminação a implementar, entre outros parâmetros que influenciam o comportamento térmico do edifício (Wood et al. 2009).

A modulação energética de edifícios como a conhecemos aparece com a generalização do uso de computadores nos anos 60 do século XX, o que levou a um aumento da eficiência energética na construção de edifícios e a um aumento dos padrões de construção (Royapoor & Roskilly 2015). Os modelos criados na altura ainda servem como base a alguns cálculos feitos atualmente, no entanto o nível de precisão tem vindo a aumentar sendo hoje modelos com precisões incríveis e extremamente fiáveis desde que bem aplicados e calibrados.

Os modelos de simulação dinâmica foram inicialmente aplicados a edifícios já existentes para que através de medições de parâmetros energéticos no local, se pudessem calibrar os modelos e assim passar a aplicá-los de um modo mais preventivo, evitando más práticas energéticas na construção de novos edifícios.

Hoje já existem muito *softwares*, disponíveis para compra e *freewares*, que realizam simulação dinâmica com uma fiabilidade e precisão enormes sem que estes necessitem de ser calibrados pelo utilizador, o que facilita o acesso das empresas de construção civil e de agências de energia à simulação dinâmica e aos benefícios que esta traz ao estudo do comportamento térmico de edifícios. A lista dos *softwares* de simulação dinâmica aplicados a edifícios é imensa e composta por alguns dos maiores nomes de empresas e organizações interessadas em projetos de energia e engenharia como a *Autodesk* e o *DOE* dos EUA.

Apesar da lista de *softwares* que realizam simulação dinâmica em edifícios ser bastante extensa, existem muito poucos que disponibilizem um modelo para a simulação de piscinas. Isto deve-se ao fato da carga latente que uma piscina representa ser extremamente difícil de simular. A atmosfera de uma nave de uma piscina tem que ter condições muito específicas para que haja condições de conforto para os seus utilizadores, e mesmo estas condições variam de utilizador para utilizador. As naves das piscinas de competição estão por norma entre 4 a 5 graus Celcius abaixo da temperatura requerida por crianças numa piscina recreativa e isso influencia o funcionamento do sistema AVAC.

O *software* utilizado neste projeto foi o *Design Builder*, com o software de cálculo *Energy Plus*.

O E+ é um dos *softwares* mais utilizados na simulação dinâmica de edifícios e começou a ser desenvolvido pelo DOE em 1996, para permitir uma melhor eficiência na construção nos EUA. O E+ nasceu da junção de dois *softwares*, o BLAST e o DOE-2, que foram idealizados como softwares independentes, um para modulação de balanços térmicos e outro para modelação de sistemas AVAC. Depois da junção dos dois *softwares* o *Energy Plus* continuou a ser melhorado, com a adição de módulos independentes que permitem a simulação de vários tipos de edifício, construção, climatização e utilização. Apesar de ser uma ótima ferramenta de simulação, o E+ não possui uma interface gráfica que permita a visualização gráfica do edifício a simular o que o torna muito abstrato e difícil de utilizar. Para mais facilmente interagir com o E+ recorre-se frequentemente a outros *softwares* que permitem uma abordagem mais direta e intuitiva.

O *DB* é um *software*, criado pela empresa com o mesmo nome, que funciona como uma interface *user friendly* para o *Energy Plus*. Permite a criação do modelo através de ferramentas de desenho intuitivas e de modelos simplificados de definição de elementos construtivos, calendarizações, sistemas AVAC, iluminação, etc... O *DB* possibilita também a edição dos *templates* disponibilizados, de modo a permitir uma interação fácil e uma introdução de dados mais expedita e fiável.

Com a utilização dos dois *softwares* é então possível uma fiel reprodução da geometria do edifício em estudo e o estudo das variáveis energéticas disponíveis no E+ obtendo um nível de precisão do modelo bastante elevada.

### 1.3.5. Simulação de piscinas interiores

A versão 8.3 do *Energy Plus*, lançada a 10 de Abril de 2015, permite a simulação de piscinas interiores através dum modelo matemático detalhado. Este modelo introduzido recentemente no E+ simula o comportamento térmico de uma nave de uma piscina através da análise das várias trocas de energia, na forma de calor, que ocorrem entre a água e a atmosfera da nave e da água com o exterior. Antes da introdução deste modelo no E+ existia a necessidade da criação de um modelo matemático, recorrendo a folhas de cálculo, que, após várias iterações, permitia a obtenção de valores de consumos de energia e trocas de calor.

Para mais facilmente se compreender o modelo criado e disponibilizado pelo E+ fez-se uma revisão das trocas de calor existentes numa piscina interior.

O balanço de energia numa piscina interior pode ser estimado através das trocas de energia associadas às várias interações piscina-ambiente, das quais:

- Troca de energia por convecção a partir da superfície da água;
- Introdução de uma carga latente através da evaporação da superfície da água;
- Troca de calor por radiação a partir da superfície da água;
- Troca de calor por condução no fundo da piscina;
- Introdução de água da rede a uma temperatura mais baixa;
- Ganho de calor com os banhistas;



- Aquecimento da água da piscina nas caldeiras.

O esquema da Figura 7 demonstra as trocas de calor acima descritas.

As necessidades muito específicas de conforto para as naves das piscinas, combinadas com as várias trocas de calor já mencionadas no sistema fazem com que o dimensionamento do sistema de climatização para uma nave de uma piscina interior seja um desafio para qualquer engenheiro. O sistema de climatização tem que assegurar que a atmosfera é mantida nas condições previstas independentemente dos ganhos exteriores e interiores e da maneira como estes influenciam a evaporação da água da piscina e as trocas de calor por convecção com a atmosfera da nave.

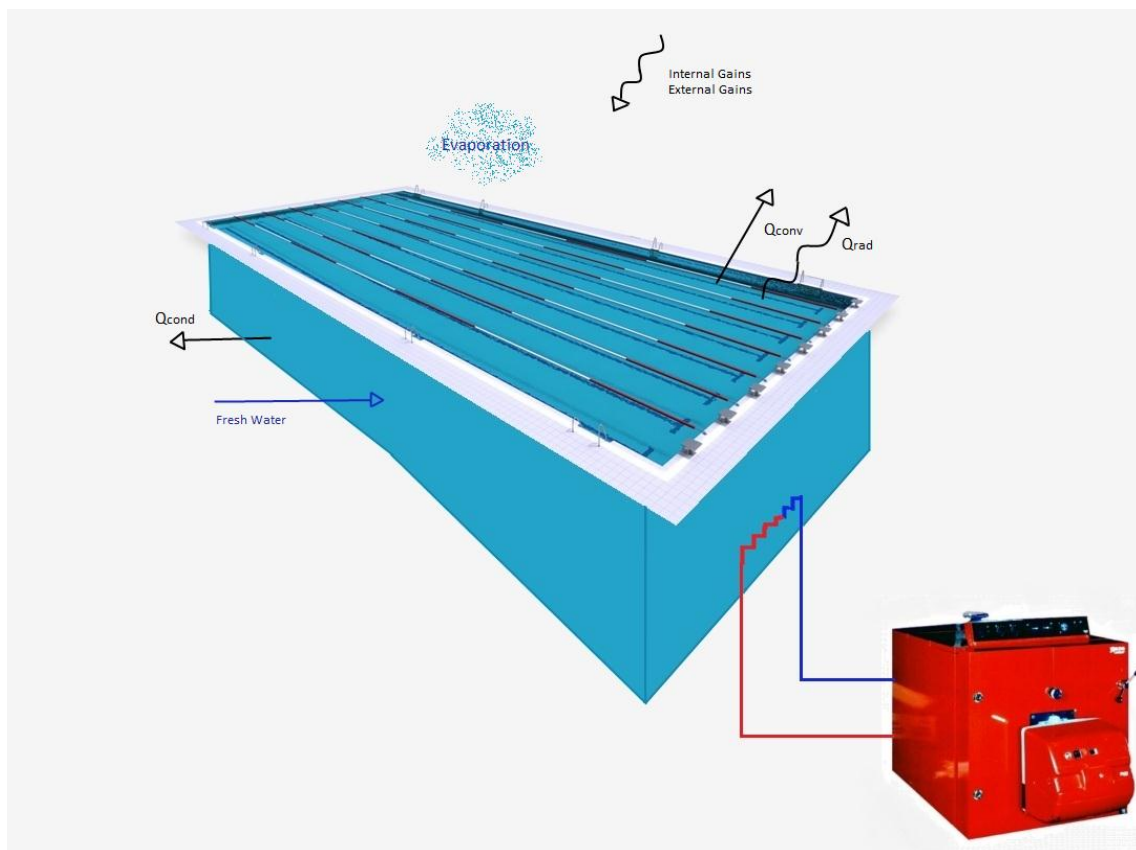


Figura 7: Esquemática das trocas de calor entre uma piscina e a envolvente

Para melhor entender os fenómenos termodinâmicos por detrás do dimensionamento de uma piscina interior, fez-se uma pequena análise dos fenómenos presentes. O modelo de simulação de piscinas interiores do E+ contém na sua codificação equações semelhantes às apresentadas e é através delas que realiza os cálculos.

### 1.3.6. Troca de calor por convecção

A água da piscina, estando a uma temperatura diferente do ar da nave, faz com que o ar e a água troquem energia. A troca de calor por convecção dá-se então proporcionalmente com o coeficiente de transferência de calor por convecção, a área e a diferença de temperatura entre os fluidos.

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_p - T_a)$$

Onde:

$Q_{conv}$  – Troca de calor por convecção

h - Coeficiente de transferência de calor por convecção

A – Área de transferência de energia

$T_p$  – Temperatura da água da piscina

$T_a$  – Temperatura do ar

Esta troca de calor, bem como a troca de calor por radiação podem ser diminuídas, em horas em que a utilização é zero, com a aplicação de uma cobertura refletora.

### 1.3.7. Troca de calor por condução

A transferência de calor por condução é definida através da constante de transferência de calor própria de cada material, da diferença de temperaturas entre cada superfície em contacto, da espessura do sólido a atravessar e da área de secção através da qual se dá a troca de calor.

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dx}$$

Onde:

$Q_{cond}$  – Calor transferido por condução

K – Constante de transferência de calor por condução do material

A – Área de secção onde ocorre troca de calor

dT – Variação de temperatura

dx – Espessura da parede

A transferência de calor por condução é talvez a troca de calor mais difícil de minimizar, no entanto é também uma das que menos impacto tem na definição do sistema. Só o isolamento das paredes das piscinas minimiza a troca de calor por condução e essa medida é aplicada logo na fase de construção de qualquer complexo de piscinas.

O Energy Plus já tem incorporado um modelo de cálculo de perdas de energia por condução que usa para determinar perdas e ganhos de calor através da envolvente do edifício. Este mesmo modelo é utilizado no modelo de simulação de piscinas para obter o valor de perda de energia por condução nas paredes da piscina.

### 1.3.8. Troca de calor por radiação

A troca de calor por radiação advém principalmente dos ganhos solares, que depende altamente do clima. Em dias limpos este fator pode ter bastante influência na quantidade de vapor gerado por evaporação. O DB utiliza ficheiros climáticos do local que permitem a determinação estimada dos ganhos por radiação do local. Para além

dos ganhos por radiação do exterior e do interior, a própria piscina também emite e reflete radiação. A troca de calor total por radiação vai ser a soma dos valores dos ganhos e perdas por radiação.

A troca de calor por radiação vai também depender, não só da intensidade da radiação, do modo como esta consegue atingir a superfície da piscina. O E+ já tem um modelo integrado para o cálculo de radiação de longo e curto comprimento de onda que é baseado nas fórmulas termodinâmicas da radiação.

$$Q_{rad,ij} = A_i F_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4)$$

Onde:

$Q_{rad,ij}$  – Calor transferido por radiação da superfície i para a superfície j

$A_i$  – Área da superfície i

$F_{ij}$  – Fator de forma de j sobre a superfície i

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann

$T_i$  – Temperatura da superfície i

$T_j$  – Temperatura da superfície j

Como já foi mencionado acima, a utilização de uma cobertura na piscina nas horas de afluência zero, permite a diminuição de radiação absorvida pela água para promover a evaporação. Isto reduz a evaporação e redireciona a energia para a promoção da convecção natural.

### 1.3.9. Evaporação da água da piscina interior

A taxa de evaporação de uma piscina interior depende maioritariamente de cinco fatores:

- Área da superfície da piscina;
- Temperatura da água da piscina à superfície;
- Temperatura do ar da nave;
- Humidade relativa da nave;
- Agitação da água da piscina e utilização.

Este são também os cinco fatores que entram na fórmula de cálculo utilizada no E+ para a modulação de piscinas interiores.

$$\dot{m}_{evap} = 0.1 \times A \times AF \cdot (P_w - P_{dp})$$

Onde:

$\dot{m}_{evap}$  = Taxa de evaporação da água da piscina

A = Área superficial da piscina

AF = Fator de atividade

$P_w$  = Pressão de saturação da água à superfície da piscina

$P_{dp}$  = Pressão parcial do ar da nave ao ponto de orvalho (dew point)

O fator de atividade depende do uso dado à piscina. A Tabela 1 mostra os valores mais comuns para os diferentes tipos de piscina. (Fonte: EnergyPlus Engineering reference).

Tabela 1: Fatores de atividade por tipo de piscina

Type of Pool	Activity Factor (AF)
Recreational	0.5
Physical Therapy	0.65
Competition	0.65
Diving	0.65
Elderly Swimmers	0.5
Hotel	0.8
Whirlpool, Spa	1.0
Condominium	0.65
Fitness Club	0.65
Public, Schools	1.0
Wave Pool, Water Slides	1.5 – 2.0

O calor associado à perda de calor por evaporação é então dado pela taxa calculada acima, o calor específico da água e a diferença de temperaturas entre a água da piscina e o ar.

$$Q_{evap} = \dot{m}_{evap} \cdot c_w \cdot (T_{ar} - T_w)$$

$Q_{evap}$  – Calor trocado por evaporação

$\dot{m}_{evap}$  – Taxa de evaporação da água da piscina

$c_w$  – Calor específico da água

$T_{ar}$  – Temperatura do ar

$T_w$  – Temperatura da água

Mais uma vez, com a introdução de uma cobertura pode ser diminuída a taxa de evaporação de uma piscina interior.

### 1.3.10. Introdução de nova água ao sistema

A operação de uma piscina requer sempre, por razões de higiene e qualidade da água, que haja uma renovação da água da piscina ao longo de um curto período de tempo. Essa introdução de nova água no sistema é feita, na generalidade das vezes, através de água vinda diretamente da rede. Esta água vem a uma temperatura sempre inferior à temperatura da água da piscina.

A introdução de água fria no sistema, na prática, assemelha-se a uma diluição da energia existente na água quente por todo o volume de água, ou seja, uma perda de energia total do sistema.

A troca de calor na água, a temperaturas diferentes, é dada pela diferença das suas temperaturas, o coeficiente de transferência de calor na água e a diferença de temperaturas.

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (T_p - T_w)$$

$\dot{Q}$  - Taxa de transferência de calor entre os dois fluidos

$\dot{m}_w$  - Caudal mássico de água que entra no sistema

$c_w$  - Calor específico da água

$T_p$  - Temperatura inicial da água da piscina

$T_w$  - Temperatura da água fria introduzida

Para reduzir o consumo de energia necessário para manter a piscina numa temperatura ótima de utilização, tendo em conta que não se pode reduzir a quantidade de água nova introduzida no sistema, pode-se aplicar um sistema de recuperação de calor através da aplicação de permutadores em locais onde haja um potencial desperdício de energia, por exemplo, na chaminé da caldeira onde os gases de escape fluem ainda com uma temperatura bastante elevada.

### 1.3.11. Ganho de calor com os banhistas

Para além da existência de uma enorme massa de água a uma temperatura elevada, uma nave de uma piscina tem outros elementos que influenciam o dimensionamento e operação do sistema de climatização.

A utilização da piscina influencia muito a evaporação de água da piscina, pois a agitação superficial da água da piscina promove a aerossolização e evaporação da água. Também quanto mais utilização tiver a piscina mais resíduos biológicos deixados pelos banhistas existirão na piscina e logo maior será a renovação de água necessária. Estes fatores já são contados na renovação de água fria e na evaporação mas para além disso os banhistas trazem um fator adicional, uma carga térmica associada.

O modelo desenvolvido pelo DOE para a simulação de piscinas requer que seja introduzido um número máximo de banhistas, o horário de utilização da piscina e o ganho de calor resultante de cada utilização da piscina. Com estes valores é calculado o ganho térmico total com a utilização da piscina.

### 1.3.12. Balanço energético

Tendo calculado todos os parâmetros considerados relevantes, o E+ realiza um simples balanço térmico para obter a necessidade de aquecimento, ou *input* necessário, que o sistema de climatização, neste caso a caldeira, tem que fornecer à água da piscina.

O valor que representa as necessidades de calor vai resultar da soma de todas as perdas de calor da piscina, como perdas por evaporação, convecção, condução e radiação, menos os ganhos de energia por outros meios como os ganhos solares e os ganhos térmicos associados aos banhistas.

$$Q_{caldeira} = Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{rad} + Q_{evap} + \dot{Q} + Q_{banhistas}$$

Este balanço vai resultar no valor de potência que a caldeira necessita de fornecer ao sistema para que este se mantenha nas condições definidas. A alteração destas condições resultará também na alteração da necessidade de potência na caldeira.

É de notar que este valor obtido através do balanço energético é válido apenas assumindo algumas aproximações como a não variação de setpoints e de carga térmica na piscina, bem como a não existência de outras perdas adicionais para além das mencionadas.

### 1.3.13. Edifícios de piscinas – Manutenção, Operação e Energia

O conforto térmico num edifício de piscinas pode ser algo de muito complicado de definir. Para um indivíduo, vestido com uma indumentária comum de rua, numa piscina interior a atmosfera vai parecer bastante quente e húmida, no entanto para uma criança a brincar na piscina pode não estar assim tão desagradável (Lund 2000). O mesmo pode ser dito comparando um adulto a praticar natação de competição e um idoso a praticar hidroginástica, a mesma atmosfera pode ter sensações diferentes dependendo da idade e da atividade de cada utilizador da piscina.

A utilização e atividade a desempenhar em cada piscina deve ser definida mesmo na fase de projeto pois isso irá influenciar em muito as temperaturas operacionais, a humidade a definir e conseqüentemente a potencia a instalar no sistema de climatização.

De acordo com a ASHRAE, uma piscina de competição deve ser mantida a uma temperatura não superior a 28°C e uma humidade entre os 50% e os 65%. Já uma piscina recreativa para crianças já pode ter temperaturas a rondar os 30°C e uma humidade superior.

De um modo geral, piscinas com menor profundidade, como as piscinas infantis e dedicada às atividades como a hidroginástica, apresentam temperaturas mais elevadas

que as piscinas de maior profundidade (Vallejo et al. 2013). De acordo com a diretiva do concelho nacional da qualidade CNQ 23/93, que aconselha parâmetros e valores ótimos de operação para piscinas interiores, define como valores de temperatura ideais, para diferentes atividades, os valores da Figura 8 (Carrinho 2010).

Tipologia do tanque	Temperatura, °C
Desportivos	24 a 26
Desportivos para saltos	26 a 28
Aprendizagem e recreio	26 a 28
Infantis ou Chapinheiros	28 a 30
Recreio e diversão	26 a 28
Polifuncionais	26 a 28

*Figura 8: Temperatura das piscinas em função do seu uso*

Para além dos valores de temperatura, a diretiva CNQ 23/93 também define parâmetros como humidade relativa do ar e caudal de ar novo por banhista.

Requisitos	Valores
Humidade Relativa do ar	55 a 75%
Temperatura (seca) do ar	Superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, com o mínimo de 24°C
Temperatura de bolbo húmido	Mínima de 23 °C
Caudal de ar renovado por banhista	6 L/s
Velocidade do ar insuflado	Inferior a 0.2 m/s

*Figura 9: Principais parâmetros de operação de piscinas interiores*

Na nave de uma piscina a temperatura do ar deve ser mantida pelo menos 1°C acima da temperatura da água da piscina para assim reduzir a evaporação de água e para manter o conforto dos utentes da piscina ao sair da mesma. Uma temperatura do ar inferior à temperatura da água faria com que a evaporação de água fosse muito superior implicando grandes custos com a renovação da água da piscina, bem como custos com a desumidificação do ar da nave. Torna-se portanto mais vantajoso do ponto de vista económico, mas também do conforto, que a temperatura da nave seja elevada. Outro parâmetro importante que influencia a evaporação e o conforto dos utentes da piscina é a velocidade do vento no interior da nave. Se a velocidade à superfície da água fosse muito elevada isso iria promover a troca de calor entre a água e o ar o que resultaria em maiores perdas de energia.

Infelizmente para os donos e gestores de piscinas interiores estas exigentes condições de operação não se alteram com o número de utentes na piscina. Até sem qualquer ocupação o sistema de climatização tem que manter as condições acima descritas. Se o sistema de climatização fosse desligado durante a noite numa tentativa de redução de custos a temperatura da nave baixaria consideravelmente o que levaria a um aumento da evaporação da piscina até à saturação do ar.

Devido à atividade dos banhistas e aos químicos que são utilizados para o tratamento da água da piscina e que são aerossolizados, as naves requerem elevadas taxas de renovação de ar através de ventilação. A norma ANSI/ASHRAE 62.1-2004 recomenda um valor de 2.4 litros por pessoa e por metro quadrado de área da nave. Como é natural esta elevada taxa de insuflação de ar novo e frio leva a um aumento da carga de aquecimento no sistema de climatização.

Para tentar reduzir nos custos de operação em alturas sem ocupação a ASHRAE recomenda que seja desativada a ventilação e seja reduzida a carga no desumidificador. Também pode ser aproveitado qualquer ar exterior para diluir a humidade do ar da nave sem custos.

Fica então claro que as condições de operação de uma piscina e do seu sistema de climatização são bastante importantes. É importante ter em conta que na procura incessante por medidas de eficiência energética e utilização racional de consumos não se pode sacrificar o conforto dos utentes e a segurança tanto dos utentes como as estrutura. A condensação em superfícies frias numa nave pode facilmente levar à corrosão do material e conseqüente rutura prematura o que pode originar sérios problemas de segurança e estabilidade do edifício.

#### **1.4. Organização do relatório**

Este relatório encontra-se dividido em cinco capítulos.

Do presente capítulo, intitulado “Introdução”, constam o enquadramento do projeto, onde são expostas as motivações e preocupações que levaram à escolha do tema e que impulsionaram todo o projeto, os objetivos principais e a revisão bibliográfica necessária à compreensão do tema e do estado da arte. É neste capítulo que é feita toda a abordagem teórica ao projeto como o reconhecimento das melhores práticas na realização de projetos deste género, a metodologia de auditorias e o uso de simulação dinâmica na gestão de energia.

No segundo capítulo, “Caso de estudo”, são apresentadas todas as características do edifício a simular e principalmente das naves e do sistema de climatização e aquecimento de águas para as piscinas interiores. São apresentadas as metodologias seguidas no uso dos *softwares* de simulação escolhidos e os dados introduzidos para as variáveis requeridas pelos mesmos.

