



TÉCNICO
LISBOA

academia
militar



Reabilitação Energética da Piscina Coberta da Academia Militar de Lisboa

Vítor Daniel Alves de Sousa

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em

Engenharia Militar

Orientadores: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Professor Doutor Carlos Augusto Santos Silva

Júri

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes
Orientadora: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Vogais: Professor Doutor Rogério José da Silva Correia Duarte
Tenente-Coronel de Engenharia Carlos Alberto Rocha Afonso

Outubro 2016

[Deixado intencionalmente em branco]

Agradecimentos

A dissertação de mestrado intitulada de “Reabilitação Energética da Piscina Coberta da Academia Militar de Lisboa” materializa-se no trabalho de investigação final do mestrado em Engenharia Militar, sendo o culminar desta etapa académica.

A sua concretização resultou do trabalho conjunto entre diversos intervenientes que desempenharam um papel direto e indireto ao longo deste período de tempo, aos quais terei de agradecer encarecidamente por todo o apoio, determinação, cooperação, aconselhamento e transmissão de conhecimentos.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus orientadores, nomeadamente, à Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes e ao Professor Doutor Carlos Augusto Santos Silva, que desempenharam um papel fundamental no cumprimento desta nobre missão, apresentando em todos os momentos, uma conduta e uma postura profissional, respondendo prontamente a todas as minhas solicitações.

Gostaria, também de agradecer à empresa Green Bright por todo o apoio que deu, nomeadamente, no constante esclarecimento de dúvidas que surgiam aquando da utilização do Software de Simulação dinâmica HAP. A ajuda que disponibilizam foi notória e preponderante para a correta modelação do edifício da piscina coberta da Academia Militar e da sensibilidade na análise dos resultados obtidos.

Por fim, um enorme agradecimento a todos os técnicos, utentes e funcionários que pertencem à Academia Militar, pois foram sempre prestáveis, sensatos e atenciosos quando eram solicitados.

“O todo é maior do que a simples soma das suas partes”

Aristóteles

[Deixado intencionalmente em branco]

Resumo

A eficiência energética deve ser considerada quando se constroem novos edifícios, mas também quando se realizam trabalhos de reabilitação em edifícios existentes, de forma a obter um comportamento térmico e um desempenho energético adequado às necessidades do edifício aliado ao reduzido consumo de recursos.

A presente dissertação visa a adoção de medidas de reabilitação energética num edifício de serviços, mais concretamente na piscina coberta da Academia Militar de Lisboa. Este edifício foi inaugurado em 1986 e apresenta alguma degradação dos materiais construtivos da envolvente e dos equipamentos, por falta de manutenção e requalificação, tendo um comportamento térmico deficiente e consumos energéticos elevados.

Para mitigar os efeitos indesejados acima mencionados procedeu-se a um estudo de reabilitação energética que consistiu na adoção de diversas medidas de melhoria, de entre as quais se destacam a aplicação de isolamento térmico pelo exterior das paredes da envolvente opaca das fachadas e cobertura; implementação de vãos envidraçados com caixilharia de PVC de vidro duplo ou triplo; adoção do sistema de iluminação LED e alteração do horário de funcionamento das caldeiras.

Para tal, procedeu-se a medições *in situ* e a simulações energéticas do edifício com recurso ao software *Hourly Analysis Program*, para determinação das necessidades energéticas do edifício antes e após a implementação das medidas de reabilitação.

Posteriormente, efetuou-se uma análise da viabilidade económica de quatro propostas de reabilitação energética, tendo-se concluído que a implementação das mesmas apresenta um impacto significativo na redução de consumos energéticos e uma melhoria do comportamento térmico e desempenho energético do edifício.

Palavras-chave: Reabilitação energética, comportamento térmico, desempenho energético, simulação termodinâmica, Hourly Analysis Program, viabilidade económica

[Deixado intencionalmente em branco]

Abstract

Energy efficiency must be considered in both new and retrofitting buildings. The main objective is to obtain appropriate thermal behavior and energy performance that prosecute building requirements coupled with reduced resource consumption.