O capítulo 3, “Resultados da simulação”, é, como o nome indica, onde são expostos os principais resultados retirados das simulações realizadas. Neste capítulo é possível ter uma noção dos consumos atuais das piscinas interiores e do complexo em geral. É com



base nos valores apresentados neste capítulo que são pensadas e testadas as medidas de melhoria da eficiência energética.

O capítulo 4, “Medidas de melhoria da eficiência energética”, engloba os resultados das simulações realizadas com as várias medidas de eficiência avaliadas de forma individual e posteriormente em pacotes de medidas, avaliando o seu impacto energético e financeiro.

Por fim o capítulo, “Conclusões e trabalhos futuros”, destina-se a fazer um balanço das medidas propostas e fazer uma avaliação do decorrer do trabalho em si, explicitando as principais dificuldades e conquistas ao longo da realização do mesmo. É também onde é feito um balanço do trabalho e do que ainda pode ser feito para o enriquecer posteriormente.



## Capítulo 2

---

### Caso de Estudio



## 2. Caso de Estudo

Neste estudo pretende-se avaliar o desempenho energético e obter medidas de melhoria da eficiência energética para o complexo das piscinas municipais do concelho de Leiria, nomeadamente para as naves que contêm as piscinas interiores.

O complexo localiza-se junto ao estádio municipal Dr. Magalhães Pessoa no centro da cidade e engloba zonas de desporto, lazer e recreação, desde ginásios ao restaurante, passando obviamente por três piscinas com utilizações e condições operativas específicas.

O complexo foi remodelado em 2006 onde foi ampliada a nave da piscina recreativa e construído todo o bloco nascente, onde existe o restaurante, vários gabinetes e zonas de gestão. Após a remodelação o complexo ficou com uma área total de cerca de seis mil metros quadrados composta por piscinas, balneários, gabinetes, ginásios, zonas de administração, sala das máquinas, restaurante, refeitórios, sanitários, posto médico, etc... O projeto de remodelação do complexo municipal das piscinas ganhou o prémio Korrodi de Arquitetura 2006.



Figura 10: Localização relativa do complexo em estudo

A Figura 10 pretende demonstrar a localização relativa do complexo e a orientação das fachadas.

Apesar do projeto ser focado apenas na reabilitação energética das piscinas interiores e dos equipamentos associados o estudo inicial será realizado para todo o complexo para que seja possível a confirmação dos valores obtidos através da simulação com os valores faturados de energia à entidade gestora.

Utilizando as plantas disponibilizadas pela Câmara Municipal de Leiria e a Divisão de Desporto de Leiria procedeu-se à criação do modelo 3D através do *software* Design Builder. A metodologia utilizada no desenvolvimento e programação do modelo estão especificadas detalhadamente mais à frente neste relatório, no capítulo 2.1.



Figura 11: Exportação visual do modelo 3D do complexo

Os dados utilizados na modelação foram os disponibilizados na forma da memória descritiva do edifício e dos *dossiers* constantes do projeto do escritório João Patrício Arquitetos. Alguns dados em falta foram obtidos diretamente no complexo das piscinas com a cooperação do gabinete técnico das piscinas e os restantes dados, cuja obtenção se tornou impossível em tempo útil para a realização do projeto, foram estimados conforme aconselhado pelo LNEC no seu relatório “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Da Envolvente Dos Edifícios” na versão de 2006.

Em termos de eficiência energética num edifício já existente a alteração ou isolamento de elementos construtivos torna-se muito dispendiosa, pouco prática e com ganhos muito reduzidos quando comparados com os ganhos que se podem alcançar na troca de equipamentos como caldeiras, bombas, chillers e outros elementos que integram o sistema de climatização e aquecimento de águas. Por esta razão este projeto irá incidir somente em medidas de eficiência para os equipamentos de climatização e aquecimento de águas para as piscinas interiores.

Outro potencial ganho de eficiência passa pela implementação de energias renováveis no edifício.

A sala das máquinas do complexo das piscinas é onde a maioria do equipamento responsável pelo aquecimento da água das piscinas e da climatização do edifício se encontra.

O aquecimento da água das piscinas bem como da água quente sanitária utilizada nos balneários e sanitários do complexo é feito por três caldeiras ROCA. As suas principais características estão presentes na Tabela 2 (BAXI 2014).

Tabela 2: Caldeiras instaladas

Modelo	Potência (kW)	Consumo Estimado (m <sup>3</sup> /h)
--------	---------------	--------------------------------------

CPA 100	150	15,0
CPA 250	290	29,0
CPA 350	407	40,7

Para efeitos de simulação considerou-se que a caldeira ROCA CPA 100 de 150 kW seria exclusivamente utilizada para aquecimento de águas quentes sanitárias para uso no edifício apoio e não para o aquecimento da água das piscinas. Este ficaria ao cargo das outras duas caldeiras a funcionar em conjunto.

O sistema de climatização do ar do complexo é feito através de um *chiller* instalado no telhado por cima da sala das máquinas.

Tabela 3: Chiller instalado

Marca	Modelo	Pot. Arrefecimento (kW)	Pot. Aquecimento (kW)
Climaveneta	SRAQ 1202	312	324

Este chiller é responsável pela produção de água fria que é utilizado na climatização do ar nas unidades de tratamento de ar (UTA). É também no chiller que o ar é desumidificado por ação da refrigeração do ar. O chiller funciona como uma máquina frigorífica, que através de compressão e posterior expansão de um fluido refrigerante permite retirar calor de um espaço a refrigerar, expelindo-o para o exterior ou, para melhor eficiência, aproveitar esse calor residual para aquecimento. O fluido frio produzido no chiller, neste caso água, é depois distribuído pelas várias UTA, onde, através de permutadores de calor, será utilizado para arrefecer o ar ambiente.

As UTA são o coração do sistema de ventilação mecânica e de climatização do ar interior. Estas unidades são responsáveis por distribuir o ar tratado e climatizado para dentro do edifício. São compostas por ventiladores, filtros de ar, permutadores de calor para calor e frio, atenuadores de ruído e grelhas de admissão e saída.

O complexo das piscinas municipais de Leiria possui UTA e UTAN. Uma UTAN utiliza 100% de ar novo não aproveitando qualquer ar proveniente do interior do edifício. A tabela que se segue inventaria todas as unidades responsáveis pelo tratamento e distribuição do ar do complexo.

Tabela 4: Unidades de Tratamento de Ar do complexo

Unidades de Tratamento de Ar (UTA)						
Marca	Modelo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Pressão Estática (Pa)	Arrefecimento		Aquecimento
				Total (kW)	Sensível	Total (kW)
Aermec	NTC	11	1000	200	34,7	38,8
Aermec	NTC	11	1000	200	34,7	38,8
Unidades de Tratamento de Ar e Desumidificação						
Marca	Modelo			Desumidificação	Aquecimento	

		Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Pressão Estática (Pa)	VDI 2089 (kg)	30% ar novo (kg)	Total (kW)
Aermec	GEA 20000	20000	300	130	107,4	130
Aermec	GEA 20000	20000	300	130	107,4	130
Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN)						
Marca	Modelo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Pressão Estática (Pa)	Arrefecimento		Aquecimento
				Total (kW)	Sensível	Total (kW)
Aermec	NCT 04	3260	80	13,2	10	21,6
Aermec	NTC 09	6900	90	27,5	22	17,3
Aermec	NTC 03	2500	70	NA	NA	21,8
Aermec	NTC 01	1260	60	NA	NA	10,1
Aermec	NTC 03	2350	70	NA	NA	20,1
Aermec	NTC 01	900	50	NA	NA	8,3
Aermec	NTC 09	6310	85	25,2	20	48,5

O ar, depois de tratado e climatizado, é insuflado no edifício através da tubagem instalada. O ar velho é removido através de grelhas de extração e transportado novamente até às UTA onde parte é reutilizado tratado e novamente introduzido no edifício e a maioria do ar é expelido do sistema pelas grelhas de saída da UTA.

Para além da climatização do ar, o complexo é também aquecido, se necessário, recorrendo a ventiloconvetores de parede a água. A água quente produzida nas caldeiras é circulado até aos ventiloconvetores onde estes usam esse calor para aquecer o ar do espaço. Existem quarenta e quatro ventiloconvetores instalados no complexo, geralmente instalados em gabinetes.

Para fazer toda a circulação de água no complexo, seja para as piscinas, balneários ou para os ventiloconvetores, a água requer um sistema de bombagem. O caudal e pressão estática disponível para cada bomba varia com a distância a percorrer e a quantidade de água a transportar. O sistema de bombagem é composto por quinze bombas com uma potência total de cerca de 13 kW, um caudal total transportado de 390 m<sup>3</sup>/h de água quente ou fria e uma pressão estática de 1,3 MPa. O sistema de aquecimento da água das piscinas engloba duas bombas ITUR CD 100-B com uma pressão estática disponível de 220 kPa que funcionam em paralelo. Em associação direta com o chiller estão duas bombas ITUR CD 100-B de 150 e 160 kPa de pressão estática disponível em tudo semelhantes às instaladas no sistema de aquecimento das águas da piscina.

A listagem completa dos equipamentos instalados no complexo das piscinas municipais de Leiria encontra-se em anexo.

Os equipamentos instalados são responsáveis por manter as condições ideais à prática das atividades disponíveis para os utentes das piscinas. Estas condições, mencionadas no subcapítulo 1.3.13, são altamente influenciadas pela própria água das piscinas. O complexo conta com três piscinas, uma de competição, uma recreativa e uma infantil.



A piscina de competição é utilizada para os treinos das equipas de competição e para algumas competições de pequenas dimensões. Tem um *setpoint* de temperatura de 27°C e um volume total de 900m<sup>3</sup>. As dimensões da superfície da piscina de competição são de 26,5 x 19,5 metros.

A piscina recreativa tem a mesma área superficial mas apenas comporta 500m<sup>3</sup> de água e é mantida a uma temperatura de 30°C. Esta piscina está aberta ao público para natação livre e tem várias aulas de natação e atividades aquáticas disponíveis à população da cidade. É a piscina que mais utilização tem em todo o complexo.

Por fim existe uma piscina infantil com uma profundidade máxima de 1,2 m, que é utilizada maioritariamente para entretenimento dos mais pequenos, para aulas de natação para crianças e para aulas de hidroginástica. Esta piscina tem apenas 80m<sup>3</sup> de água mas esta é mantida a uma temperatura de 32°C devido à sensibilidade dos utentes da mesma.

Todas as piscinas requerem um tratamento bacteriológico e uma renovação de água que corresponde a entre cinco e oito por cento da água total da piscina. Esta água de renovação é água da rede que se encontra a uma temperatura muito inferior à da água da piscina pelo que vai contar como uma carga negativa muito grande na modelação da piscina.

### **2.1. Metodologia com o Design Builder**

O Design Builder permite definir a geometria do edifício de forma intuitiva facilitando a definição das superfícies, de vãos envidraçados, dos sistemas AVAC e de iluminação.

Para iniciar uma modelação de um edifício é necessário primeiro definir a localização do edifício e a sua zona climática pois esta vai afetar todos os cálculos efetuados pelo programa. Como a base de dados do DB não continha dados climáticos sobre Leiria, adaptou-se o existente relativo a Coimbra para as coordenadas e altitude da cidade de Leiria. Considera-se uma boa aproximação dado a proximidade de ambas as cidades.

A definição da geometria foi feita de acordo com as plantas de arquitetura disponibilizadas e permitiu definir não só a geometria mas também a orientação e o modo como a radiação entra no edificio. A definição de várias áreas distintas permite uma melhor simulação pelo que a geometria deve ser reproduzida com o máximo de fiabilidade e as características de cada espaço definidas individualmente.

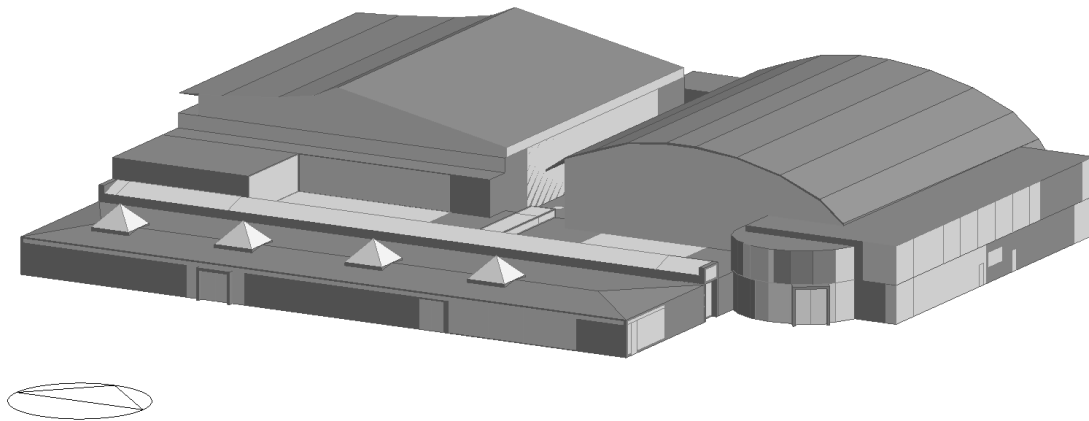


Figura 12: Modelo de geometria do complexo (Vista a Sul)

Após a definição da geometria, há que fornecer ao DB os dados sobre os materiais utilizados na construção do edifício, incluindo vãos envidraçados. Com os dados retirados da memória descritiva do edifício definiu-se a composição das paredes exteriores e interior, pavimentos, coberturas, e vãos envidraçados existentes no edifício.

O material que compõe a cobertura metálica das naves do complexo não se encontra especificado na memória descritiva mas foi aproximado por uma cobertura metálica em alumínio com um isolamento de lã de rocha de cinco centímetros. As restantes aproximações foram feitas ao nível do pavimento térreo, onde se considerou um pavimento *standard* comercializado pela empresa Sotecnisol Materiais, composto por duas malhas impermeáveis ECOPLAS PY 40, quatro centímetros de poliestireno extrudido (XPS) e revestido com betão leve onde depois seriam aplicados azulejos, tudo sobre uma betonilha de regularização.

A Tabela 5 enuncia os materiais utilizados na definição desta simulação e o coeficiente global de transferência de calor associado a cada material.

Tabela 5: Elementos construtivos utilizados na simulação dinâmica do edifício

	U (W/m <sup>2</sup> K)	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Alvenarias Exteriores</b>		
Parede dupla exterior em alvenaria de tijolo furado com um pano de 30x20x11 e outro com 30x20x15 c/ caixa-de-ar preenchida com 4 cm de "Wallmate CW Styrofoam"	0,554	160,73
Parede dupla exterior em alvenaria de tijolo furado com um pano de 30x20x07 e outro com 30x20x15 c/ caixa-de-ar preenchida com 4 cm de "Wallmate CW Styrofoam"	0,577	15,08
Parede dupla exterior em alvenaria de tijolo furado com um pano de 30x20x11 e outro de betão c/ caixa-de-ar preenchida com 4 cm de "Wallmate CW Styrofoam"	0,502	76,49

Parede dupla exterior em alvenaria de tijolo furado com dois panos de 30x20x15 c/ caixa-de-ar	1,216	12,98
<b>Alvenarias Interiores</b>		
Parede interior em alvenaria de tijolo furado com um pano simples de 30x20x11	1,953	1051,95
Parede interior em alvenaria de tijolo furado com um pano simples de 30x20x15	1,909	309,75
<b>Coberturas</b>		
Cobertura plana de betão cavernoso de 650 kg/m <sup>3</sup> isolado c/ 4,5 cm "Roofmate" (XPS) e impermeabilizado c/ ECOPLAS PY 40 coberto a gravilha fina	0,448	911,12
Cobertura plana de betão cavernoso de 650 kg/m <sup>3</sup> isolado c/ 4,5 cm "Roofmate" (XPS) e impermeabilizado c/ ECOPLAS PY 40 coberto c/ pano de betão leve	0,409	1223,51
Cobertura inclinada em liga de Alumínio c/ 5 cm de lã de rocha	0,687	2277,34
<b>Pavimentos</b>		
Pavimento térreo c/ betonilha de regularização afagada com argamassa, isolado c/ "Floortec 300" e impermeabilizado c/ ECOPLAS PY 40	0,372	4811,91

Os vãos envidraçados definidos na memória descritiva são vidros Saint-Gobain SGG Cool-Lite Silver SS 147, cujas características já não se encontram disponíveis para consulta, pelo que foram selecionados para efeito de simulação o SGG Cool-Lite Xtreme 60/28, que é o mais semelhante ao usado nas piscinas, ainda em produção pela Saint-Gobain.

Para além de informações sobre a estrutura do edifício o DB também pondera a influência do nível e tipo de utilização de cada espaço e a climatização do mesmo para a simulação.

No separador relativo à atividade o utilizador fornece ao *software* dados como o nível médio de ocupação do espaço, o nível metabólico dos utentes do espaço e dados de controlo de climatização. O número de pessoas implica maior volume de CO<sub>2</sub> libertado no espaço e conseqüentemente maior necessidade de extração e arrefecimento. O aumento do nível metabólico também implica uma maior taxa de libertação de CO<sub>2</sub> por individuo, o que resulta também numa maior necessidade de climatização. O controlo de climatização permite definir todos os *setpoints* e *setbacks* relativos ao espaço definido, bem como a necessidade de existir humedificação ou desumidificação do ar, níveis de ventilação exigidos e iluminação requerida. Cada zona deve ser editada individualmente para obter o máximo de fiabilidade na simulação, principalmente nos separadores da atividade e AVAC.

A imagem da Figura 13 demonstra todos os campos que são possíveis editar no separador de atividade no DB.

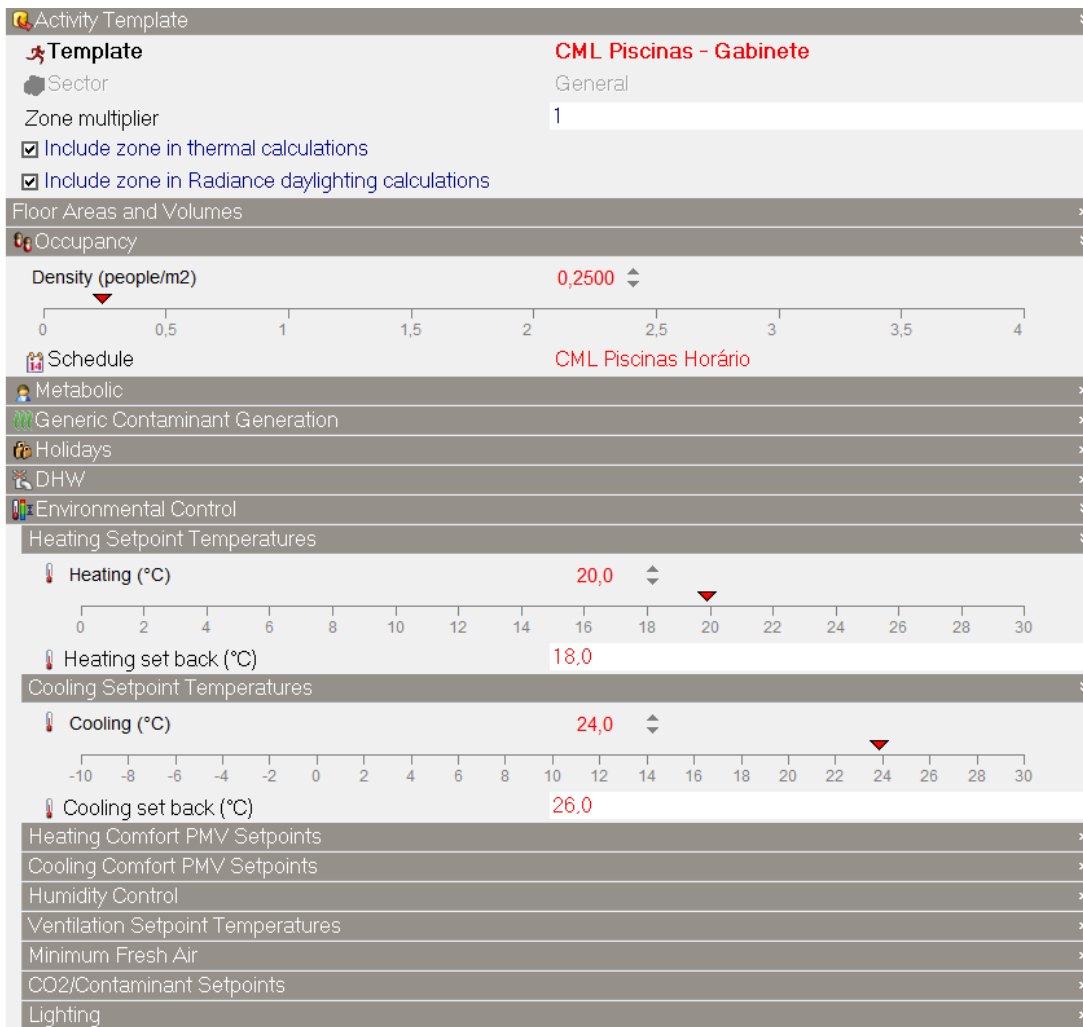


Figura 13: Captura de ecrã do separador de atividade no DB

Na Tabela 6 encontram-se os principais valores definidos para as variáveis associadas à atividade no interior do edifício por tipo de zona e atividade a que se destinam.

Tabela 6: Parâmetros de atividade dos diferentes espaços no complexo

	Densidade de ocupação (pessoas/m <sup>2</sup> )	Nível Metabólico (W/pessoa)	Setpoint/setback de Aquecimento (°C)	Setpoint/setback de Arrefecimento (°C)
Arrecadações	0,025	140	20/18	24/26
Balneários	0,153	160	22/12	25/28
Corredores	0,117	207	20/18	24/26
Cozinha	0,350	180	18/16	24/26
Gabinetes	0,250	123	20/18	24/26
Ginásio	0,280	300	18/16	23/25
Piscina de Competição	0,250	265	28/27	28/29
Piscina Recreativa	0,300	240	29/28	30/30

Receção	0,101	140	20/18	24/26
Refeitório	0,115	110	20/14	25/28
WC	0,112	108	18/14	23/28

O DB permite também editar os sistemas de iluminação do complexo e sistemas de geração de energia elétrica, como painéis fotovoltaicos ou geradores eólicos. Para este projeto, dado que não existe produção de energia elétrica no complexo, este último foi ignorado.

O sistema de iluminação é distinto para as naves e para o restante edifício. A nave da piscina de competição é iluminada recorrendo a quatro fileiras de quatro lâmpadas cada, perfazendo um total de dezasseis lâmpadas de halogénio de 400 W. Para esta nave não existe nenhum sistema de controlo da iluminação pelo que, ou a iluminação total de 6400 W está totalmente ligada, ou desligada. Já na outra nave foi instalado um sistema de controlo linear em que se pode controlar independentemente cada terço do sistema de iluminação da nave. Este sistema permite que ao final do dia em que o meio da piscina já não se encontra bem iluminado, mas junto dos envidraçados ainda existe iluminação suficiente, seja ativado apenas o terço central da iluminação da nave permitindo assim poupar alguma energia.

A Tabela 7 compila as principais características do sistema de iluminação instalado na totalidade do complexo por tipo de utilização da área.

*Tabela 7: Principais características do sistema de iluminação por espaço*

	Iluminância Mínima (lux)	Tipo de Lâmpada	Tipo de Controlo
Arrecadações	50	T5 Fluorescente	Nenhum
Balneários	150	T5 Fluorescente	Nenhum
Corredores	50	T5 Fluorescente	Linear
Cozinha	500	T5 Fluorescente	Nenhum
Gabinetes	400	T5 Fluorescente	Nenhum
Ginásio	150	T5 Fluorescente	Linear
Piscina de Competição	500	Halogénio	Nenhum
Piscina Recreativa	300	Halogénio	Linear
Receção	200	T5 Fluorescente	Nenhum
Refeitório	150	T5 Fluorescente	Nenhum
WC	200	T5 Fluorescente	Nenhum

No separador AVAC é permitido ao utilizador seleccionar o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado que será responsável pela climatização do espaço. O AVAC pode ser definido de duas maneiras distintas, através da modelação simples ou detalhada. A modelação detalhada permite indicar não só que tipo de sistema AVAC é usado mas também as características de cada componente que faz parte do sistema. O

sistema simples permite a seleção do sistema AVAC através de um *template* onde todos os sistemas auxiliares são considerados com sistemas padrão, cujos valores o programa arbitra tendo em conta os sistemas mais comuns no Reino Unido.

O sistema existente no complexo das piscinas é um sistema de volume de ar variável (VAV) composto por um sistema de ventilação mecânica, um chiller e um grupo de aquecimento composto por três caldeiras, como mencionado anteriormente neste relatório. O sistema considera-se VAV pois a insuflação de ar não é constante ao longo do tempo, vai-se ajustando às necessidades de climatização do edifício.

A Figura 14 é um esquema que representa o sistema definido no DB para a climatização do edifício. Estão representados o *chiller*, o grupo de caldeiras, as bombas necessárias à operação dos *loops*, os *setpoint managers*, as UTA e os espaços a climatizar.

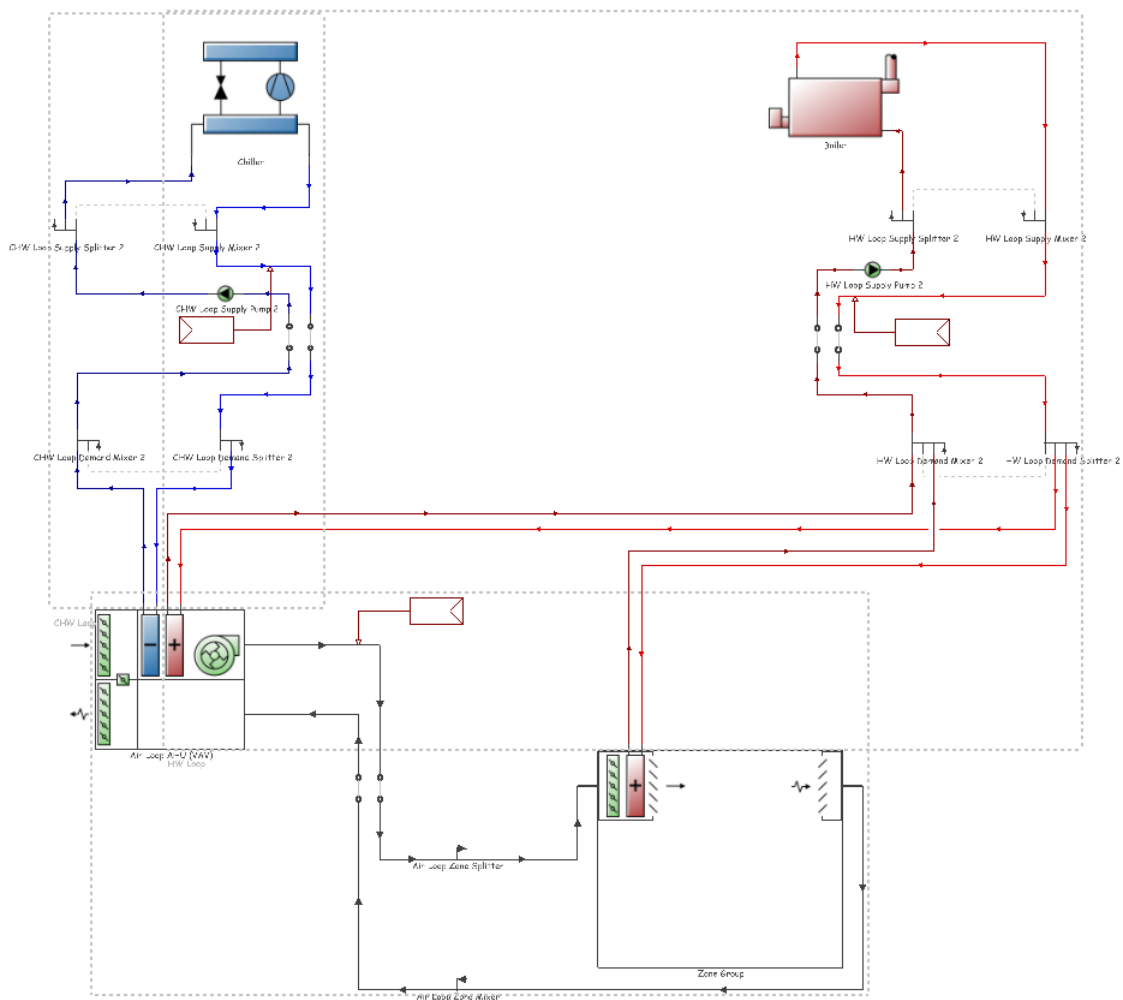


Figura 14: Esquematização do sistema AVAC definido para o edifício

Como foi já mencionado acima neste relatório o DB infelizmente ainda não modela piscinas pelo que ao dimensionar o sistema AVAC este não tem em conta a carga latente da massa de água da piscina, o que resulta numa grave imprecisão no dimensionamento do mesmo nas naves.

Para colmatar esta falha do DB exportou-se o ficheiro *Input Data File (IDF)* para o E+ onde se pode editar toda a informação introduzida e adicionar a piscina interior. O Ficheiro IDF contém s resultados de um simulação, bem como, toda a informação sobre as superfícies, equipamentos e calendarizações que foram definidas no DB.

## 2.2. Metodologia com o Energy Plus

Como já foi mencionado anteriormente neste relatório, o Energy Plus é o *software* que serve de base de cálculo ao Design Builder.

A informação introduzida de forma gráfica no DB é convertida em tabelas com todas as informações sobre todas as superfícies que compõem o edifício desenhado. Qualquer superfície, equipamento, sistema ou até calendarização são convertidos em tabelas com todas as informações essenciais para os cálculos a serem efetuados ao longo da simulação do complexo.

Com a informação disponível no E+ é possível altera-la, apaga-la, acrescentar novos dados, ou até novas tabelas com novos elementos como, neste caso, uma piscina interior como é possível ver na Figura 15.

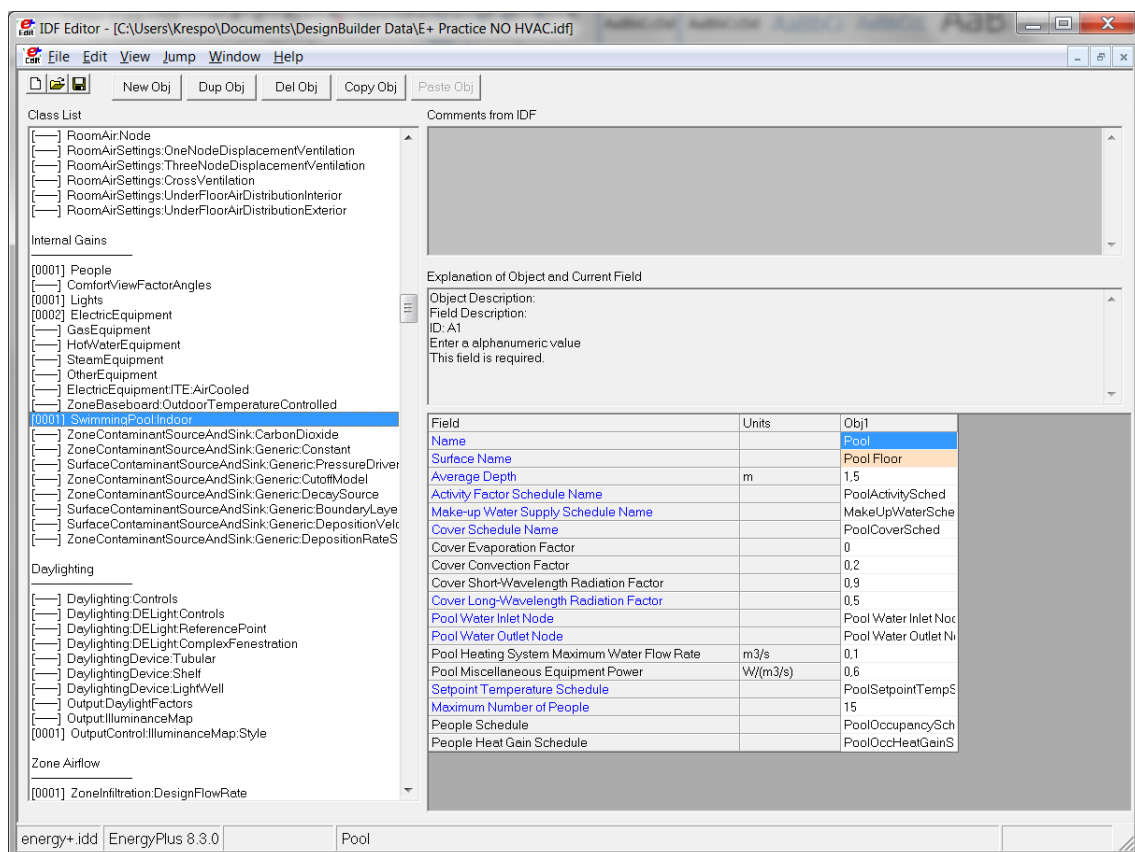


Figura 15: Introdução de uma piscina interior no IDF Editor do Energy Plus

A introdução de uma piscina interior implica a introdução de um sistema de aquecimento de águas que pode, ou não, ser o mesmo que o sistema AVAC. Ao conjunto de todos os componentes necessários ao funcionamento da piscina como caldeira, bombas, tubagens, permutadores de calor e até a própria piscina chama-se um *loop*.

Um *loop* é composto por vários *branches*, ou ramos, que correspondem a um componente ou componentes do sistema integrados na mesma linha. Cada componente tem ainda associados a si dois nós de ligação, onde o *software* “armazena” as características da rede até aquele ponto, como a temperatura, a humidade, o caudal, a pressão, etc. Estes nós funcionam como *outputs* de uns componentes e *inputs* dos seguintes.

Cada *loop* tem associado um *mixer* e um *splitter* e apenas um de cada. O *splitter* é um divisor de caudal e um *mixer* um misturador. Estes permitem criar séries de componentes a trabalhar em paralelo como exemplificado na Figura 16.

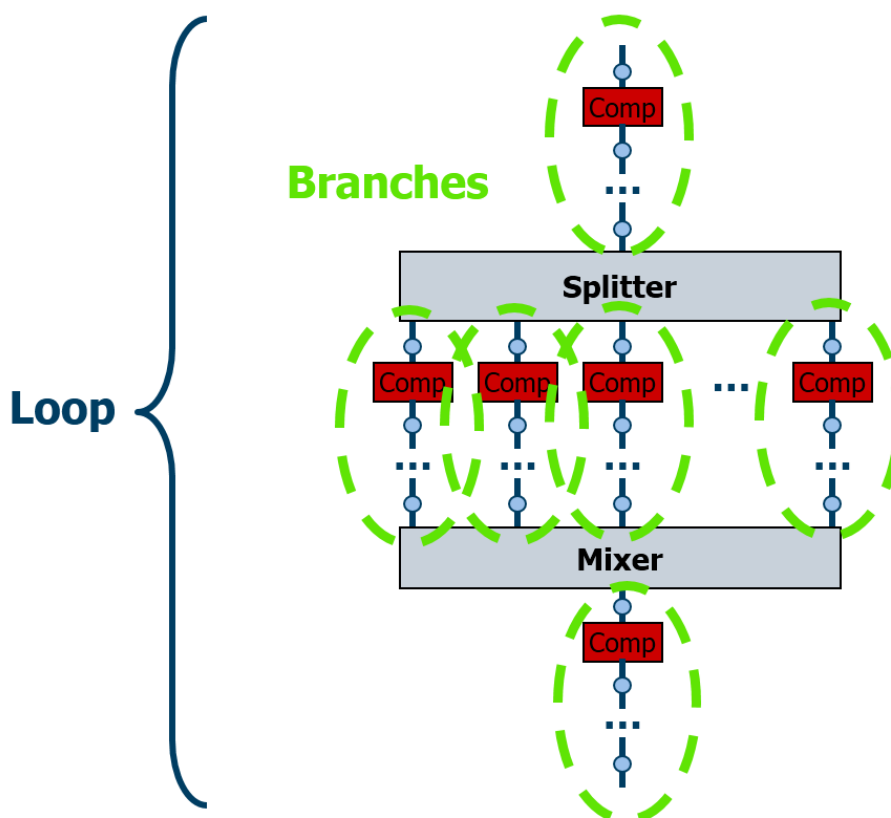


Figura 16: Representação gráfica de um loop e dos elementos que o compõem

Quando o ficheiro IDF é importado para o IDF Editor este já tem definido o sistema de climatização VAV definido do DB, ou seja, já tem dois *loops* definidos, um de aquecimento e outro de arrefecimento.

O *loop* de arrefecimento é composto pelo *chiller* e todas as tubagens, bombas e condutas de ar que fazem parte do sistema de refrigeração do edifício. O *loop* de aquecimento é composto por uma caldeira, tubagens, bombas e permutadores de calor que trocam calor com as unidades de tratamento de ar e para um sistema de pré aquecimento de condutas de circulação de ar.

Usando um *bypass*, ou tubagem paralela, no *loop* de aquecimento foi possível a introdução da piscina. Este novo ramo do *loop* tem ligação no *bypass* existente à saída da caldeira e funciona em paralelo com os ramos em que ocorre trocas de calor com as



UTA. Para que a piscina esteja corretamente definida no E+ existe a necessidade de definir um conjunto de parâmetros de controlo da mesma.

Criaram-se calendarizações específicas para a piscina, não só para a sua ocupação por parte dos utentes, mas também para a existência e uso de cobertura da piscina e para a renovação de água.

As calendarizações podem ser de dois tipos, operação e temperatura. A Figura 17 representa uma calendarização de operação que corresponde à ocupação média das piscinas ao longo de um dia. Este perfil é depois definido para todos os dias de funcionamento ao longo do ano.

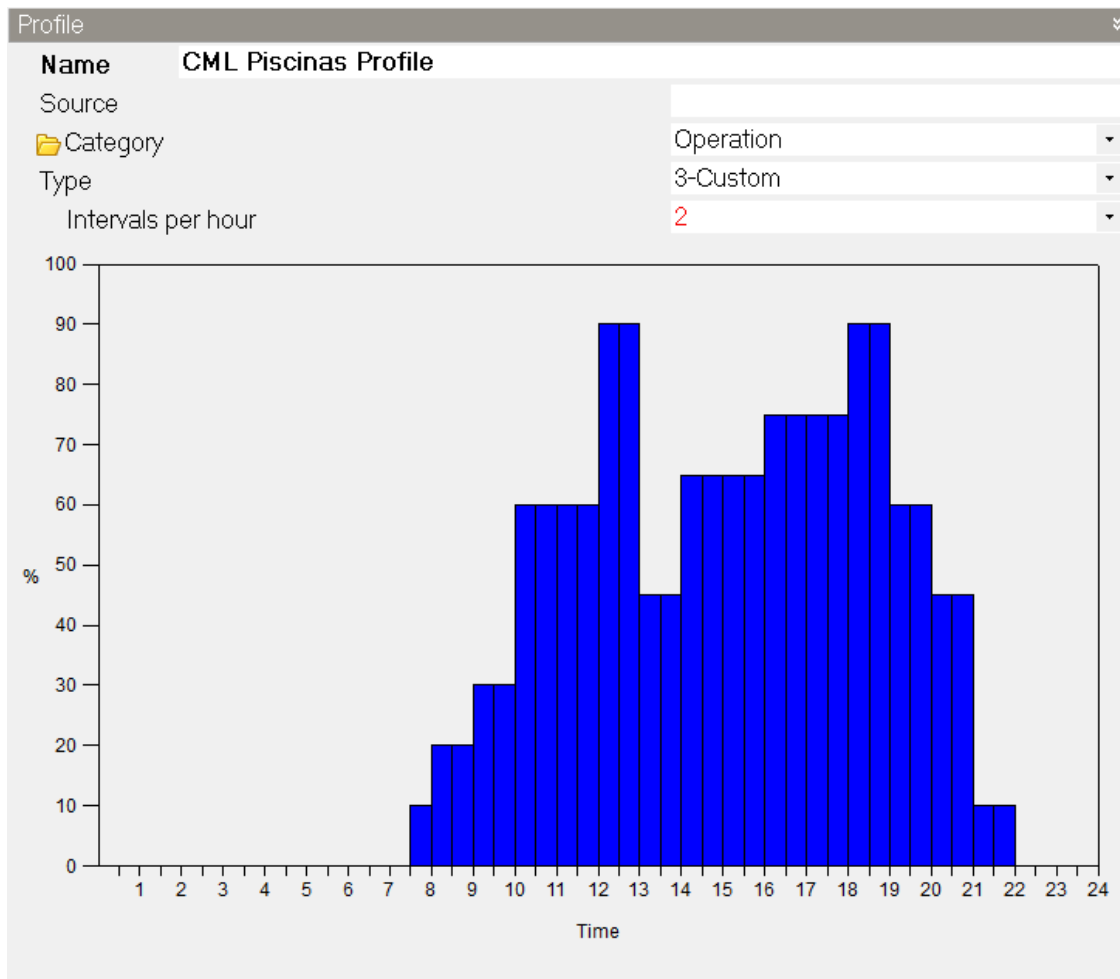


Figura 17: Calendarização da ocupação das piscinas em DB

Uma calendarização de temperatura define para todas as horas do dia a temperatura que se pretende manter num certo espaço. Esta é frequentemente constante, como é o caso da temperatura pretendida para as naves, pelo que facilita a criação destas calendarizações.

Também é possível a criação destas calendarizações em E+ através da definição de intervalos e da atribuição de percentagens de ocupação ou de temperaturas para cada

intervalo definido. Funciona um pouco como a programação de ciclos em linguagem C++ em que se indica ao *software* que até à hora definida se rege por este parâmetro e que desse até ao seguinte se rege por outro parâmetro então definido.

Para a definição de uma piscina interior no E+ é necessário o preenchimento de vários campos que são essenciais ao cálculo e à correta identificação da piscina e da sua localização no interior do edifício. O *software* considera que uma piscina ocupa totalmente a superfície que tem que ser identificada e selecionada das mil cento e oitenta e quatro superfícies que compõem a versão simplificada do complexo das piscinas. Depois de identificada essa superfície esta é considerada como fundo da piscina. Existe também a necessidade de definir a profundidade média da piscina, a existência de cobertura para os períodos de utilização zero, o caudal e calendarização da introdução de água fresca no sistema, o fator de atividade e calendarização da mesma, o fator de radiação da cobertura, se existir, o número máximo de ocupantes das piscinas, os setpoints de temperatura e os nós que servirão de ligação da piscina ao restante sistema AVAC.

Apesar de existirem três piscinas no complexo, duas delas estão inseridas na mesma nave e têm condições aproximadas pelo que para efeitos de simulação foram consideradas como uma só com as dimensões ajustadas para que a representação seja o mais fiel possível.

Quando todas as piscinas são devidamente criadas no separador *SwimmingPool:Indoor* do IDF Editor estas são conectadas ao *bypass* existente no *loop* de aquecimento do sistema de climatização, onde se integra o conjunto das caldeiras. As piscinas aparecem então em paralelo com o *bypass* do *loop* de aquecimento e com todas as *coils* de aquecimento que fazem parte do sistema de climatização.

Depois de definidas as piscinas é necessário definir os ramos nos quais elas se integram, bem como os nós de entrada e de saída de cada uma. Quando esta informação é definida é então possível introduzir estes ramos num *loop*, neste caso no *loop* de aquecimento já definido em DB.

O IDF Editor permite também identificar quais os *outputs* pretendidos na simulação do edifício e quais os que podem ser dispensados para poupar tempo de simulação.

Os *outputs* retirados da simulação são depois visualizados num outro programa, o Design Builder Results Viewer, também disponibilizado pela Design Builder, mas sendo este um *freeware*.

Como os tempos de simulação aumentam bastante com o número de superfícies existentes no edifício a simular e como o *software* tem dificuldades em simular múltiplas piscinas em paralelo optou-se por simular as naves, e todas as zonas com partilha de ar com as naves, como sendo edifícios independentes. Isto permitiu a criação de três blocos, a nave da piscina de competição, a nave da piscina recreativa e o edifício de apoio.

A simulação destes blocos permitiu a obtenção de resultados mais fiáveis e mais estáveis ao longo das simulações efetuadas. Os valores obtidos foram então tratados e compilados. Os resultados constam do capítulo seguinte.





## Capítulo 3

---

# Resultados da Simulação



### 3. Resultados da simulação

Os resultados a retirar das simulações realizadas ao edifício real, ou seja, o edifício como ele se encontrava após a conclusão das obras de expansão em 2003 e como ele se deve manter, aproximadamente, nos dias de hoje, são os valores que permitem avaliar o estado energético da instalação e obter os valores base para o início do estudo de melhoria da eficiência energética.

É importante para o estudo em questão, obter o máximo de informação ao nível de sistema de climatização, particularmente os consumos de gás natural nas caldeiras e de eletricidade no chiller, e no sistema de iluminação. Para além dos sistemas de climatização e iluminação, e tendo em conta que o edifício em estudo é um complexo de piscinas municipais, o outro principal consumo de energia é no aquecimento da água da piscina.

Em gestão de energia, é importante pesar os consumos de energia em duas escalas, uma energética e outra económica. Nem sempre os equipamentos que mais energia consomem são aqueles que mais impacto têm na fatura energética do edifício. O vetor energético influencia bastante o impacto do equipamento na economia do complexo.

Tendo em conta os parâmetros acima mencionados, procedeu-se a uma avaliação dos consumos de energia, sob a forma de eletricidade e gás natural, para a totalidade do edifício e para cada uma das naves em separado.