This thesis focuses the implementation of different energy rehabilitation measures in a service building, more specifically the indoor pool of the Military Academy of Lisbon.

This building was opened in 1986 and presents some degradation of building envelope and equipment due to the lack of maintenance and requalification which conducts to inefficient thermal performance and high energy consumption.

To mitigate the above mentioned undesirable effects a rehabilitation study based in the adoption of several energy rehabilitation measures was carried out, such as: application of thermal insulation on facades and on roof; implementation of glazed areas with double or triple glazing units with PVC window frames; adoption of LED lighting system; and change the operating hours of boilers, among others.

To achieve this, *in situ* measurements and building energy simulations, using the Hourly Analysis Program software, were performed to determine the energy needs of the building before and after the implementation of rehabilitation measures.

Furthermore, we performed an analysis of the economic viability of the four proposals for energy rehabilitation. We concluded that their implementation has a significant impact on reducing energy consumption and it improves the thermal and energy performance of the building.

Keywords: Energy rehabilitation, thermal behavior, energy performance, thermodynamic simulation, Hourly Analysis Program, economic viability

[Deixado intencionalmente em branco]

Índice

RESUMO	I
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	4
1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO	5
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	7
2 CASO DE ESTUDO	8
2.1 INTRODUÇÃO	8
2.2 LOCALIZAÇÃO E ZONAMENTO CLIMÁTICO	8
2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	10
2.4 ORIENTAÇÃO E EXPOSIÇÃO SOLAR	11
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE	15
2.5.1 <i>Paredes</i>	15
2.5.1.1 Parede exterior	15
2.5.1.2 Parede interior	16
2.5.1.3 Parede em contacto com o terreno	16
2.5.2 <i>Pavimentos</i>	17
2.5.2.1 Pavimento térreo	17
2.5.2.2 Pavimento interior	19
2.5.3 <i>Cobertura</i>	20
2.5.3.1 Cobertura plana da nave principal	21
2.5.3.2 Cobertura plana dos restantes espaços	21
2.5.4 <i>Vãos envidraçados</i>	22
2.5.4.1 Janelas	22
2.5.4.2 Claraboias	23
2.5.5 <i>Portas</i>	24
2.6 PONTES TÉRMICAS	25
2.7 INÉRCIA TÉRMICA	26

2.8	ILUMINAÇÃO.....	26
2.9	EQUIPAMENTOS DIVERSOS	27
2.10	ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS) E ÁGUAS QUENTES DA PISCINA (AQP)	28
2.10.1	<i>Sistema de caldeiras</i>	30
2.10.2	<i>Sistema de painéis termodinâmicos</i>	30
2.10.3	<i>Sistema de bombagem</i>	32
2.11	DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO.....	33
2.12	DETERMINAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA	35
3	SIMULAÇÃO ENERGÉTICA.....	39
3.1	INTRODUÇÃO	39
3.2	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA: HOURLY ANALYSIS PROGRAM (HAP)	39
3.3	RESULTADOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	40
3.4	VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	41
3.5	ANÁLISE DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	42
3.5.1	<i>Medidas de eficiência energética aplicadas à envolvente</i>	43
3.5.1.1	Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores	43
3.5.1.2	Aplicação de isolamento térmico na laje da cobertura.....	46
3.5.1.3	Substituição dos vãos envidraçados e adição de películas solares	51
3.5.2	<i>Medidas de eficiência energética aplicadas aos sistemas interiores</i>	54
3.5.2.1	Substituição do sistema de iluminação atual por um sistema LED	54
3.5.3	<i>Medidas de eficiência energética resultantes da alteração comportamental</i>	56
3.5.3.1	Alteração do período de funcionamento da caldeira.....	56
4	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	59
4.1	INTRODUÇÃO	59
4.2	CUSTOS DA ENERGIA	59
4.3	CUSTO DE INVESTIMENTO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	60
4.4	POUPANÇAS ENERGÉTICAS DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	62
4.5	PERÍODO DE RETORNO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	64
4.6	COMBINAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	66
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	69
5.1	INTRODUÇÃO	69
5.2	RESULTADOS PRINCIPAIS	69
5.3	PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO	71
	BIBLIOGRAFIA.....	73