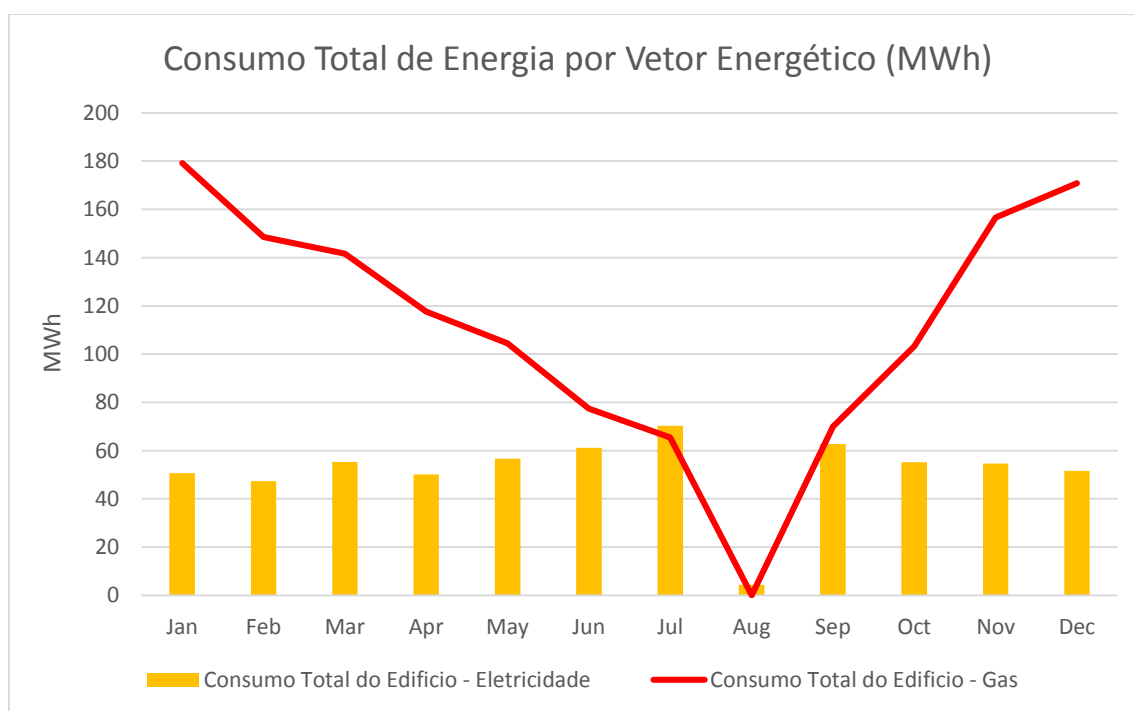


Figura 18: Consumo de energia por vetor energético numa base mensal

A Figura 18 demonstra claramente que o vetor energético que mais impacto tem nos consumos de energia, em termos de energia (kWh), é o gás natural, seja para o edifício num todo mas em particular nas naves onde o gás natural representa uma grande percentagem do consumo total de energia.

Para avaliar economicamente estes parâmetros consideram-se os valores efetivamente praticados pelas empresas fornecedoras de energia ao complexo das piscinas para o ano que foram disponibilizadas faturas do consumo energético. Assim, para os efeitos deste projeto, o preço médio da eletricidade foi de 0,080 € e o preço médio do gás natural foi de 0,052 € (ERSE 2015). Estes valores são valores médios tendo em conta os anos de 2009, 2010 e 2012 e tendo em conta os vários períodos de utilização da energia elétrica em proporção.

A análise financeira no ano simulado demonstra claramente que, apesar do consumo de gás natural ser superior ao consumo de eletricidade no complexo das piscinas municipais de Leiria, o custo associado ao gás natural é muito semelhante ao custo da eletricidade. Esta análise pode ser utilizada como ferramenta para priorizar o estudo das medidas de eficiência energética, dando mais relevância a medidas que diminuam o consumo de energia mais cara. Como neste caso em particular, o custo é semelhante em ambos os vetores energéticos, mas o consumo é mais elevado com o gás natural, o estudo das medidas de eficiência energética será iniciado com medidas para reduzir o consumo de gás natural.

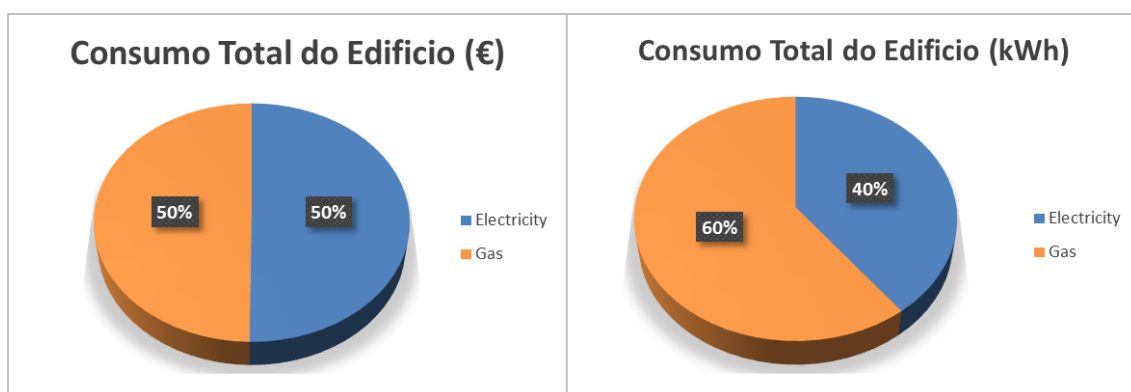


Figura 20: Análise comparativa do consumo energético anual em kWh e Euros

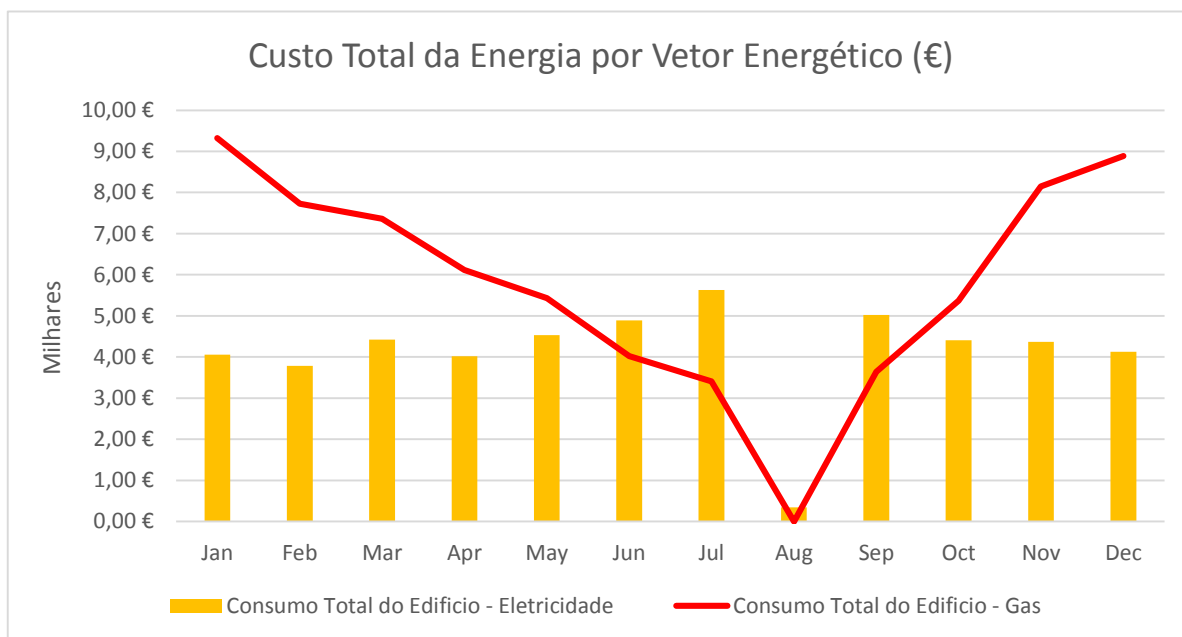


Figura 19: Custos mensais de energia



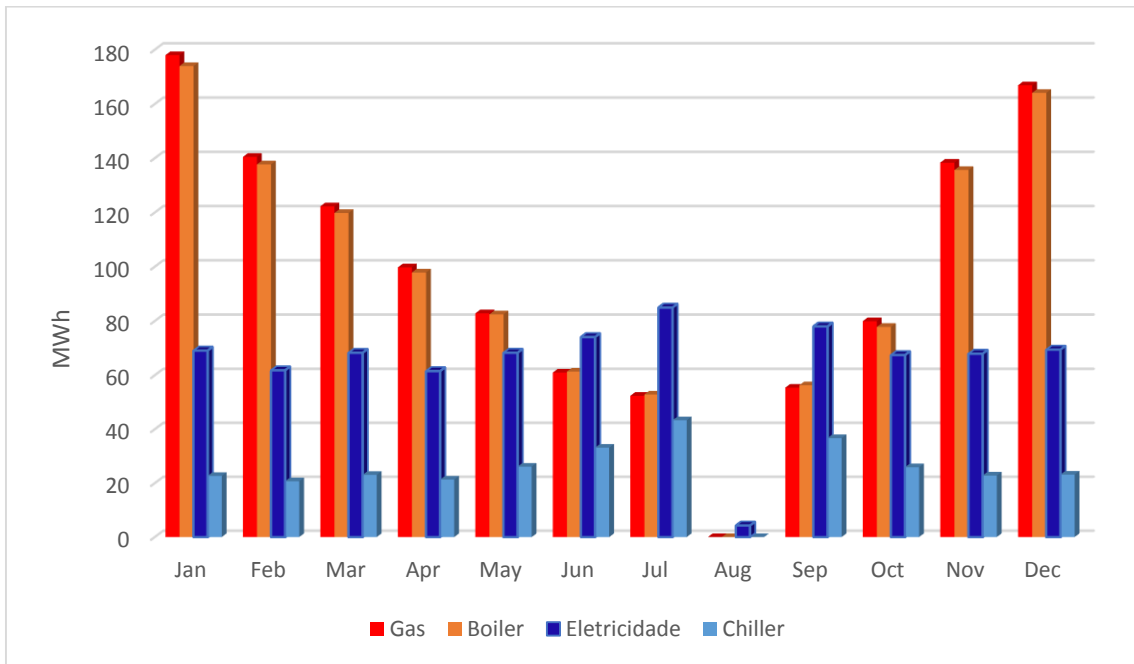


Figura 21: Consumo total de energia e do consumo dos principais equipamentos

A Figura 21 mostra os valores para o consumo, em MWh, de energia em eletricidade e gás natural, bem como os consumos associados aos principais equipamentos consumidores destes tipos de energia. Em valores médios, o consumo de gás natural na caldeira representa 99% do consumo de gás na instalação, sendo o resto usado nas serpentinas de aquecimento do ar no sistema de climatização. Já no que toca a eletricidade, os consumos associados ao *chiller* representam cerca de 38% dos consumos de eletricidade para todo o edifício. Os restantes 62% de energia elétrica é então distribuída pelo sistema de iluminação e bombagem bem como sistemas de apoio e equipamento de escritório, essenciais ao funcionamento do complexo.

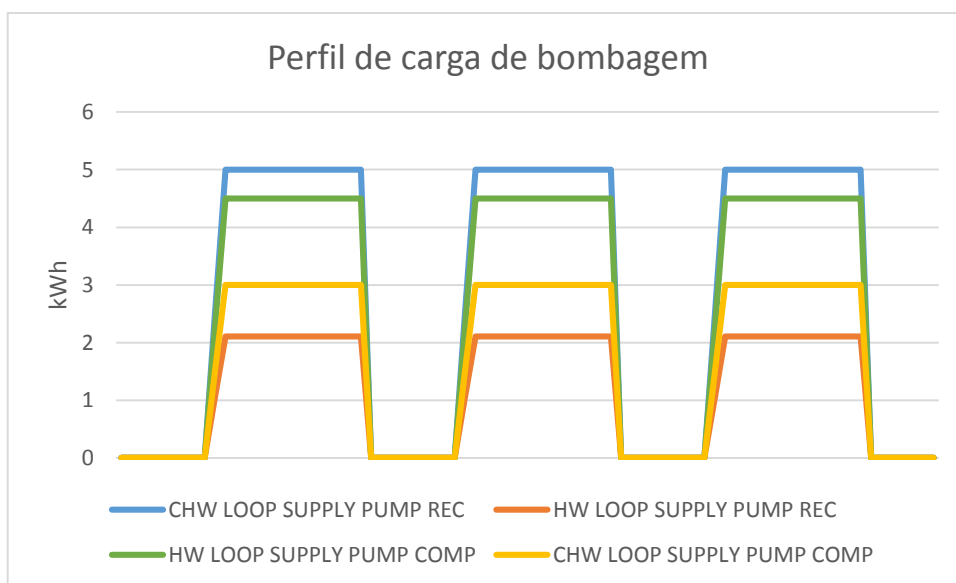


Figura 22: Diagrama de cargas de bombagem (Junho)

O gráfico da Figura 22 representa o diagrama de cargas do sistema de bombagem que faz parte do sistema de climatização do edifício. Como foi mencionado no capítulo 0, o sistema de bombagem é composto por várias bombas acopladas aos vários elementos do sistema de climatização e às piscinas, no entanto, em termos de simulação foram aproximadas por duas bombas, uma no *loop* de aquecimento e outra no *loop* de arrefecimento.

O excessivo tempo que o sistema de bombagem se mantém a 100% da carga pode ser indício de sob dimensionamento do sistema ou excesso de caudal requerido. Isto é principalmente visível no *loop* associado ao aquecimento de águas. Pode ser necessário a introdução de novas bombas mais eficientes ou de maior potencia no sistema de bombagem no *loop* mencionado.

O sistema de iluminação é responsável por cerca de trinta e cinco por cento da energia elétrica consumida no complexo.

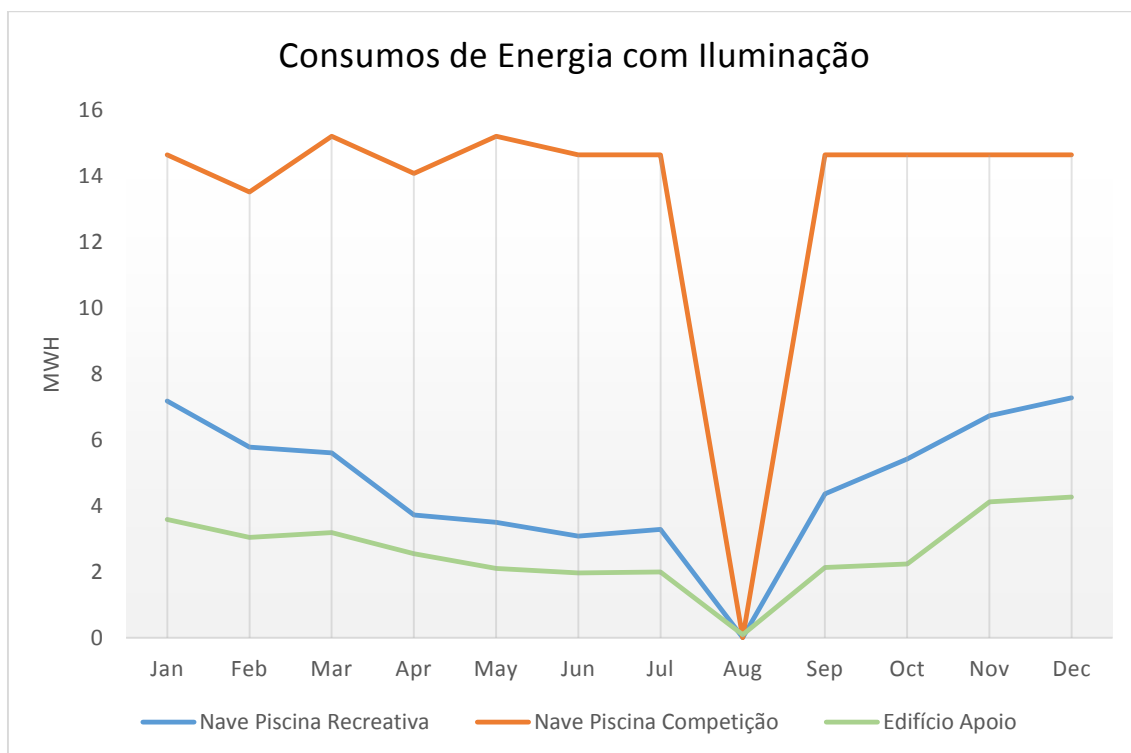


Figura 23: Consumos de eletricidade na iluminação por espaço

Como é possível determinar por análise da Figura 23, os consumos associados à nave da piscina recreativa são inferiores à da nave da piscina de competição apesar do sistema de iluminação desta ultima ter uma potência inferior à nave da piscina recreativa. Isto deve-se principalmente ao sistema de controlo de iluminação existente na nave mais recente que diminui consideravelmente o tempo de utilização das lâmpadas e consequentemente o seu consumo.

Já a Figura 24 mostra um consumo relativamente estável de energia com a iluminação ao longo do ano, com exceção do mês de Agosto.

Na coluna relativa ao consumo de energia em equipamentos constam todos os equipamentos de escritório, bombas do sistema de climatização, ventiladores, sistemas de controlo, entre outros aparelhos que consomem energia elétrica.

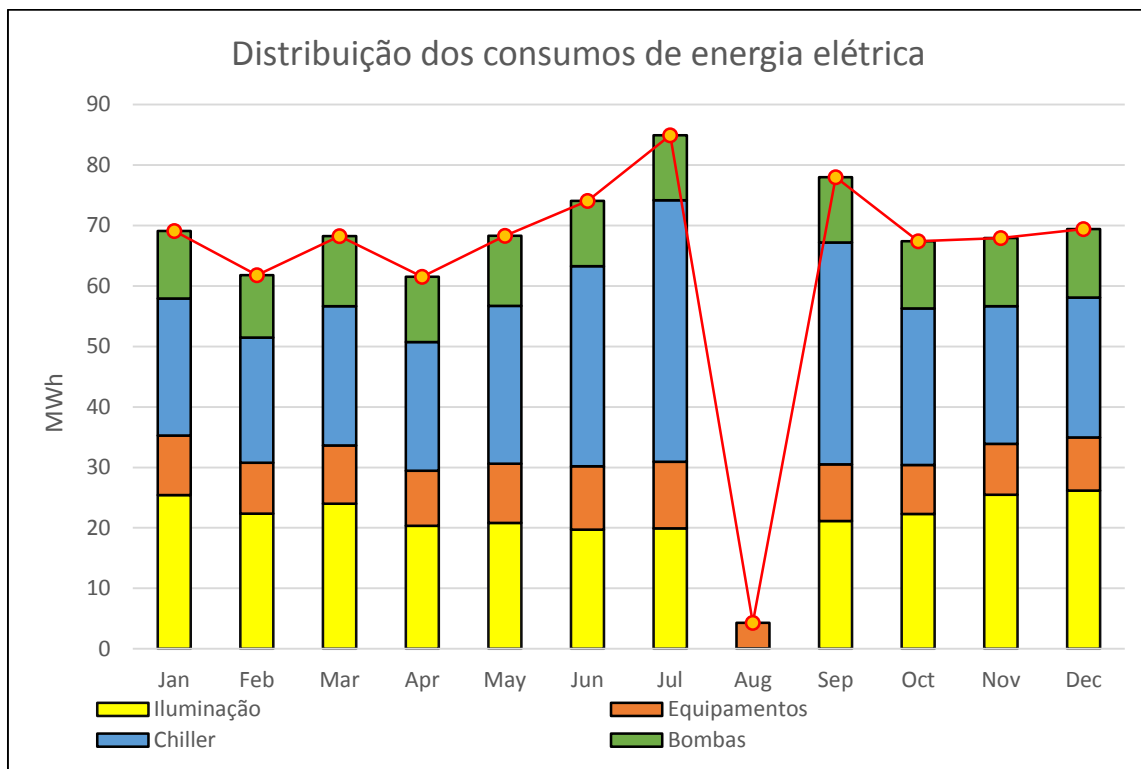


Figura 24: Análise comparativa do consumo de energia

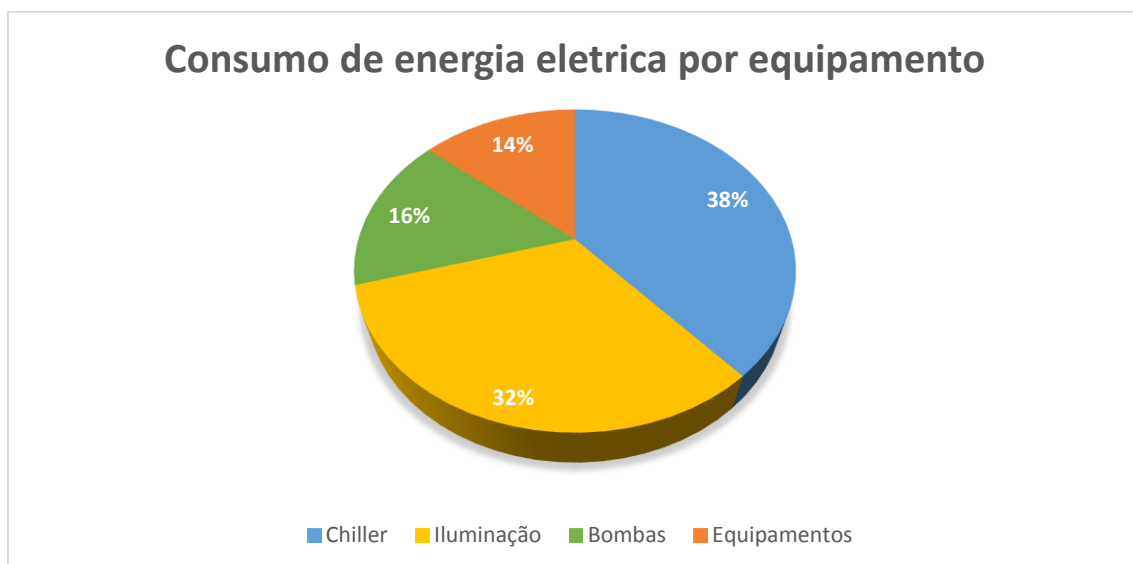


Figura 25: Distribuição do consumo de energia elétrica por tipo de consumo

Em suma, os consumos anuais de energia simulados para o complexo das piscinas municipais de Leiria são os compilados na Tabela 8.

Tabela 8: Consumos de energia no complexo para um ano de simulação

*Gastos de energia por tipo de consumo (kWh)*

	<b>Iluminação</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>Bombas</b>	<b>Arrefecimento</b>	<b>Aquecimento</b>
<i>Janeiro</i>	25.409	9.868	11.155	22.653	178.001
<i>Fevereiro</i>	22.337	8.438	10.345	20.694	140.479
<i>Março</i>	23.999	9.609	11.623	23.045	122.243
<i>Abril</i>	20.343	9.091	10.800	21.289	99.754
<i>Mai</i>	20.804	9.821	11.573	26.088	82.822
<i>Junho</i>	19.686	10.481	10.781	33.124	60.990
<i>Julho</i>	19.924	10.997	10.736	43.282	52.368
<i>Agosto</i>	86	4.217	0	0	0
<i>Setembro</i>	21.143	9.368	10.799	36.672	55.391
<i>Outubro</i>	22.300	8.111	11.147	25.873	79.902
<i>Novembro</i>	25.499	8.376	11.263	22.794	138.342
<i>Dezembro</i>	26.185	8.769	11.331	23.145	166.872
<b>Total</b>	<b>247.716</b>	<b>107.145</b>	<b>121.553</b>	<b>298.659</b>	<b>1.177.164</b>

Com os valores obtidos é então possível ponderar quais as medidas de eficiência energética que mais influência podem ter nos custos com a energia do edifício em estudo, criando uma escala para a prioridade na procura e definição das medidas de melhoria a propor para o complexo das piscinas municipais de Leiria.

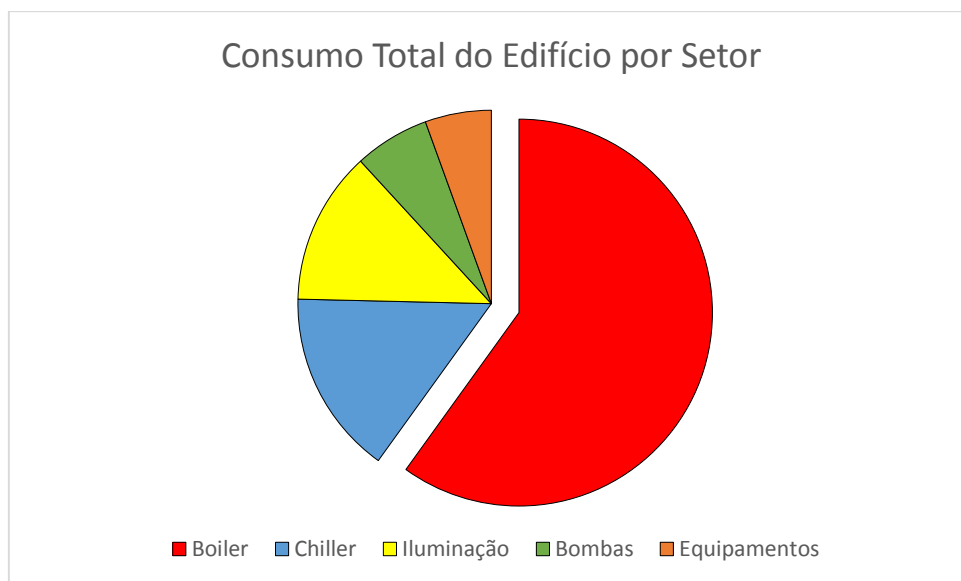


Figura 26: Esquematização dos valores de Tabela 8

Ao longo do próximo capítulo serão avaliadas várias medidas de eficiência energética tendo em conta os valores obtidos neste capítulo.

### 3.1. Comparação dos resultados obtidos com valores faturados

Com o intuito de validar os resultados obtidos pela simulação efetuada em Energy Plus os valores mensais de consumo de energia, tanto na forma de gás natural como na forma de eletricidade, foram comparados com os valores efetivamente faturados à

Câmara Municipal de Leiria. Infelizmente foi impossível obter os dados de faturação para o ano de 2003 e os dois anos seguintes que seriam os anos que melhor representariam a instalação tal como ela foi simulada. É de recordar que o complexo sofreu alterações ao nível de equipamentos ao longo dos anos mas que para efeitos deste projeto considerou-se o complexo como ele foi projetado e efetivamente construído em 2003.

Os valores disponibilizados correspondem aos anos de 2009, 2010 e 2012.

Tabela 9: Valores de energia faturados

	2009		2010		2012		Ano Médio	
	Elect (kWh)	Gás (kWh)	Elect (kWh)	Gás (kWh)	Elect (kWh)	Gás (kWh)	Elect (kWh)	Gás (kWh)
<b>Janeiro</b>	101.377	258.348	90.475	228.879	101.664	197.142	97.839	228.123
<b>Fevereiro</b>	119.427	223.094	112.697	196.923	101.251	197.224	111.125	205.747
<b>Março</b>	104.670	205.490	95.496	235.677	94.288	175.235	98.151	205.467
<b>Abril</b>	103.675	280.938	104.829	151.611	101.122	162.762	103.209	198.437
<b>Maio</b>	114.089	146.930	103.039	125.443	98.376	115.704	105.168	129.359
<b>Junho</b>	128.498	74.850	107.052	102.827	99.280	80.635	111.610	86.104
<b>Julho</b>	124.145	77.734	101.896	68.725	97.894	73.964	107.978	73.474
<b>Agosto</b>	69.243	12.221	63.358	3.210	75.024	25.803	69.208	13.745
<b>Setembro</b>	108.400	98.313	98.590	81.201	90.346	68.944	99.112	82.819
<b>Outubro</b>	116.129	136.873	99.235	104.348	81.295	135.319	98.886	125.513
<b>Novembro</b>	115.245	184.754	118.517	161.315	61.751	217.073	98.504	187.714
<b>Dezembro</b>	107.659	215.539	120.652	164.533	60.362	247.511	96.224	209.194

Por comparação com os valores da tabela que originou a Figura 18, é possível verificar que os valores obtidos através da simulação são valores muito conservadores de consumo de energia. Em média os valores simulados para a eletricidade e gás são 50% inferiores aos valores reais faturados.

Esta disparidade deve se em parte à definição de horários e calendarizações que são definidas em projeto de forma conservadora mas que não são cumpridas na utilização do dia-a-dia. Também a falta de manutenção nas unidades de tratamento de ar, como a mudança de filtros e limpeza dos ventiladores pode originar perdas de carga superiores o que pode originar maiores consumos de energia elétrica.

Outro fator que contribui para esta disparidade é a abertura de um restaurante no complexo das piscinas que contribui de forma significativa para os consumos de eletricidade e gás natural do complexo como um todo.

Para efeitos de projeto considerou-se que a piscina se encontra encerrada no mês de agosto todo e que por conseguinte não existe consumo de gás natural e de quase

nenhuma energia elétrica, no entanto as faturas não refletem esse cenário. O funcionamento de todo o edifício apoio onde se encontram ginásios, lojas, restaurantes e todo o serviço de administração das piscinas encontra-se em funcionamento durante o mês de agosto o que resulta em disparidades nos valores simulados e faturados.

De futuro, havendo interesse por parte da entidade gestora do complexo das piscinas municipais, os valores usados nas simulações podem ser ajustados a um cenário mais representativo da realidade das piscinas e do seu funcionamento ao longo do ano tendo em conta não só as piscinas interiores mas também todo o edifício apoio que se encontra fora do contexto deste trabalho.

Apesar destas divergências, o modo como os valores oscilam ao longo do ano e a quantidade que distam em termos de kWh os valores simulados e faturados, permitem concluir que os valores resultantes da simulação são pertinentes e representativos do consumo energético.

## Capítulo 4

---

# Medidas de Melhoria da Eficiência Energética





#### **4. Medidas de melhoria da eficiência energética**

Neste capítulo serão apresentadas integralmente as alternativas estudadas para a redução dos consumos de energia do complexo das piscinas municipais de Leiria, mais especificamente nas piscinas interiores.

A generalidade das medidas estudadas são as medidas mais bem aceites e com melhores resultados comprovados pela comunidade científica e gestores de energia, na redução dos consumos de energia em edifícios e particularmente em piscinas interiores.

Tendo em conta os resultados obtidos no capítulo anterior, optou-se por iniciar o estudo das medidas de eficiência energética por medidas que tenham um impacto direto no consumo de gás natural, pois este é o vetor energético que representa uma maior fatia dos consumos de energia do complexo. Numa segunda parte do presente capítulo entrar-se-á no estudo das medidas de eficiência propostas para a redução do consumo de eletricidade.

Como medidas de eficiência energética e uso racional da energia focadas na redução do consumo de gás natural foram estudadas as seguintes medidas:

- Instalação e utilização de coberturas térmicas para as piscinas em períodos de não utilização da piscina;
- Ajuste dos setpoints de temperatura definidos para as naves;
- Pré-aquecer a água de entrada da piscina com permuta de calor com água extraída da piscina;
- Substituição das caldeiras existentes por uma caldeira a biomassa;
- Instalação de um sistema de coletores solares térmicos para aquecimento de água.

Como resultado da análise do Capítulo 3, considerou-se que o consumo de eletricidade se divide em três grandes grupos, chiller, equipamentos e iluminação, onde estão incluídas as bombas integrantes do sistema de climatização. Para cada um destes grandes grupos de consumo energético foram propostas medidas independentes.

As medidas estudadas e avaliadas para a redução deste tipo de consumos foram:

- Aproveitamento energético do calor perdido no chiller;
- Manutenção das UTA para redução das perdas de carga do sistema de ventilação;
- Ajuste do nível de iluminância e da calendarização do sistema de iluminação;
- Instalação de um sistema de controlo de iluminação na nave da piscina de competição;
- Substituição das lâmpadas que compõem a sistema de iluminação.

##### **4.1. Medidas de redução do consumo de gás natural**

###### **4.1.1. Cobertura térmica para piscinas**

###### **4.1.1.1. Cobertura térmica de espuma**

Para a redução do consumo de gás natural, uma das medidas universalmente mais bem aceites e que mostra melhores resultados é a instalação de uma cobertura térmica para reduzir a evaporação da água e perdes de calor por radiação e convecção pelo plano de água.

A introdução de coberturas em piscinas interiores aquecidas, em períodos de utilização zero, leva a uma redução substancial nos consumos de energia devido à redução da energia introduzida no sistema através da radiação que leva a um aumento da energia global do sistema e conseqüentemente da evaporação de água quente. Esta água é conseqüentemente substituída por água fria que tem que ser aquecida nas caldeiras resultando em maiores consumos de gás natural. Ao mesmo tempo que reduz a quantidade de energia que entra no sistema por radiação também reduz significativamente as trocas de calor por convecção entre o ar e a piscina.

Foi testada a introdução de uma cobertura térmica de espuma de 5mm de espessura, AstralPool. Trata-se de uma cobertura flutuante composta de três camadas, uma superfície superior composta por tecido reforçado com película PE, espuma PE reticulada de superfície piramidal e uma superfície inferior composta por uma película especial, resistente aos ataques químicos e microbiológicos que podem resultar do contacto com a água da piscina e dos químicos que nesta existem.

A cobertura térmica tem um coeficiente global de transferência de calor de 3,6 W/m<sup>2</sup>K o que representa uma boa resistência à troca de calor e está em conformidade com a norma DIN 52 612.

A cobertura térmica de espuma é mais utilizada em piscinas interiores e para piscinas de uso sazonal para servir como cobertura de inverno, pois é a que mais facilmente isola totalmente a piscina do exterior e tem maior rigidez para servir como cobertura de segurança. É também por isso a que mais facilmente evita as perdas de calor por evaporação.

Esta cobertura tem um custo de 51,01€ por cada metro quadrado de área coberta ao qual se adiciona o valor do desenrolador necessário à operação da mesma. No total das três piscinas e para o orçamento obtido, o investimento total requerido para esta medida são 35.891,15 €.

Adicionando coberturas térmicas na simulação realizada em E+ e comparando os resultados obtidos com os resultados da simulação obtidos no capítulo 3, obteve-se a seguinte tabela.

Tabela 10: Análise das poupanças conseguidas na caldeira e no chiller com a aplicação da cobertura

	<i>Poupança na Caldeira</i>	<i>Poupança no Chiller</i>	<i>Poupança Total</i>
<b>Janeiro</b>	6.158,39	245,70	6.404,09
<b>Fevereiro</b>	3.598,20	-29,59	3.568,62
<b>Março</b>	2.532,08	-220,80	2.311,28
<b>Abril</b>	2.054,19	-253,82	1.800,38
<b>Maior</b>	1.373,34	-230,39	1.142,95
<b>Junho</b>	840,28	-157,90	682,37

<b>Julho</b>	855,86	20,56	876,42
<b>Agosto</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Setembro</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Outubro</b>	315,14	0,00	315,14
<b>Novembro</b>	769,20	-596,05	173,15
<b>Dezembro</b>	3.308,13	-175,22	3.132,92
	<b>Total (kWh)</b>		20.407,32
	<b>Total (€)</b>		1.671,72

Tendo em conta os valores obtidos de investimento e poupança anual para esta medida é fácil determinar o período de retorno do investimento ou payback. Para a medida proposta obteve-se um payback de 21,47 anos.

#### 4.1.1.2. Cobertura térmica de bolhas simples de 400 µm

Foi avaliada a possibilidade de aplicar uma cobertura térmica de bolhas AstralPool de 400 µm com características térmicas ligeiramente piores que a cobertura térmica de espuma. O fator de radiação a longa distância definido para a cobertura em azul é de 60%, ou seja, 60% da radiação incidente é refletida em vez de transmitir a sua energia à água da piscina.

O custo da cobertura térmica de bolhas AstraPool é de 11,16 €/m<sup>2</sup>, o que resulta num total de investimento de 11.383,40 €, para o mesmo desenrolador da opção estudada anteriormente.

A análise desta medida permite uma poupança anual de 1.408,25 € e um período de retorno de 8,08 anos.

#### 4.1.1.3. Cobertura ultra isotérmica de bolhas 500 µm

Considerou-se a aplicação de uma cobertura ultra isotérmica de bolhas de 500 µm com forro exterior azul-escuro opaco e interior dourado. Esta cobertura permite uma taxa de evaporação muito reduzida devida à baixa transmissão de energia para a água através da radiação exterior. Também, e sendo uma cobertura ultra isotérmica, a taxa de transmissão de calor por convecção com o ar da nave é muito reduzida.

O custo desta cobertura de gama alta é de 17,96 €/m<sup>2</sup> o que resulta num investimento total de 15.565,40 € para o mesmo desenrolador que nos casos anteriores.

Os resultados da simulação demonstram uma redução nos custos com o gás natural de 1.524,72 € anuais, o que é um valor de poupança muito semelhante à poupança obtida na cobertura térmica de bolhas simples. O período de retorno do investimento é de 10,21 anos.

#### 4.1.2. Ajuste dos setpoints de temperatura

Os setpoints definidos para as naves são de 28°C e 30°C para a nave da piscina de competição e recreativa, respetivamente. Apesar de estes valores estarem dentro dos

intervalos considerados como ótimos para piscinas interiores com condições semelhantes, estes são muito próximos dos valores máximos desse intervalo.

Avaliou-se a possibilidade e o impacto de reduzir os setpoints definidos 1°C, para os 27°C e os 29°C. Para além da descida da temperatura da água, e para manter as condições operacionais semelhantes também a temperatura da nave é ajustada para se manter apenas 1°C acima da temperatura da água da piscina.

Os resultados da simulação indicam uma poupança de 15.863,24 € anuais sem qualquer necessidade de investimento em novos equipamentos. A maior poupança regista-se no que toca ao consumo de gás na caldeira que representam 90,3% da poupança prevista.

A aplicação desta medida envolve, no entanto, um estudo de conforto térmico com os utentes da piscina para que haja certezas de que o conforto térmico global não é predicado. A contratação de uma equipa auditora para analisar detalhadamente os parâmetros de conforto das naves é aconselhável. A gestão de energia só faz sentido se não prejudicar o normal funcionamento do complexo.

#### **4.1.3. Pré-aquecimento da água à entrada da piscina**

De acordo com o Portal da Saúde Pública, as piscinas interiores públicas, como é o caso das piscinas do complexo em estudo devem ter uma renovação total da água a cada seis horas de uso. Para o horário de funcionamento das 7h30 às 22h existe a necessidade de renovar a totalidade da água das três piscinas pelo menos três vezes ao dia.

As três piscinas comportam um total de 1480 m<sup>3</sup> de água, ou seja a quantidade de água que tem que ser aquecida todos os dias para que a temperatura da água das piscinas seja constante é de cerca de 4400 m<sup>3</sup>.

Aproximando as propriedades da águas das piscinas pelas propriedades da água a 305 K e considerando que as condições se mantêm constantes ao longo do tempo, determinou-se que o consumo diário de energia para o aquecimento da água dedicada à renovação periódica e obrigatória da água da piscina é de 348,65 kWh o que resulta num total anual de 97.622,47kWh. Esta determinação baseia-se num valor arbitrado médio de 12 °C para a água fria e para uma temperatura à saída da caldeira de 80 °C.

Este valor pode ser reduzido consideravelmente através de um pré-aquecimento da água fria à entrada do permutador de calor. Avaliou-se a possibilidade de pré-aquecer esta água através de um permutador de calor onde a fonte de calor seria a água quente que está constantemente a ser retirada da piscina.

Para fazer este aproveitamento seria introduzido um permutador de calor de placas à saída da piscina e antes da água ser reencaminhada para o tanque auxiliar. A água retirada das piscinas pelas grelhas de extração ao seu redor, seria reencaminhada para o permutador onde seria forçada a circular por entre as placas do mesmo trocando assim calor com a água fria.

Efetando mais umas considerações no que toca à eficiência do permutador e à temperatura da água à entrada do permutador de placas que se pretende avaliar,

considerou-se que o permutador terá uma eficiência de 80% e a água chega ao permutador a 27 °C.

Recorrendo à mesma metodologia de cálculo determinou-se que é possível uma recuperação energética de 61,53 kWh por dia num total anual de 17.277,49 kWh. Contando esta energia como poupança de gás natural para o aquecimento da água obtém-se uma poupança monetária anual de 895,83€.

Sendo que o caudal de água retirado da piscina é de 4400 m<sup>3</sup> por dia e que cada dia tem quinze horas de utilização isso resulta num caudal removido da piscina de 0,081 m<sup>3</sup> por cada segundo, ou seja, oitenta e um litros de água por cada segundo. Para processar esta quantidade de água é necessário um permutador de calor com uma série de placas que seja capaz de suportar uma troca de calor e um caudal da dimensão mencionada.

Recorrendo ao catálogo online da empresa Lux Magna para permutadores de calor de placas e selecionando o modelo usado para trocas de calor entre água quente da caldeira e água de uma piscina, o modelo M3-FM 41 com uma capacidade de processar 9600 litros por hora chegou-se à conclusão que seriam necessários mais de trinta permutadores de calor para processar a totalidade da água. Uma instalação dessa dimensão numa instalação não preparada para tal seria desde logo um enorme obstáculo, mas caso esse obstáculo físico não existisse, o facto de cada permutador ter um custo de 1.638 € o que resultaria num investimento total de quase 50.000 € certamente inviabilizaria esta medida. Na indústria a recuperação de calor através do calor residual produzido por grandes máquinas térmicas é um processo muito utilizado, no entanto, os gradientes de temperatura são muito superiores ao assumido para este caso de estudo.

#### **4.1.4. Integração de energias renováveis**

Atualmente o aproveitamento da energia de fontes renováveis é um dos principais focos da gestão de energia. A existência de fontes de energia limpa, virtualmente inesgotável e a custo zero pronta a ser aproveitada para satisfazer as necessidades energéticas e térmicas da população é algo que não pode ser continuamente ignorado. O aproveitamento das mesmas, principalmente nuns pais com as condições climatéricas de excelência para o aproveitamento deste tipo de energia, é essencial para o cumprimento das metas estabelecidas pela Europa para 2020 e para a sustentabilidade global do nosso planeta como um todo.

No caso particular do complexo de piscinas interiores em estudo avaliou-se a possibilidade da introdução de painéis solares térmicos para a redução dos consumos de energia nas caldeiras a gás natural com o aquecimento da água das piscinas e a substituição das caldeiras por uma caldeira a gás natural de potência equivalente.

##### **4.1.4.1. Substituição de caldeiras a gás natural por caldeira a biomassa**

A potência máxima consumida ao longo de um ano de simulação para o cenário base é de 699,63 kW, no entanto os diferentes anos não têm as condições idealizadas pelo ficheiro climático utilizado, pelo que existe a necessidade de sobre dimensionar a

caldeira para o sistema de aquecimento para que não haja falhas no sistema. Tendo isto em conta considerou-se que os 847 kW de potência definida para as caldeiras a gás natural é um valor aceitável e é com base nele que será selecionada uma caldeira a biomassa.

Como as caldeiras a gás natural existentes no complexo estão ainda funcionais e em boas condições faz sentido rentabilizar o investimento feito nas mesmas ao máximo e atribuir-lhes uma funcionalidade. Seguindo esta linha de raciocínio a solução proposta vai no sentido de adquirir uma caldeira a biomassa para servir as necessidades base de aquecimento, até 350 kW, e manter as caldeiras a gás para colmatar os picos de consumo. Esta solução permite também uma redução na potência requerida no dimensionamento de uma nova caldeira a biomassa.

Para obter 350 kW à saída da caldeira a biomassa, cuja eficiência ronda os 80%, são necessários 437,5 kW térmicos à entrada da caldeira.

Para ajudar no dimensionamento e seleção de uma caldeira a biomassa pediu-se o contributo do engenheiro José Almeida da Ventil – Engenharia do Ambiente. O modelo Ventil que mais se adequa às necessidades do projeto, é o modelo de 500 kW.

Sabendo qual a potência necessária para a nova caldeira a biomassa existe a necessidade de estimar o consumo de pellets ou estilha associado. Considerando pellets classe A1 com 18,5 MJ/kg de poder calorífico no combustível em base seca e 10% de humidade facilmente se obtém um poder calorífico em base tal e qual de 16,7 MJ/kg. Considerando uma estilha de pinheiro, com um PCI 12,6 MJ/kg, e uma humidade 30%, obtém-se um PCS de 18 MJ/kg. Com base nestes valores, disponibilizados pela Ventil, pode-se calcular o consumo de biomassa em base tal e qual.

Sabendo os PCI dos combustíveis, a potência da caldeira, e o período de funcionamento da mesma, que se assume igual ao período de funcionamento das caldeiras a gás natural, calculou-se o consumo de biomassa anual para a instalação. O consumo de pellets e estilha calculados é de 231 toneladas por ano e 305 toneladas por ano respetivamente.

O custo dos pellets é de 180€ por tonelada e o custo da estilha é em média 90€ tonelada, valores estes que são depois acrescidos do IVA.

Para calcular a poupança anual em combustível resultante destas medidas é necessário avaliar quanto do gás natural consumido no cenário base é acima dos 500 kW de potência, pois este consumo irá manter-se independentemente da medida a avaliar. Tendo em conta o perfil de consumo de energia nas caldeiras determina-se facilmente que, para potências superiores a 500 kW, existe um consumo de energia de 77.643 kWh. O restante consumo de gás natural, que é o que pode ser abatido pela introdução de caldeiras a biomassa, corresponde a um custo anual de 51.175 €.

O novo custo total anual calculado com o combustível é de 41.492 € para os pellets e de 27.414 € para a estilha, o que resulta numa poupança, também esta anual, de 15.683 € e de 29.761 € para os respetivos tipos de biomassa sólida.

É de notar que para a realização destes cálculos se considerou um perfil de consumo igual ao simulado para as caldeiras a gás natural.

Com base numa estimativa orçamental disponibilizada pela Ventil considera-se que o investimento numa solução deste género ronde os 100.000 €. Este valor inclui já a caldeira, sistemas de análise do efluente gasoso, sistema de filtragem de gases de combustão e de ar fresco, sistema digital de controlo e montagem. Para além disso é necessário ter em conta que a instalação ocupa em média 150 m<sup>2</sup> de área e que pode haver a necessidade de construção de um anexo para albergar a instalação e que existe necessidade de manutenção da caldeira principalmente para o sistema a estilha que tende a libertar mais cinzas.

A instalação da caldeira a biomassa a pellets tem um período de retorno do investimento de 6,38 anos. A caldeira a estilha tem um payback muito inferior, 3,36 anos, mas também requer uma ligeiramente maior manutenção.

#### **4.1.4.2. Instalação de painéis solares térmicos**

Continuando numa ótica de aproveitamento energético renovável avaliou-se a possibilidade de instalar um sistema de aquecimento de águas através da energia solar. Este sistema seria composto por um conjunto de painéis solares térmicos, um termoacumulador e uma bomba para que haja circulação forçada da água.