ANEXOS	A.1
ANEXO A – PROCEDIMENTOS DE MODELAÇÃO DA PISCINA COBERTA DA ACADEMIA MILITAR.....	A.2

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – ESTIMATIVA DO CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA PRIMÁRIA NO PERÍODO ENTRE 1990 E 2040 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2016)	1
FIGURA 1.2 – TRILEMA DE ENERGIA (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013)	2
FIGURA 1.3 – CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA PRIMÁRIA NA EU-28 NO ANO DE 2014 (ADAPTADO DE EUROSTAT (2016)).....	3
FIGURA 1.4 – METODOLOGIA GERAL DA REABILITAÇÃO (ESQUEMA PRODUZIDO PELO AUTOR)	6
FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO DA PISCINA COBERTA DA ACADEMIA MILITAR (IMAGEM DE SATÉLITE RETIRADA DO GOOGLE MAPS, A 15 DE SETEMBRO DE 2016)	8
FIGURA 2.2 – DADOS CLIMÁTICOS DA PISCINA COBERTA DA ACADEMIA MILITAR	9
FIGURA 2.3 – PLANTA DO PISO TÉRREO	10
FIGURA 2.4 – PLANTA DA CAVE	10
FIGURA 2.5 – PERCURSOS DO SOL DURANTE O DIA, AO LONGO DO ANO EM PORTUGAL.....	12
FIGURA 2.6 – ORIENTAÇÃO DA PISCINA COBERTA DA ACADEMIA MILITAR	12
FIGURA 2.7 – FACHADA OESTE.....	13
FIGURA 2.8 – FACHADA SUL	13
FIGURA 2.9 – FACHADA ESTE	14
FIGURA 2.10 – FACHADA NORTE	14
FIGURA 2.11 – PORMENOR DA PAREDE EXTERIOR	15
FIGURA 2.12 – PORMENOR DA PAREDE INTERIOR.....	16
FIGURA 2.13 – PORMENOR DA PAREDE INTERIOR.....	17
FIGURA 2.14 – PORMENOR DO PAVIMENTO TÉRREO.....	18
FIGURA 2.15 – PORMENOR DO PAVIMENTO INTERIOR.....	20
FIGURA 2.16 – PORMENOR DA COBERTURA PLANA DA NAVE PRINCIPAL	21
FIGURA 2.17 – PORMENOR DA COBERTURA DA ZONA CORRENTE.....	22
FIGURA 2.18 – PORMENOR DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	23
FIGURA 2.19 – PORMENOR DA CLARABOIA TIPO	24
FIGURA 2.20 – PORMENOR DA PORTA DE ENTRADA.....	24
FIGURA 2.21 – PORMENOR DA PORTA METÁLICA	25
FIGURA 2.22 – CALDEIRAS.....	30
FIGURA 2.23 – PAINÉIS TERMODINÂMICOS	30
FIGURA 2.24 – SISTEMA DE BOMBAGEM	32
FIGURA 2.25 – ANEMÓMETRO DE FIO QUENTE DA MARCA AIRFLOW™	33
FIGURA 2.26 – IDENTIFICAÇÃO DA ABERTURA.....	34