A primeira opção testada foi a instalação de dez painéis SOL 200 da BAXI de montagem vertical. Estes painéis são compostos por uma placa absorvente de alumínio com tratamento superficial altamente seletivo unida ao circuito hidráulico de serpentinas de cobre através de uma soldadura a laser. A cobertura é de vidro texturizado de 3,2 mm temperado e de baixo teor em ferro. O coletor é isolado, na parte posterior da placa de alumínio, com lã de vidro de 40 mm de espessura. Tem uma área de superfície de 2,01 m<sup>2</sup>, uma capacidade de 1,9 litros e uma pressão máxima de trabalho de 10 bar.

O cálculo da energia produzida pelo coletor solar é baseada nos valores normalizados de temperatura mensais ao longo de um ano típico e nos valores obtidos através de simulação para a radiação direta incidente por metro quadrado.

Os valores normalizados de temperatura para um ano típico são os valores médios para os anos de 1981 até 2010 disponibilizados pelo site do Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Os valores obtidos pela simulação correspondem à energia solar incidente sobre a nave da piscina recreativa onde se pretende instalar os coletores solares dada a geometria da cobertura que facilita a instalação. Estes valores já têm em conta os valores médios de insolação e a constante de irradiação solar que ronda os 1000 W/m<sup>2</sup>.

Tendo em conta estes dados e a curva de rendimento do coletor solar, que consta do catálogo de coletores solares térmicos da BAXI, é então possível calcular o rendimento máximo do coletor e a produção de energia na forma de calor esperada para as condições definidas.

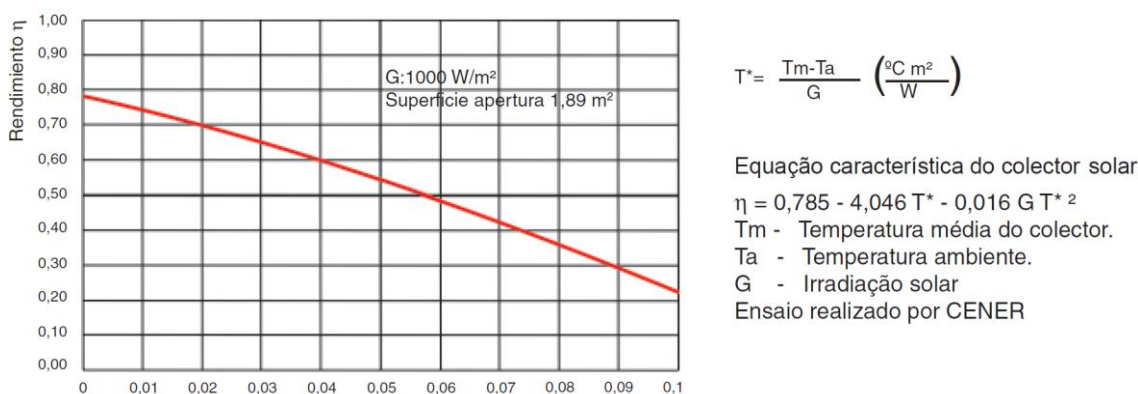


Figura 27: Curva de rendimento do coletor solar SOL 200 da BAXI

A Figura 27 mostra a curva de rendimento para o coletor solar selecionado bem como as equações disponibilizadas para o cálculo do rendimento dos mesmos.

Considerando uma temperatura média do coletor de 65°C e uma área de coletores de 20,1 m<sup>2</sup>, ou seja, dez coletores, calculou-se o rendimento para cada mês do ano de referência e a energia produzida pelo mesmo.

Tabela 11: Valores mensais usados para o cálculo da energia térmica produzida

	Direct Solar Rad (kWh/m <sup>2</sup> )	Normalized Temp. (°C)	T* (°C m <sup>2</sup> /W)	η (%)	Energy Produced (kWh)
<b>Janeiro</b>	81,93	14,8	0,0502	54,16%	891,84
<b>Fevereiro</b>	97,76	16,2	0,0488	54,95%	1.079,71
<b>Março</b>	140,42	18,9	0,0461	56,45%	1.593,18
<b>Abril</b>	159,28	19,9	0,0451	57,00%	1.824,84
<b>Mai</b>	198,35	22,4	0,0426	58,36%	2.326,71
<b>Junho</b>	240,76	26,2	0,0388	60,39%	2.922,53
<b>Julho</b>	252,81	28,4	0,0366	61,55%	3.127,51
<b>Agosto</b>	238,26	28,7	0,0363	61,70%	2.955,05
<b>Setembro</b>	178,90	27,3	0,0377	60,97%	2.192,48
<b>Outubro</b>	134,14	22,7	0,0423	58,52%	1.577,91
<b>Novembro</b>	95,81	18	0,0470	55,95%	1.077,41
<b>Dezembro</b>	70,20	15,4	0,0496	54,50%	768,91

Esta energia produzida resulta num total de 22.338,09 kWh de energia produzida no ano de referência, valores que representa cerca de 2% de toda a energia consumida nas caldeiras para produzir água quente. Esta produção de energia através de uma fonte de energia renovável resulta numa poupança monetária de 1.161,58€ pela poupança de gás natural.

Tendo em conta o custo dos coletores, dos suportes, dos acoplamentos e todos os acessórios de montagem, esta instalação tem um custo inicial de 2.184,90 € sem incluir a mão-de-obra necessária à instalação do sistema. O período de retorno do investimento esperado para esta medida de eficiência é de 1,88 anos.

#### 4.2. Medidas de redução do consumo de energia elétrica



Após a avaliação de algumas medidas para a redução do consumo de gás natural procedeu-se à avaliação de medidas para a redução do consumo de eletricidade. Estas medidas forçar-se-ão maioritariamente no equipamento que mais eletricidade consome, o chiller. O outro grande consumidor de energia elétrica é o sistema de iluminação e os equipamentos associados ao sistema de ventilação.

#### 4.2.1. Chiller

O *chiller* tem um funcionamento em tudo semelhante a uma enorme máquina frigorífica. Como já foi mencionado no capítulo 0 o *chiller* produz água fria através da troca de calor entre a água e um fluido de refrigeração, R 134-A, e expõe essa energia extraída à água sob a forma de ar quente no condensador. Esta energia, não sendo aproveitada, resulta numa ineficiência na troca de calor por parte do *chiller*, no entanto esta pode ser aproveitada para fazer aquecimento de outro espaço ou até um pré aquecimento da água.

Para determinar a energia expelida pelo condensador, ou seja, o potencial de aquecimento não aproveitado no chiller existe necessidade de:

- Determinar a energia usada no *chiller*;
- Determinar a energia perdida pela água no processo de arrefecimento;
- Fazer um balanço de energia para determinar a energia que é perdida para o ar exterior.

Para a realização dos cálculos o *software* assume alguns valores de parametrização do *chiller* como o caudal de água fria produzido, o caudal de fluido condensado e as temperaturas de entrada e saída da água.

O *chiller* tem uma potência total de 636 kW, a soma das potências de aquecimento e arrefecimento, e tem um COP de 3,1 para o arrefecimento. A água à entrada encontra-se a 12 °C e à saída a 6,67 °C. Este valor de 12 °C é um valor estimado para a temperatura da água da rede ao longo do ano. O caudal de água fria produzida no *chiller* é de 0,0294 m<sup>3</sup>/s. Com base nestes valores é possível determinar a energia perdida pela água no processo de arrefecimento e compara-lo com o valor de energia consumida anualmente pelo *chiller*.

Sabendo que o calor trocado é igual ao produto do caudal mássico pelo coeficiente de transferência de calor e pela variação da temperatura na água, facilmente se obtém um calor perdido no condensador de 124,70 kW para as condições acima mencionadas e para um chiller em plena carga. Usando os valores simulados para definir o perfil de carga para o *chiller*, na Figura 28, e assumindo 4.275 horas de funcionamento obtém-se um valor anual de calor perdido no condensador de 187.571,92 kWh, o que corresponde a 63% da energia total consumida neste equipamento.

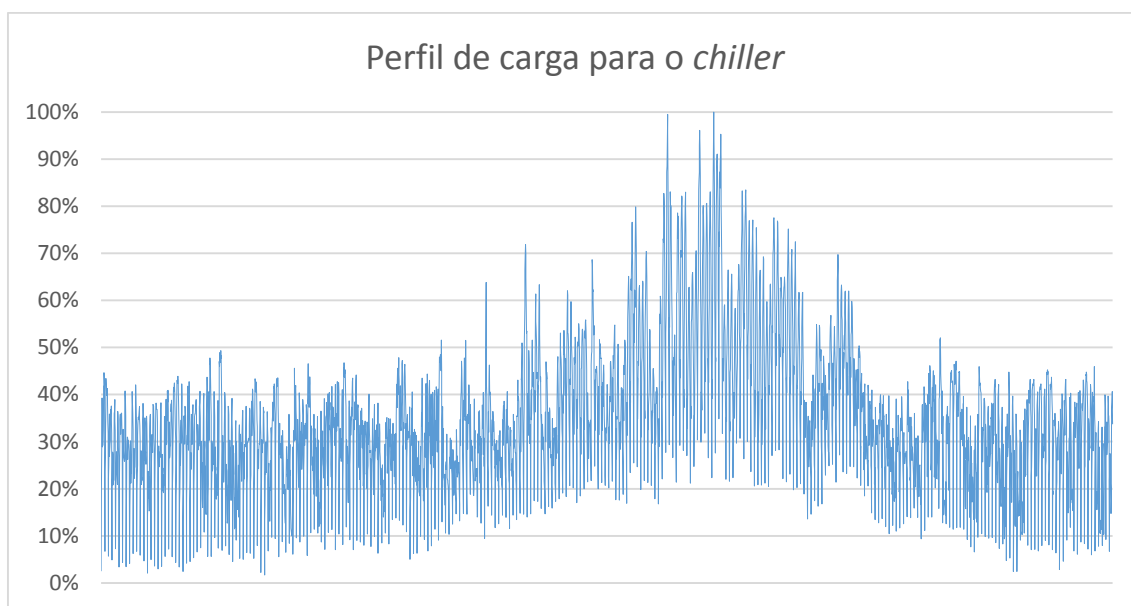


Figura 28: Perfil de carga do chiller

Este calor pode ser utilizado para vários processos, nomeadamente na pré aquecimento da água que entre na piscina, no aquecimento do espaço dos escritórios e edifício apoio, ser utilizado como fonte quente para gerar frio numa bomba de calor elétrica, entre outras possibilidades.

#### 4.2.2. Equipamentos

No capítulo anterior encontra-se discriminado um consumo de energia designado de equipamentos. Destes equipamentos consumidores de energia elétrica constam maioritariamente componentes do sistema de ventilação.

Para minorar o consumo nestes equipamentos há que proceder à sua correta manutenção. Os sedimentos que se depositam nos filtros existentes nas unidades de tratamento do ar, resultam num aumento da perda de carga ao longo do sistema e consequentemente num aumento da energia gasta nos ventiladores para que o sistema continue a operar com as condições operacionais exigidas pelo projeto.

A substituição regular dos filtros tem custos muito reduzidos quando comparados com os custos que se pode vir a ter com a eletricidade caso existe uma deficiente manutenção do sistema de ventilação.

#### 4.2.3. Iluminação

O consumo de energia elétrica na iluminação representa 13% da energia total consumida no edifício e cerca de um terço de toda a eletricidade consumida sendo por isso um dos setores com maior influência no que toca ao uso racional da energia.

A iluminação deve proporcionar conforto e um nível de iluminação que permita realizar corretamente os trabalhos praticados no respetivo local, tendo em atenção os consumos energéticos e os custos associados (Fial 2011).

Como tal é necessário primeiro identificar o nível de iluminação necessário para a prática de desportos aquáticos e averiguar a conformidade do sistema de iluminação existente para que seja possível um correto dimensionamento de um mais eficiente sistema de iluminação.

De acordo com a Sport England e a Comissão Internacional de Iluminação, através da sua norma 62-1984 – “*Lighting for Swimming Pools*”, os níveis recomendados de iluminação artificial para piscinas interiores são:

- 300 lux para atividades recreativas, hidroginástica e natação livre;
- 500 lux para natação de competição;
- 600 lux para o início e fim das piscinas, ou seja, pontos de viragem dos nadadores em competições da Federação Internacional de Natação (FINA);
- 1500 lux em toda a piscina para competições olímpicas.

Conclui-se que é necessário que o sistema de iluminação mantenha uma iluminância de 300 lux sobre as piscinas da nave da piscina recreativa e de 500 lux na piscina de competição (Laires 2013).

Tipo	Tc [K]	CRI	Eficiência [lm/W]	Vida útil [horas]	Tempo de 0% a 100%	Locais favoráveis de aplicação
Incandescentes	2700	100	10 a 15	1000	Instantâneo	Residências
Halogéneo	3000-3200	100	15-20	2000-4000	Instantâneo	Residências, superfícies comerciais.
Tubulares	3000-8000	75-95	60-80	12000-75000	<1 min.	Escritórios, superfícies comerciais, etc.
CFL	3000-6500	80-89	55-80	6000-20000	<1 min.	Residências
Sódio	2000	<25	>180	12000-18000	2-5 min.	Auto-estradas, túneis, etc.
Iodetos metálicos	3500-7200	80-95	>80	3000-9000	5-10 min.	Iluminação urbana, campos de desportos
LED	Todas	70-95	>75	25000-120000	Instantâneo	Todo o tipo de aplicações

Figura 29: Análise comparativa dos diferentes tipos de lâmpadas

#### 4.2.3.1. Introdução de sistemas de controlo na nave de competição

Como foi mencionado no capítulo 0, a nave da piscina de competição, sendo a mais antiga, não possui qualquer sistema de controlo da iluminação. A iluminação deste espaço encontra-se ligada durante todo o período de funcionamento do complexo sendo, naturalmente, a nave que maior consumo de energia tem com a iluminação.

Para evitar este uso desnecessário de energia elétrica avaliou-se a possibilidade de instalar um sistema de controlo linear da iluminação semelhante ao existente na nave da piscina recreativa.

O sistema de controlo selecionado foi o um sistema de controlo KNX disponibilizado pela *Schneider Electric*. Um sistema KNX é um sistema integrado de controlo de dados relativos ao desempenho de um edifício. Este sistema baseia-se em protocolos de

comunicação OSI e permite que qualquer sistema partilhe informação numa linguagem comum integrando múltiplos sistemas diferentes sob a alçada de apenas um controlo. Um sistema KNX pode ser aplicado a múltiplas áreas do edifício desde a iluminação à climatização. Para este projeto o sistema KNX será apenas avaliado como ferramenta de controlo da iluminação. Para este propósito o sistema é constituído pelos componentes principais que constam da Tabela 12.

Tabela 12: Componentes principais do sistema KNX

<b>Sistema KNX de iluminação</b>	
Fonte de alimentação para BUS KNX	205,4 €
Fonte de alimentação de emergência	61,2 €
Acoplador de linha e área REG-K	453,8 €
Borne de ligação de BUS	67,9 €
Bobine cabo KNX 5001	128,0 €
Interface USB	231,2 €
Controlador de internet	1.581,6 €
Router KNX-IP	703,4 €
Módulo Lógico REG-K	280,4 €
Pulsor de 3 elementos ARTEC	162,8 €
Sensor de luminosidade interior (x3)	414,9 €
Interruptor horário KNX	359,2 €
Temporizador KNX REG-K	156,9 €
Software para interruptores horários	141,7 €
Chips de memória	33,3 €
Interface Ecrã Táctil 10"	2.507,5 €

Os preços por componente foram retirados diretamente do catalogo *online* da *Schneider Electric* e resultam num investimento total em sistema de controlo de iluminação de 7.489,2 €.

A simulação do desempenho energético da nave de competição com o novo sistema de controlo instalado estima uma redução do consumo de energia superior a 110 MWh anuais, o que resulta numa poupança de 8.815,68 € por cada ano que o sistema de controlo estiver em funcionamento.

Considerando o investimento necessário e o retorno anual da medida proposta, estima-se que o período de retorno deste investimento seja de 0,82 anos, ou seja, pouco menos de dez meses.

#### **4.2.3.1. Ajuste da calendarização da iluminação**

O ajuste na calendarização da iluminação é algo complicado de otimizar sem recorrer a equipamentos eletrónicos de gestão da iluminação. A melhor forma de poupar energia na iluminação, principalmente em zonas de grandes dimensões e com grandes consumos de eletricidade envolvidos é recorrer a sensores que permitam medir a iluminância do espaço e conforme um limite definido, neste caso os 300 lux para a piscina recreativa e 500 lux para a piscina de competição, ligar ou desligar a iluminação.

Esta gestão da iluminação pode ser feita com o mesmo sistema aplicado para a gestão linear da iluminação na nave da piscina de competição no tópico acima, o sistema KNX.

Com ajuda do sistema integrado de controlo da iluminação é possível então fixar os setpoints de iluminância e diminuir o tempo que o sistema de iluminação funciona tornando obsoletos os relógios astronómicos existentes no complexo para o controlo do tempo de funcionamento do sistema de iluminação.

Para que o sistema KNX possa fazer a regulação dos setpoints de iluminância é necessário adquirir sensores de luminosidade interior para todos os espaços a controlar e para cada linha de luminárias existente. Cada sensor tem um custo acrescido de 138,3€ e são necessários quatro sensores para as quatro linhas de luminárias existentes na piscina recreativa. Um acréscimo de cerca de 560€ em sensores, bem como uma limitação do horário de funcionamento do sistema de iluminação para o período das 7h30 às 9h30 e das 18h às 22h, que resultará numa poupança adicional de 1.130,56€ anuais.

A aplicação de um sistema integrado de controlo da iluminação KNX e a limitação da calendarização para o período indicado acima, resulta num investimento total de cerca de 8.050 € e um retorno anual de 9.946,24 €. O período de retorno para este investimento é de 0,81 anos.

#### **4.2.3.2. Substituição de lâmpadas por Vapor de Sódio e LED**

A Figura 29 demonstra uma análise comparativa entre os diferentes tipos de lâmpadas, nomeadamente no que toca à sua eficiência lumén por Watt, ou seja, qual a capacidade de iluminação por Watt de energia consumida. Nessa coluna da tabela é possível verificar que as lâmpadas de halogénio, como as que estão instaladas nas naves das piscinas do complexo, têm uma eficiência entre os 15 e os 20 lumén por Watt. Pensou-se então avaliar a possibilidade de substituir essas lâmpadas por lâmpadas de vapor de sódio e por LED, visto que estas são consideradas lâmpadas mais eficientes.

Para efetuar este estudo começou-se por determinar as horas para as quais é necessário o uso de iluminação artificial com base na simulação feita em *Design Builder*.

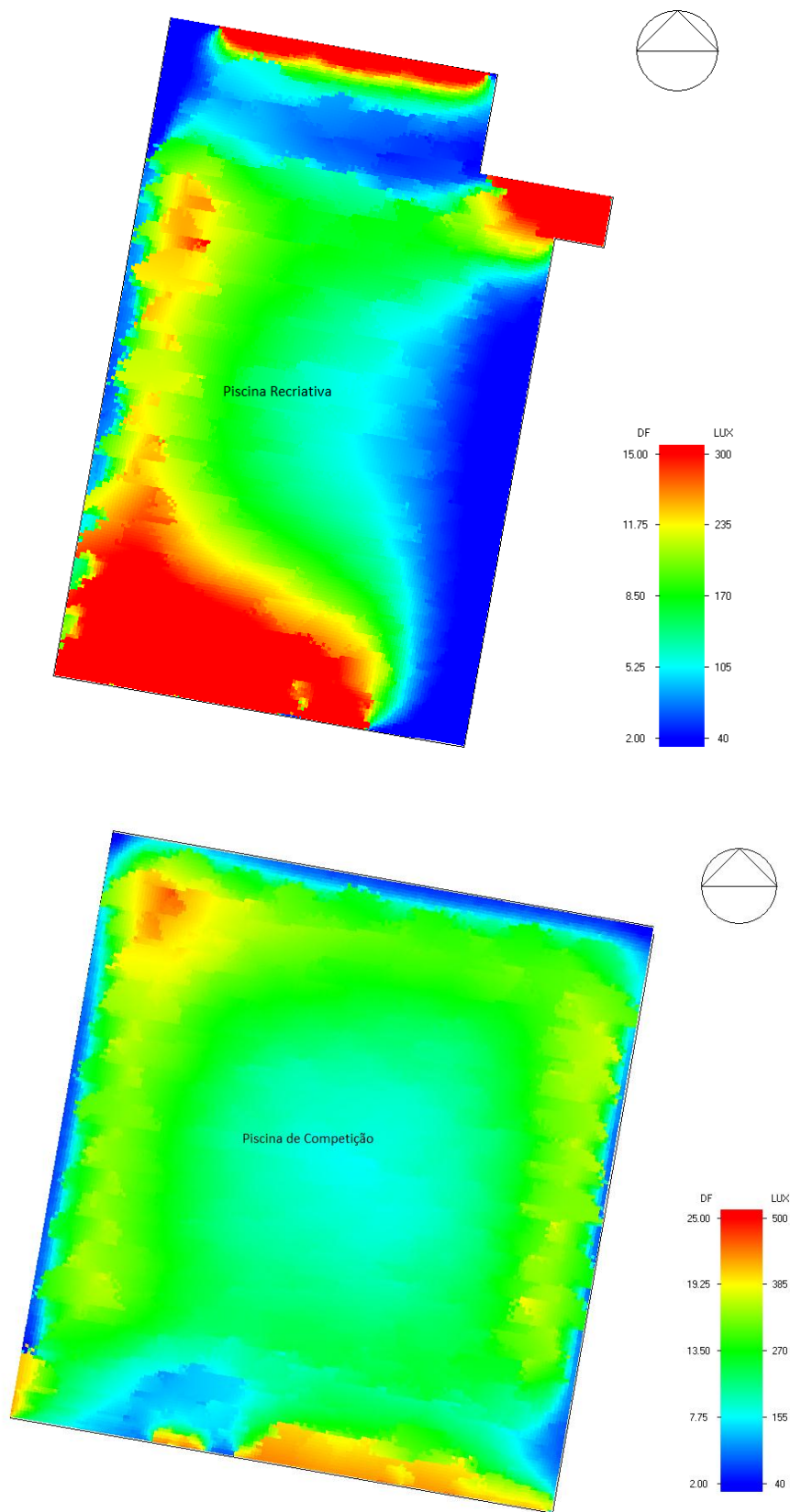


Figura 30: Mapas de iluminação para as duas naves do complexo

A análise dos mapas de iluminação da Figura 30 permite constatar que a piscina recreativa é aquela que mais zonas a vermelho tem, sendo que estas zonas a vermelho correspondem a zonas onde o valor mínimo estipulado de iluminação para a nave é atingido. Lembra que os valores mínimos estipulados para piscinas recreativas e de competição são de 300 lux e 500 lux respetivamente.

Assim sendo começou-se por avaliar a possibilidade de alterar as lâmpadas na nave da piscina de competição.