FIGURA 2.27 – GRELHA DE VENTILAÇÃO	34
FIGURA 2.28 – ESQUEMA DE LEITURAS	34
FIGURA 2.29 – QUADRO ELÉTRICO GERAL (A) E QUADRO ELÉTRICO DAS INSTALAÇÕES TÉCNICAS (B).....	36
FIGURA 2.30 – MEDIÇÕES DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA NA PISCINA COBERTA DA AM NO PERÍODO DE 18 A 25 DE JANEIRO DE 2016.	37
FIGURA 2.31 – MEDIÇÕES DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA NA PISCINA COBERTA DA ACADEMIA MILITAR NO PERÍODO DE 04 A 11 DE JULHO DE 2016.	37
FIGURA 3.1 – NECESSIDADES ENERGÉTICAS ANUAIS	40
FIGURA 3.2 – PORMENOR DA PAREDE EXTERIOR, COM A APLICAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EXTERIOR	43
FIGURA 3.3 – VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS DAS SIMULAÇÕES: AUMENTO DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO EPS DAS PAREDES EXTERIORES	46
FIGURA 3.4 – PORMENOR DA COBERTURA SOBRE A NAVE PRINCIPAL, COM A APLICAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO	47
FIGURA 3.5 – PORMENOR DA COBERTURA SOBRE AS RESTANTES ZONAS, COM A APLICAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EXTERIOR	48
FIGURA 3.6 – VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS DAS SIMULAÇÕES: AUMENTO DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO XPS DA COBERTURA.....	50
FIGURA 3.7 – SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VÃOS ENVIDRAÇADOS (A: JANELA DE VIDRO DUPLO COM CAIXILHARIA EM PVC, B: JANELA DE VIDRO TRIPLO COM CAIXILHARIA EM PVC, C: PELÍCULA REFLETORA SOLAR).....	51
FIGURA 3.8 – VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS DAS SIMULAÇÕES: ADOÇÃO DE VÃOS ENVIDRAÇADOS DE VIDRO DUPLO, TRIPLO E PELÍCULA SOLAR	54
FIGURA 3.9 – VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS DAS SIMULAÇÕES: ALTERAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL POR SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM TECNOLOGIA LED	55
FIGURA 3.10 – VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS DAS SIMULAÇÕES: ALTERAÇÃO DO PERFIL DE FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS	57
FIGURA A. 1 – LAYOUT DO HAP: INFORMAÇÕES CLIMÁTICAS DE LISBOA	A.2
FIGURA A. 2 – LAYOUT DO HAP: PERFIL DE FUNCIONAMENTO FRACIONÁRIO (A) E PERFIL DE FUNCIONAMENTO DE VENTILAÇÃO/TERMÓSTATO (B).....	A.3
FIGURA A. 3 – LAYOUT DO HAP: PROPRIEDADES DA PAREDE EXTERIOR (A) E DA COBERTURA DA NAVE PRINCIPAL (B)	A.4
FIGURA A. 4 – LAYOUT DO HAP: PROPRIEDADES DE UMA JANELA DA FACHADA OESTE (A) E DA PORTA METÁLICA DAS TRASEIRAS DAS INSTALAÇÕES TÉCNICAS (B).....	A.4
FIGURA A. 5 – LAYOUT DO HAP: PROPRIEDADES DA CALDEIRA	A.5
FIGURA A. 6 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DE UM ESPAÇO	A.6
FIGURA A. 7 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DOS GANHOS INTERNOS	A.7
FIGURA A. 8 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS	A.7
FIGURA A. 9 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS.....	A.8
FIGURA A. 10 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DO CAUDAL DE INFILTRAÇÕES	A.8
FIGURA A. 11 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS	A.9
FIGURA A. 12 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS COM TEMPERATURAS DIFERENTES.....	A.10

FIGURA A. 13 – LAYOUT DO HAP: CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUAS SANITÁRIAS (AQS).....	A.11
FIGURA A. 14 – LAYOUT DO HAP: RELATÓRIOS DE SIMULAÇÃO	A.11