No total é um sistema de iluminação, dimensionado pelo *Energy Plus* para a nave em questão, tem uma potência de 38,84 kW. O consumo anual de eletricidade para a iluminação na nave em questão é de cerca de 160,52 MWh o que significa que o sistema de iluminação está ligado 4133 horas por ano. Este valor corresponde a 47% do ano e quase à totalidade das horas de funcionamento do edifício. Pode-se então concluir que a nave não tem iluminação natural suficiente e que o sistema de iluminação tem que estar quase sempre ligado para manter estável o valor de iluminância requerido pelo setpoint definido no *software*.

Trocando este sistema de iluminação com uma eficiência de 20 lúmen por Watt por um sistema composto por lâmpadas tubulares de LED com uma eficiência superior a 100 lúmen por Watt da OSRAM, modelo SubstiTUBE Advanced ST8A-HF 27 W/865 1500 mm pode-se alcançar uma poupança anual em energia elétrica dedicada à iluminação de 10.273,27 €. Esta poupança é calculada com base na potência de iluminação atualmente existente nas naves e usando os valores de eficiência discriminados acima. A potência necessária numa instalação com lâmpadas de LED é apenas 20% da potência necessária, para obter a mesma iluminância, com as lâmpadas de halogénio. Fazendo as contas conclui-se que é necessária uma potência de 7768,6 W. Para conseguir esta potência de iluminação com as lâmpadas LED SubstiTUBE da OSRAM são necessárias 240 lâmpadas distribuídas por oito fileiras de trinta lâmpadas cada. Para além das lâmpadas, também as luminárias também necessitam de ser substituídas. Cada luminária LED para lâmpadas LED tubulares, de acordo com o website [getalamp.pt](http://getalamp.pt), custa 73,19 €.

Tendo em conta os valores assumidos acima, o sistema de iluminação a LED terá um custo global de 28.410 € mais a mão-de-obra necessária para a sua instalação.

Esta medida tem um *payback* aproximado de 2,77 anos.





## Capítulo 5

---

# Conclusões e Trabalhos Futuros



## 5. Conclusões e trabalhos futuros

Este projeto teve por objetivo principal propor e avaliar medidas de eficiência energética para piscinas interiores, promovendo assim a reabilitação de um edifício camarário que batalha para se manter ao serviço dos munícipes.

Para que a reabilitação energética possa acontecer foi necessário simular o comportamento térmico do edifício para que a seleção das medidas de eficiência energética seja feita de forma ponderada e informada. A simulação dinâmica efetuada, com *software Energy Plus*, permitiu determinar a generalidade dos parâmetros requeridos. A utilização de simulação dinâmica permitiu avaliar parâmetros, que de outro modo dificilmente seriam medidos ou sequer estimados, de uma forma rápida, cómoda e relativamente precisa.

Quando comparados com os valores efetivamente faturados verificou-se uma grande disparidade. Como os dados disponibilizados para este projeto já se encontram bastante datados e relativamente obsoletos, visto que muita coisa mudou no complexo ao longo dos últimos doze anos, os valores obtidos através da simulação só por milagre poderiam aproximar-se muito mais dos valores faturados nos anos de 2009, 2010 e 2012.

Foram efetuadas duas visitas ao complexo das piscinas municipais de Leiria, com o intuito de me familiarizar com os equipamentos existentes e com a operação do complexo em si. Estas visitas bem como as comparações de valores com as faturas permitem-me concluir que o modelo de simulação efetuado para este projeto requer de várias afinações, nomeadamente ao nível do sistema de iluminação e AVAC.

É possível no entanto avaliar, de forma relativa, os valores obtidos. Os maiores consumidores de energia, as curvas de potência dos mesmos, as maiores perdas de calor, os maiores ganhos de energia do exterior, entre outros parâmetros energéticos, mantêm as mesmas tendências tanto no modelo simulado como nos valores faturados, apesar da disparidade de valores.

A comparação das tendências obtidas para o consumo dos equipamentos e comportamento térmico do edifício com os valores reais, permite concluir que a simulação dinâmica consegue reproduzir de forma fiel o comportamento térmico de um edifício e pode ser utilizado com uma ferramenta precisa e expedita de avaliação do mesmo. No entanto, esta não substitui de forma definitiva a simulação real, que continua a ser necessária para a validação do modelo e ajuste de parâmetros definidos.

O consumo de gás natural representa cerca de 60% do consumo energético do edifício, e deste, cerca de 99% é consumo de gás nas caldeiras utilizadas para o aquecimento de água, quer para as piscinas, quer para os duches e sistema de climatização.

Os restantes 40% correspondem ao consumo de eletricidade. Este consumo divide-se em três grandes grupos, climatização, iluminação e equipamentos, onde cada um representa, aproximadamente um terço do consumo de eletricidade do complexo.

Sabendo o peso relativo de cada equipamento no consumo total de energia no edifício foi possível proceder a avaliação de medidas de eficiência energética.

A instalação de coberturas isotérmicas, sendo uma medida pensada para reduzir as trocas de calor por radiação com o exterior, obtém melhores resultados em piscinas de uso sazonal ou com períodos de utilização mais reduzidos pois com o regime de utilização atual das piscinas municipais de Leiria a cobertura seria maioritariamente utilizada durante a noite, quando, naturalmente, os ganhos de calor por radiação são muito menores ou até pode existir uma perda de energia no balanço de calor por radiação.

A recuperação de calor através da aplicação de permutadores de calor em zonas de elevado desperdício de energia, requer elevadas diferenças de temperatura para ser rentável. Em diferenças de temperatura na casa dos 20°C o investimento requerido é dificilmente compensado pois a capacidade de troca de calor é muito reduzida.

O dimensionamento de permutadores de calor, e o seu uso para aproveitamento energético numa instalação deste género, é muito complicada e frequentemente inviável do ponto de vista económico, pois a eficiência na permuta de calor é relativamente baixa para baixas amplitudes térmicas e o investimento é muito grande. O uso de permutadores de calor para recuperação de calor é mais frequente em grandes indústrias cimenteiras ou vidreiras onde a temperatura dos gases de escape das fornalhas é suficientemente grande, ou seja, existe um enorme potencial de aproveitamento energético.

As medidas que mais impacto têm na redução dos consumos de energia são as medidas consideradas como de uso racional de energia, ou seja, que não envolvem substituição de equipamentos por outros mais eficientes, mas que passam por impor boas práticas de consumo de energia e limitações no uso descabido de energia.

A introdução de energias renováveis na estrutura energética do complexo provou ser uma das medidas de eficiência energética com maior valor não só económico como ambiental. A instalação de painéis solares térmicos, apesar de representar uma poupança relativa de apenas 2% para as condições admitidas, é uma medida que se paga em menos de dois anos e que permite uma redução do consumo de combustíveis de origem fóssil. Também a introdução de caldeiras a biomassa para operar como base do sistema de aquecimento da águas, auxiliada nos picos pelas caldeiras a gás existentes, permite uma enorme poupança de combustíveis fósseis introduzindo uma energia renovável, de produção nacional e com muito baixas emissões.

A generalidade das medidas de eficiência energética avaliadas resultam em poupanças significativas quando comparadas com a tecnologia datada que se encontra de momento instalada no complexo. Com o passar do tempo e com a maturação das tecnologias como a iluminação em LED, os coletores solares térmicos, os sistemas KNX de controlo integrado, entre outras, o seu custo irá progressivamente reduzir levando a cada vez maiores poupanças e menores períodos de retorno para os investimentos necessários.

### 5.1. Trabalhos futuros

Como já foi mencionado, o projeto foi realizado com base em dados já datados e pouco representativos da realidade atual pelo que é necessário atualizar o modelo para melhor refletir a situação atual do complexo das piscinas.

É também aconselhável realizar medições no local para confirmar os valores simulados e ter noção dos consumos reais do complexo. Com os valores reais medidos e os valores simulados para as condições atuais é possível determinar a eficiência dos equipamentos e em último caso avaliar se há necessidade de substituir alguns equipamentos.

Instalar algumas medidas propostas e monitorizar o desempenho energético do edifício, nomeadamente dos parâmetros térmicos das naves e do sistema de climatização.

Instalar sensores que permitam avaliar em tempo real e *online* o desempenho do sistema, automatizando o mesmo e facilitando o trabalho do gabinete técnico.

Avaliar qual o melhor uso a dar ao calor dispersado no condensador do chiller e avaliar economicamente a solução.

O estudo das medidas de forma individual não representa, de forma fiel, o desempenho que estas terão na realidade quando aplicadas em conjunto. Realizar pacotes de medidas de acordo com um *budget* estabelecido pela entidade gestora, e avaliar os mesmos de forma a estimar o desempenho do edifício com essas medidas instaladas.



---

## Referências Bibliográficas





- BAXI, G., 2014. GERADORES DE MÉDIA E ALTA POTÊNCIA - Caldeiras e Grupos Térmicos a gás e gasóleo. , pp.51–53.
- Berman, A. & Rembrandt, 2010. The Oil Drum. Available at: <http://www.theoil Drum.com/node/8936>.
- Camelo, S. et al., 2006. Manual de apoio à aplicação do RCCTE.
- Carrinho, A.F. a., 2010. Poupança energética associada ao uso de cobertura isotérmica sobre o plano de água - Estudo de caso realizado na Piscina Municipal de Rio Tinto. Available at: <http://hdl.handle.net/10216/50388>\n<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/50388/2/20711.pdf>\n[http://sigarra.up.pt/fadeup/publs\\_pesquisa.FormView?P\\_ID=20711](http://sigarra.up.pt/fadeup/publs_pesquisa.FormView?P_ID=20711).
- Emprego, M.D.E.E. Do, 2013. Decreto-Lei n.º 118/2013. *Diário da República*, 159, pp.4988–5005.
- ERSE, 2015. Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais em Portugal Continental. , pp.1–7.
- Fial, A.A.P., 2011. *Metodologia para Análise Energética em Edifícios de Serviços*.
- INE, 2015. Contribuição das energias renováveis para o consumo final de electricidade (%) por tipo de energia renovável.
- Inovação, M. da E. e da, 2008. Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril. *Act.Gov.Pt*, pp.2222–2226. Available at: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/Itens/Noticias/Documents/Aviso\\_21616.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Itens/Noticias/Documents/Aviso_21616.pdf).
- Lund, J.W., 2000. Design Considerations for Pools and Spas ( Natatoriums ). , (September), pp.6–9.
- Royapoor, M. & Roskilly, T., 2015. Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 94, pp.109–120. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815001553>.
- Silva, L., 2010. Estratégia Nacional para a Energia ( ENE 2020 ). , (Ene 2020), pp.1–20.
- Silva, M.M., 2009. Redução da Dependência energética de Portugal. , p.66.
- TheWorldBank, 2015. Descobertas de depósitos de petróleo vs. consumo espetável. Available at: <http://search.worldbank.org/data?qterm=per+capita+primary+energy&language=&format=>.
- Thumann, A. & Younger, W., 2007. *Handbook of energy audits*,
- Vallejo, 2013. *Swimming Pools*,
- Wood, E., Gonsalves, J. & Drodowski, A., 2009. ASHREA - Integrated Sustainable Building Design.

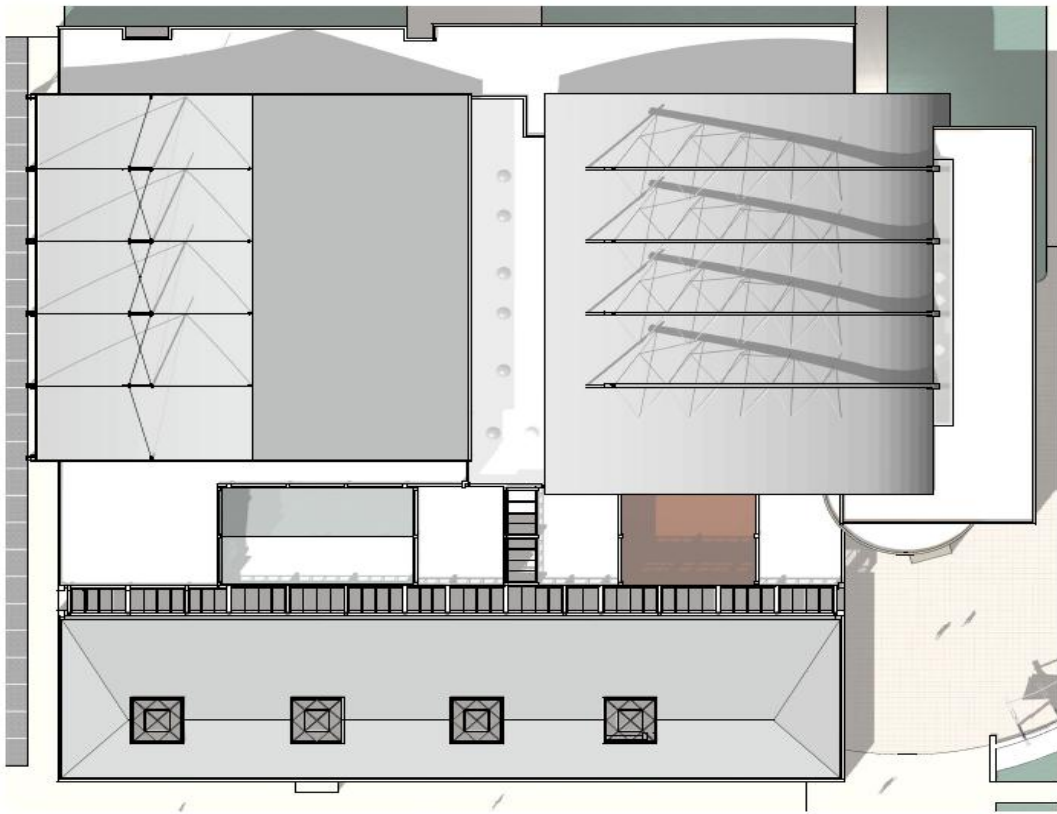
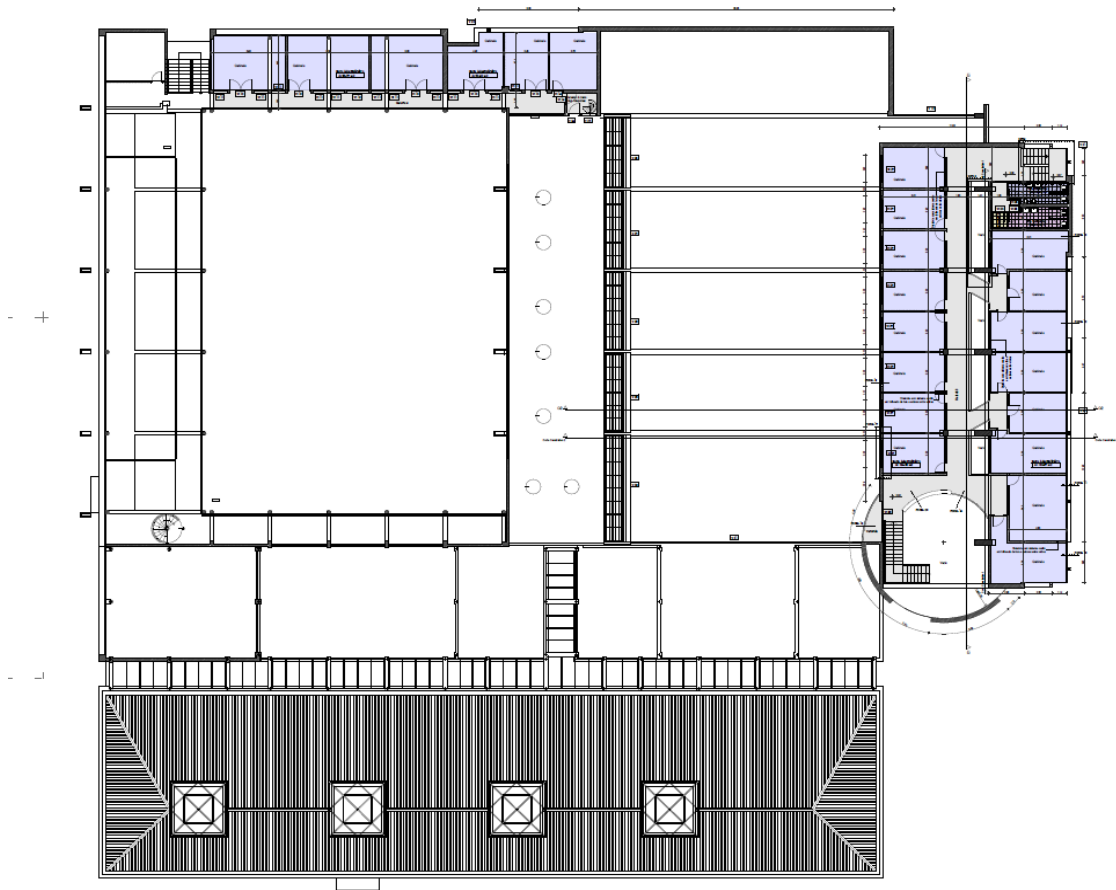


---

Anexos









1. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

2. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

3. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

4. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

5. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

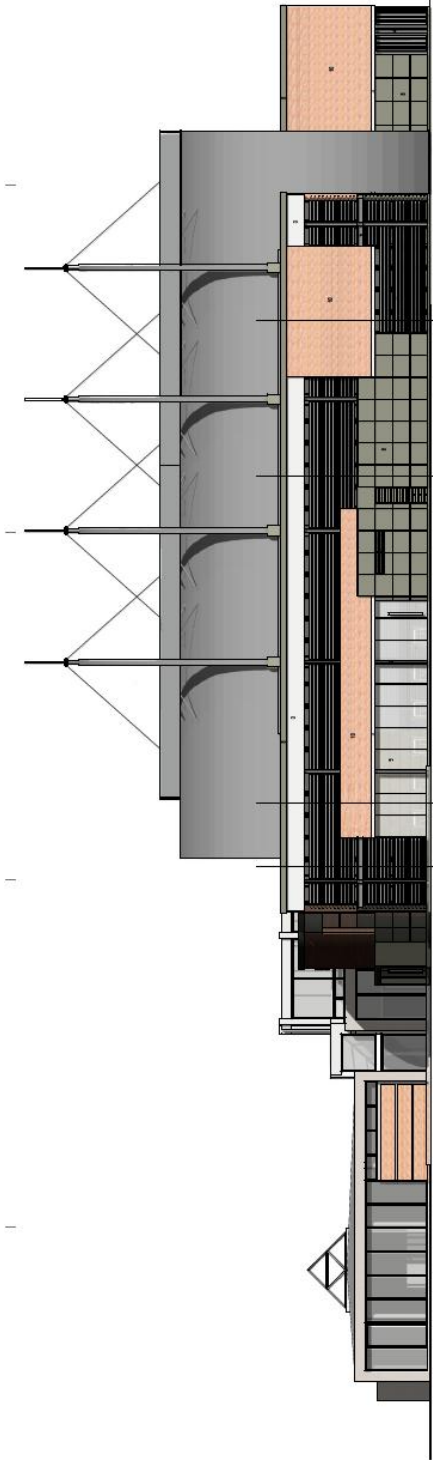
6. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

7. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

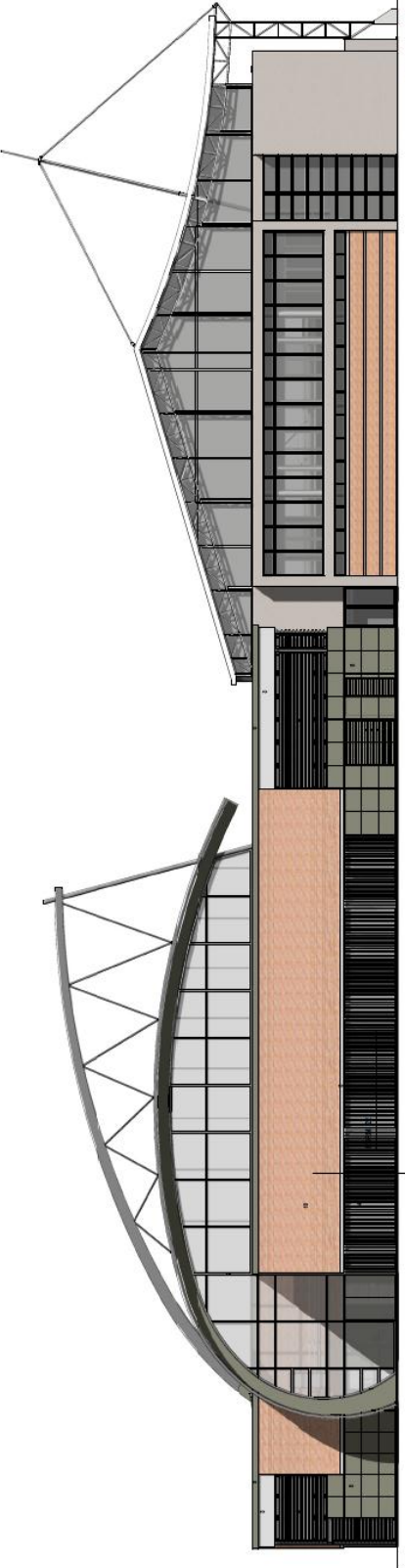
8. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

9. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.

10. Il presente progetto è stato elaborato in conformità con le norme tecniche di attuazione del Piano Urbanistico Comunale n. 2/2005, in vigore dal 12/03/2005.



Alipodi Insieme



Alipodi Insieme

Progetto di Architettura  
 PROGETTO ARCHITETTONICO

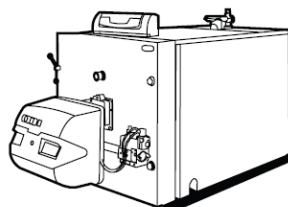
Autore  
 Studio di Architettura  
 Progettazione e Direzione  
 Lavori  
 2013  
 07/11/2013



## ANEXO 2 – Catálogo caldeiras ROCA CPA a gás natural

### 9.3.6. Grupos Térmicos a gás natural CPA-BT

Referência	Modelo	Tipo Queimador	Tipo quadro de controlo	Potência kW	Euros €
<b>Grupos Térmico CPA-BT. Câmara de combustão em sobrepressão</b>					
190125020	CPA 55-BT	1 potência	Básico 1 escalão	55	3.438,00
190125805	CPA 55-BT	2 potências	Básico 2 escalões	55	4.255,00
190125823	CPA 55-BT	2 potências	Digital KSF	55	4.587,00
190125920	CPA 55-BT	Modulante	Digital KSF	55	5.150,00
190125021	CPA 80-BT	1 potência	Básico 1 escalão	80	3.839,00
190125806	CPA 80-BT	2 potências	Básico 2 escalões	80	4.754,00
190125824	CPA 80-BT	2 potências	Digital KSF	80	5.087,00
190125921	CPA 80-BT	Modulante	Digital KSF	80	5.700,00
190125022	CPA 115-BT	1 potência	Básico 1 escalão	115	4.260,00
190125807	CPA 115-BT	2 potências	Básico 2 escalões	115	5.165,00
190125825	CPA 115-BT	2 potências	Digital KSF	115	5.498,00
190125922	CPA 115-BT	Modulante	Digital KSF	115	6.138,00
190125023	CPA 150-BT	1 potência	Básico 1 escalão	150	4.488,00
190125808	CPA 150-BT	2 potências	Básico 2 escalões	150	5.388,00
190125826	CPA 150-BT	2 potências	Digital KSF	150	5.722,00
190125923	CPA 150-BT	Modulante	Digital KSF	150	6.367,00
190125024	CPA 185-BT	1 potência	Básico 1 escalão	185	5.383,00
190125809	CPA 185-BT	2 potências	Básico 2 escalões	185	5.940,00
190125827	CPA 185-BT	2 potências	Digital KSF	185	6.273,00
190125924	CPA 185-BT	Modulante	Digital KSF	185	6.814,00
190125810	CPA 230-BT	2 potências	Básico 2 escalões	230	6.866,00
190125828	CPA 230-BT	2 potências	Digital KSF	230	7.417,00
190125925	CPA 230-BT	Modulante	Digital KSF	230	8.843,00
190125811	CPA 290-BT	2 potências	Básico 2 escalões	290	7.439,00
190125829	CPA 290-BT	2 potências	Digital KSF	290	7.938,00
190125926	CPA 290-BT	Modulante	Digital KSF	290	9.675,00
190125812	CPA 345-BT	2 potências	Básico 2 escalões	345	8.160,00
190125830	CPA 345-BT	2 potências	Digital KSF	345	9.128,00
190125927	CPA 345-BT	Modulante	Digital KSF	345	10.195,00
190125813	CPA 395-BT	2 potências	Básico 2 escalões	395	9.623,00
190125831	CPA 395-BT	2 potências	Digital KSF	395	9.956,00
190125928	CPA 395-BT	Modulante	Digital KSF	395	10.715,00
190125814	CPA 465-BT	2 potências	Básico 2 escalões	465	10.382,00
190125832	CPA 465-BT	2 potências	Digital KSF	465	10.715,00
190125929	CPA 465-BT	Modulante	Digital KSF	465	12.380,00
190125815	CPA 580-BT	2 potências	Básico 2 escalões	580	12.791,00
190125833	CPA 580-BT	2 potências	Digital KSF	580	13.123,00
190125930	CPA 580-BT	Modulante	Digital KSF	580	15.449,00
190125816	CPA 695-BT	2 potências	Básico 2 escalões	695	13.894,00
190125834	CPA 695-BT	2 potências	Digital KSF	695	14.226,00
190125931	CPA 695-BT	Modulante	Digital KSF	695	16.697,00
190125817	CPA 795-BT	2 potências	Básico 2 escalões	795	15.834,00
190125835	CPA 795-BT	2 potências	Digital KSF	795	16.166,00
190125932	CPA 795-BT	Modulante	Digital KSF	795	18.205,00
190125818	CPA 930-BT	2 potências	Básico 2 escalões	930	16.947,00
190125836	CPA 930-BT	2 potências	Digital KSF	930	17.188,00
190125933	CPA 930-BT	Modulante	Digital KSF	930	19.142,00
190125819	CPA 1045-BT	2 potências	Básico 2 escalões	1.045	18.050,00
190125837	CPA 1045-BT	2 potências	Digital KSF	1.045	18.382,00
190125934	CPA 1045-BT	Modulante	Digital KSF	1.045	19.870,00
190125820	CPA 1275-BT	2 potências	Básico 2 escalões	1.275	19.688,00
190125838	CPA 1275-BT	2 potências	Digital KSF	1.275	20.020,00
190125935	CPA 1275-BT	Modulante	Digital KSF	1.275	21.326,00
190125936	CPA 1510-BT	Modulante	Digital KSF	1.510	26.944,00
190125937	CPA 1740-BT	Modulante	Digital KSF	1.740	28.712,00



• Pressão de trabalho até 5 bar. Disponíveis versões até 8 bar nos modelos CPA 465-BT até à CPA 1275-BT. Preços sob consulta.

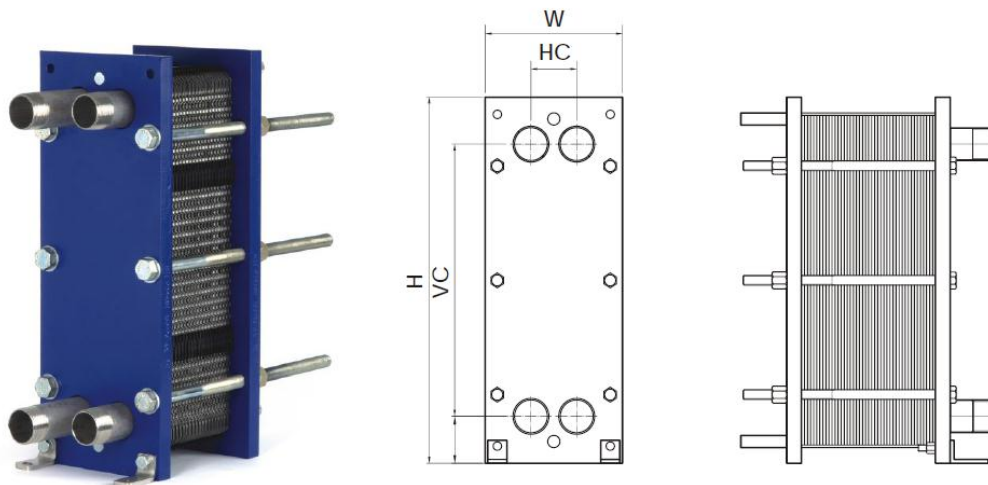
• Os Grupos Térmicos CPA-BT incluem o queimador, a rampa de gás e o correspondente quadro de controlo, segundo o modelo selecionado. Opcionalmente poderá fornecer-se o equipamento de controlo de estanquidade para a linha de comando de gás (Ver pág. 57).

• O quadro digital KSF é o recomendado quando são necessárias funções avançadas de regulação e para a montagem de caldeiras em cascata. Nos modelos modulantes não é necessário o Kit de Modulação.

• Ao Grupo Térmico deve adicionar-se o preço do arranque do queimador correspondente.

Os preços indicados não incluem I.V.A.  
A presente tabela anula as anteriores

## ANEXO 3 – Catálogo de permutadores de calor Lux Magna



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	M3-FGL	M6-FGL
Altura H (mm):	480	920
Largura W (mm):	180	320
Distância Vertical entre conexões VC (mm):	357	640
Distância Horizontal entre conexões HC (mm):	60	140
Diâmetro dos tubos (Polegadas):	1 1/4	2
Máximo caudal (kg/s):	3,9	15
Gama de temperaturas (°C):	-15 a 85	-15 a 85
Pressão máxima (bar):	10	10
Escoamento:	paralelo	paralelo
Profundidade dos canais da placa (mm):	2	2
Material da placa:	AISI 316	AISI 316
Espessura da placa (mm):	4	4
Material da junta:	NBR	NBR

REF	Designação	Junta	Placas	Preço Unidades
1802.0101	Permutador Placas M3-FGL 5	NBR	5	730 58 €
1802.0102	Permutador Placas M3-FGL 7	NBR	7	780 99 €
1802.0103	Permutador Placas M3-FGL 9	NBR	9	831 41 €
1802.0104	Permutador Placas M3-FGL 11	NBR	11	881 82 €
1802.0105	Permutador Placas M3-FGL 13	NBR	13	932 24 €
1802.0106	Permutador Placas M3-FGL 15	NBR	15	982 66 €
1802.0107	Permutador Placas M3-FGL 17	NBR	17	1.033 07 €
1802.0108	Permutador Placas M3-FGL 19	NBR	19	1.083 49 €
1802.0109	Permutador Placas M3-FGL 21	NBR	21	1.133 90 €
1802.0110	Permutador Placas M3-FGL 23	NBR	23	1.184 32 €
1802.0111	Permutador Placas M3-FGL 25	NBR	25	1.234 74 €
1802.0112	Permutador Placas M3-FGL 27	NBR	27	1.285 15 €
1802.0113	Permutador Placas M3-FGL 29	NBR	29	1.335 57 €
1802.0114	Permutador Placas M3-FGL 31	NBR	31	1.385 98 €
1802.0115	Permutador Placas M3-FGL 33	NBR	33	1.436 40 €
1802.0116	Permutador Placas M3-FGL 35	NBR	35	1.486 81 €
1802.0117	Permutador Placas M3-FGL 37	NBR	37	1.537 23 €
1802.0118	Permutador Placas M3-FGL 39	NBR	39	1.587 65 €
1802.0119	Permutador Placas M3-FGL 41	NBR	41	1.638 06 €
1802.0120	Permutador Placas M3-FGL 43	NBR	43	1.688 48 €
1802.0121	Permutador Placas M3-FGL 45	NBR	45	1.738 89 €
1802.0122	Permutador Placas M3-FGL 47	NBR	47	1.789 31 €
1802.0123	Permutador Placas M3-FGL 49	NBR	49	1.839 73 €

# ANEXO 4 – Catálogo Shneider Eletric para sistemas de controlo de iluminação KNX

Sistemas  
de Controlo

## Sistema KNX



MTN684064



MTN668990



MTN668991



MTN663529



MTN693003



MTN68204



MTN689701



MTN689702



MTN639190



KNX 5001



MTN681829



MTN681799



MTN297919

### Fontes de alimentação para BUS KNX\*

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Fonte alimentação 160 REG-K sem entrada de bateria	MTN684016	B	1	187,67€
Fonte alimentação 160 REG-K com entrada de bateria	MTN683816	C	1	205,39€
Fonte alimentação 320 REG-K sem entrada de bateria	MTN684032	B	1	272,41€
Fonte alimentação 320 REG-K com entrada de bateria	MTN683832	C	1	305,07€
Fonte alimentação 640 REG-K 1 linha sem entrada de bateria	MTN684064	B	1	366,40€
Fonte alimentação 640 REG-K 1 linha com entrada de bateria	MTN683890	B	1	379,21€

\*Largura: 4 módulos de calha DIN 18mm

### Fontes de alimentação de emergência e baterias

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Fonte de alimentação de emergência REG para BUS KNX	MTN683901	C	1	78,03€
Bateria de gel recarregável 12V 7,2Ah	MTN668990	C	1	61,18€
Bateria de gel recarregável 12V 18Ah	MTN668991	C	1	131,63€

### Fontes de alimentação para outros equipamentos

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Fonte de alimentação REG 24V CA 1A Largura: 5 módulos de calha DIN 18mm	MTN663529	B	1	107,42€
Fonte alimentação REG 24V CC 0,4A Largura: 1 módulo de calha DIN 18mm	MTN693003	B	1	145,11€
Fonte alimentação REG 24V CC 1A Largura: 5 módulos de calha DIN 18mm	MTN693004	B	1	204,55€

### Acopladores de linha

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Acoplador de linha e area REG-K Largura: 1 módulos de calha DIN 18mm	MTN680204	B	1	453,76€

### Bornes de ligação de BUS\*

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Borne ligação de BUS (preto/vermelho)	MTN689701	B	1	67,94€
Borne ligação reserva (amarelo/branco)	MTN689702	C	1	67,94€

\*Caixa com 50 unidades

### Iman de programação

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Programador magnetico para prog. de electroválvulas ref. MTN639119 e Detectores de movimento de exterior	MTN639190	C	1	7,12€

### Cabo KNX

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Bobine cabo knx 2p08b GN 100 metros	KNX 5001	C	1	127,97€

### Interfaces USB

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Interface USB REG-K Largura: 2 módulos de calha DIN 18mm	MTN681829	B	1	278,41€
Interface USB de embutir	MTN681799	C	1	231,15€

### Placas centrais de telecomUnicações TAE - M-Elegance

Descrição	Ref.	Cod. log.	Lote min.	Preço unit.
Placas centrais de telecomUnicações TAE	Branco			
	MTN296019	C	1	4,01€
	Ref. Marfim			
	MTN296044	C	1	4,01€
	Ref. Branco activo			
	MTN296025	C	1	4,37€
Ref. Antracite				
MTN297914	C	1	7,46€	
Ref. Alumínio				
MTN297960	C	1	8,19€	

A completar com espelho M-Elegance

## ANEXO 5 – Catálogo de coletores solares BAXI SOL 200 e SOL 200 H

# Colector solar plano

## SOL 200 E SOL 200 H

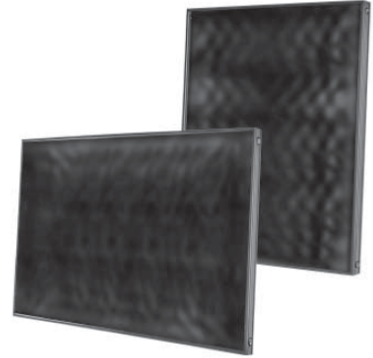
Coletores solares planos para instalações de captação solar térmica. Sol 200 montagem vertical, Sol 200 H montagem horizontal.

### Características principais

- Placa absorvente de alumínio com tratamento superficial altamente selectivo, unida ao circuito hidráulico do tipo serpentina de tubos de cobre através de soldadura laser.
- Cobertura de vidro texturizado de 3,2 mm, temperado e de baixo teor em ferro.
- Isolamento com lã de vidro de 40 mm de espessura que se apoia na placa de alumínio pela parte posterior.
- Carcaça de alumínio pintada de cor cinza RAL 7016.
- Quatro ligações para a união entre coletores por meio de acessórios de fácil montagem.
- Ensaio pelo CENER
- GARANTIA de 10 ANOS.

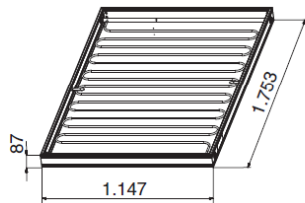
### Forma de fornecimento

- Num volume:
- Colector solar SOL 200  
Código 720364001
  - Colector SOL 200 H  
Código 720364301

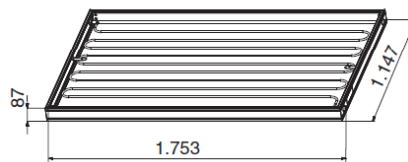


### Dimensões e Características Técnicas

#### SOL 200



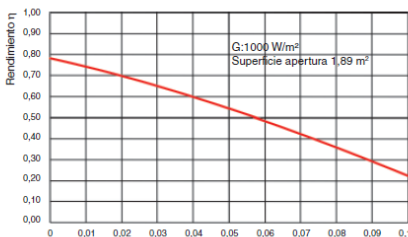
#### SOL 200 H



	SOL 200	SOL 200 H
Superfície total	2,01 m <sup>2</sup>	2,01 m <sup>2</sup>
Superfície de abertura	1,89 m <sup>2</sup>	1,89 m <sup>2</sup>
Capacidade	1,9 litros	2,2 litros
Peso em vazio	34,3 kg	35 kg
Pressão máxima de trabalho	10 bar	10 bar
Temperatura de estancamento	213 °C	211 °C

### Curva de rendimento

#### SOL 200



$$T^* = \frac{T_m - T_a}{G} \left( \frac{^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}} \right)$$

Equação característica do colector solar

$$\eta = 0,785 - 4,046 T^* - 0,016 G T^{*2}$$

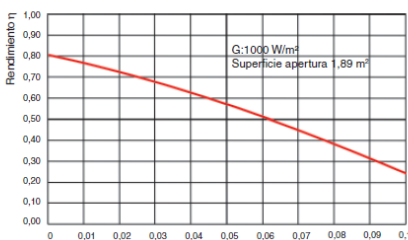
T<sub>m</sub> - Temperatura média do colector.

T<sub>a</sub> - Temperatura ambiente.

G - Irradiação solar

Ensaio realizado por CENER

#### SOL 200 H



$$T^* = \frac{T_m - T_a}{G} \left( \frac{^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}} \right)$$

Equação característica do colector solar

$$\eta = 0,801 - 3,810 T^* - 0,018 G T^{*2}$$

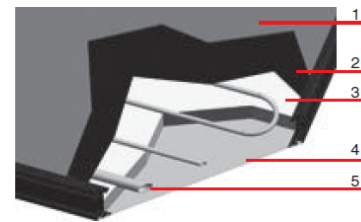
T<sub>m</sub> - Temperatura média do colector.

T<sub>a</sub> - Temperatura ambiente.

G - Irradiação solar

Ensaio realizado por CENER

### Detalhe da secção do Colector



1. Vidro temperado.
2. Carcaça de alumínio pintado.
3. Placa absorvente com recobrimento selectivo.
4. Isolamento de 40 mm de fibra de vidro na parte posterior.
5. Circuito hidráulico do tipo serpentina.

# ENERGIA SOLAR

## 14. Energias Renováveis

### 14.1. Coletores solares planos



#### 14.1.1. SOL 200

Referência	Modelo	Euros €
720364001	Coletor solar plano SOL 200	566,00
720364301	Coletor solar plano SOL 200 H (Horizontal)	586,00

#### Acessórios de ligação SOL 200

7212785	Jogo de ligações CH-SOL para dois coletores solares SOL 200/250	106,00
720239901	Jogo de ligações inter-coletores ICS-SOL para coletores solares SOL 200/250	38,90

#### Suportes de fixação coletores SOL 200

7212811	Suporte de cobertura plana para dois coletores planos SCP2-SOL 200	269,00
7212816	Suplemento suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-SOL 200 (*)	120,00
7212807	Suporte de cobertura plana para um Coletor plano SCP1-I-SOL 200	179,00

7212833	Suporte de telhado para dois coletores planos ST2-SOL 200/250	210,00
7212848	Suplemento suporte de telhado para um Coletor plano ST1-SOL 200/250 (*)	107,00
7212822	Suporte de telhado para um coletor plano ST1-I-SOL 200/250	118,00
720483901	Kit de fixação de suporte para instalação por debaixo de telha (**)	65,00

720548401	Suporte integrável em telhado convencional para dois coletores SOL 200	697,00
720525001	Suporte integrável em telhado convencional para extensão de um coletor SOL 200 (*)	323,00
720547401	Suporte integrável em telhado convencional para um coletor SOL 200	515,00

750091801	Suporte integrável em telhado de ardósia para dois coletores SOL 200	889,00
750094501	Suporte integrável em telhado de ardósia para extensão de um coletor SOL 200 (*)	283,00
750091001	Suporte integrável em telhado de ardósia para um coletor SOL 200	657,00

#### Suportes de fixação coletores SOL 200 H

7212812	Suporte de cobertura plana para dois coletores planos SCP2-SOL 200 H	271,00
7212817	Suplemento suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-SOL 200 H (*)	119,00
7212808	Suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-I-SOL 200 H	183,00

7212832	Suporte de telhado para dois coletores planos ST2-SOL 200 H	258,00
7212849	Suplemento suporte de telhado para um coletor plano ST1-SOL 200 H (*)	134,00
7212821	Suporte de telhado para um coletor plano ST1-I-SOL 200 H	139,00
720483901	Kit de fixação de suporte para instalação por debaixo de telha (**)	65,00

720548801	Suporte integrável em telhado convencional para dois coletores SOL 200 H	859,00
720525401	Suporte integrável em telhado convencional para extensão um coletor SOL 200 H (*)	434,00
720548001	Suporte integrável em telhado convencional para um coletor SOL 200 H	556,00

750092201	Suporte integrável em telhado de ardósia para de dois coletores SOL 200 H	889,00
750094601	Suporte integrável em telhado de ardósia para extensão de um coletor SOL 200 H (*)	333,00
750091401	Suporte integrável em telhado de ardósia para um coletor SOL 200 H	657,00

(\*) Para filas de mais de dois coletores dever-se-ão montar suplementos a partir do terceiro coletor. Por exemplo, numa fila de 5 coletores dever-se-á montar um suporte para dois coletores e três suplementos.  
 (\*\*) Para suportes de dois coletores horizontais, são necessários 4 kits. Para suportes de um coletor ou suplementos são necessários 2 kits. Para suportes de dois coletores verticais, são necessários 3 kits.

# SGG COOL-LITE® XTREME 60/28 & 60/28 II

*Extremely high selectivity solar control glass*

## Description

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II are the latest innovations in high performance solar control coatings. The coatings are applied to SGG PLANILUX clear float glass by cathodic sputtering under vacuum conditions.

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II are the UK's first triple-silver solar control coatings, which have the highest selectivity (the ratio of visible light to solar heat gain) in the SAINT-GOBAIN GLASS range.

## Benefits

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 sets a new standard in high selectivity solar control, while retaining the very neutral aesthetics associated with the SGG COOL-LITE range with:

- a high light transmission to create brighter interiors and year round natural lighting
- a low solar factor to reduce the burden on costly air-conditioning
- an excellent U-value of 1.0W/m<sup>2</sup>K making it the ideal product for energy savings and improved thermal insulation
- a high degree of neutrality both in transmission and exterior reflection

SGG COOL-LITE XTREME can be used to create more comfortable interiors by reducing overheating in the summer and heat loss in the winter, while retaining an extremely neutral appearance.

## Applications

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II are two extremely selective solar control coatings for use in the commercial and high end building market. Due to the high performance of the coating, it is ideally suited to façade or overhead glazing in applications requiring annealed and toughened or heat treated glass.

## Instructions for use

For optimum performance and aesthetics SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II coatings must be edge-deleted and should always be positioned on face 2 of a double-glazed unit.

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II must always be toughened or heat-strengthened before assembly into a double-glazed unit with the coated surface to the inside of the external pane.

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II can be used side-by-side in the same façade, though there can be slight colour variations. If both glass types are intended for use together in one façade, SGG recommends the use of samples to observe and evaluate the matching.

Please see the SGG COOL-LITE XTREME handling guidelines for more information.

## Range

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II is available from SGGUK in 6000mm x 3210mm and 2000mm x 3210mm dimensions in 6mm thickness, with 8mm and 10mm on request. SGG COOL-LITE XTREME 60/28 in 6mm, 8mm and 10mm thicknesses is also available on request.

## Technical Specifications

### Performance Data

DGU with SGG COOL-LITE XTREME II	
Internal Pane	SGG PLANILUX
External Pane	SGG COOL-LITE XTREME 60/28 II
Composition in mm	6(16)6
Coating positions	Face 2
LT	60%
LRe	15%
LRI	19%
g-value*	0.28
Shading Coefficient	0.32
U-Value in W/m <sup>2</sup> K	
Air	1.3
90% Argon	1.0

SGG COOL-LITE XTREME 60/28 and 60/28 II meet the durability requirements of class C of European standards EN 1096-1 and -2.

\* Light and solar performance according to EN 410

## ANEXO 7 – Catalogo OSRAM LED Lamps modelo ST8A-HF 27 W/865 1500 mm

### Technical data

#### Electrical data

Nominal wattage	27.0 W
Rated wattage	27.00 W
Nominal voltage	67.0 V
Nominal current	0.48 A
Type of current	AC
Power factor $\lambda$	> 0.90

#### Photometrical data

Light color (designation)	Cool Daylight
Color temperature	6500 K
Nominal luminous flux	3300 lm
Rated luminous flux	3300 lm
Color rendering index Ra	>80
Standard deviation of color matching	$\leq 4$ sdc <sub>m</sub>

#### Light technical data

Starting time	< 0.5 s
Warm-up time (60 %)	< 2.00 s
Rated beam angle (half peak value)	150.00 °

#### Lifespan

Nominal lamp life time	50000 h
Rated lamp life time	50000 h
Lumen main.fact.at end of nom.life time	0.70

#### Certificates & standards

Type of protection	IP20
Standards	CE
Energy efficiency class	A+
Energy consumption	32 kWh/1000h