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 – ÁREAS ÚTEIS E PÉS-DIREITOS DOS COMPARTIMENTOS	11
TABELA 2.2 – CARACTERIZAÇÃO DA PAREDE EXTERIOR.....	16
TABELA 2.3 – CARACTERIZAÇÃO DA PAREDE INTERIOR	16
TABELA 2.4 – CARACTERIZAÇÃO DA PAREDE EM CONTACTO COM O SOLO	17
TABELA 2.5 – CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO TÉRREO: DETERMINAÇÃO DO VALOR DE CÁLCULO U_f	19
TABELA 2.6 – CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO TÉRREO: DETERMINAÇÃO DO VALOR DE CÁLCULO U_{Bf}	19
TABELA 2.7 – CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO INTERIOR	20
TABELA 2.8 – CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DA NAVE PRINCIPAL.....	21
TABELA 2.9 – CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA PLANA DA ZONA CORRENTE.....	22
TABELA 2.10 – CARACTERIZAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS (CAIXILHARIA METÁLICA E SEM CORTE TÉRMICO).....	23
TABELA 2.11 – CARACTERIZAÇÃO DA CLARABOIA TIPO.....	24
TABELA 2.12 – CARACTERIZAÇÃO DA PORTA DE ENTRADA	25
TABELA 2.13 – CARACTERIZAÇÃO DA PORTA METÁLICA DE ALUMÍNIO	25
TABELA 2.14 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	27
TABELA 2.15 – CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DIVERSOS.....	27
TABELA 2.16 – NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA O AQUECIMENTO DA ÁGUA DA PISCINA.....	29
TABELA 2.17 – CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA QUENTE POR PESSOA.....	29
TABELA 2.18 – CARACTERIZAÇÃO DA CALDEIRA	30
TABELA 2.19 – PARÂMETROS E CONTRIBUIÇÕES DOS COLETORES SOLARES TÉRMICO	32
TABELA 2.20 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE BOMBAGEM	32
TABELA 2.21 – CAUDAL DE INFILTRAÇÕES DE CADA COMPARTIMENTO	35
TABELA 2.22 – CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE.....	38
TABELA 3.1 – VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO: ENERGIA ELÉTRICA.....	41
TABELA 3.2 – VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO: GASÓLEO DE AQUECIMENTO.....	42
TABELA 3.3 – CARACTERIZAÇÃO DA PAREDE EXTERIOR COM A APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR.....	44
TABELA 3.4 – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS DIFERENTES PAREDES EXTERIORES	44
TABELA 3.5 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES – AUMENTO DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO EPS DAS PAREDES EXTERIORES	45
TABELA 3.6 – CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA SOBRE A NAVE PRINCIPAL COM A APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO.	47
TABELA 3.7 – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS COBERTURAS SOBRE A NAVE PRINCIPAL	48
TABELA 3.8 – CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA SOBRE AS RESTANTES ZONAS COM A APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO.....	48
TABELA 3.9 – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS DIFERENTES COBERTURAS SOBRE OS RESTANTES ESPAÇOS	49
TABELA 3.10 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES – AUMENTO DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO XPS DA COBERTURA	49
TABELA 3.11 – CARACTERIZAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS E DA PELÍCULA SOLAR A ADOTAR.....	52

TABELA 3.12 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES – ADOÇÃO DE VÃOS ENVIDRAÇADOS DE VIDRO DUPLO, TRIPLO E PELÍCULA SOLAR	52
TABELA 3.13 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED.....	55
TABELA 3.14 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES – ALTERAÇÃO DO PERFIL DE FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA.....	57
TABELA 4.1 – CUSTOS UNITÁRIOS DA ELETRICIDADE E DO GASÓLEO DE AQUECIMENTO	60
TABELA 4.2 – QUADRO RESUMO: CUSTOS DE INVESTIMENTO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	61
TABELA 4.3 – QUADRO RESUMO: POUPANÇAS MONETÁRIAS DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	63
TABELA 4.4 – QUADRO RESUMO: PERÍODO DE RETORNO SIMPLES (PRS) DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.	65
TABELA 4.5 –QUADRO RESUMO: CONJUNTOS DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	67
TABELA 4.6 – QUADRO RESUMOS DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.	67

Lista de Acrónimos e Siglas

AM	Academia Militar
AQP	Águas Quentes da Piscina
AQS	Águas Quentes Sanitárias
CANIFA	Comissão Administrativa para as Novas Infraestruturas das Forças Armadas
EPS	Poliestireno expandido
ETICS	External Insulation Composite Systems
HAP	Hourly Analysis Program
LED	Light Emitting Diode
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PVC	Polyvinyl chloride
SCE	Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
XPS	Poliestireno Extrudido

[Deixado intencionalmente em branco]

Lista de Símbolos

Símbolo	Significado	Unidade
A_c	Área total de captação dos coletores	m^2
A_{eff}	Área efetiva livre	m^2
A_p	Área interior útil de pavimento, medida pelo interior	m^2
B'	Dimensão característica do pavimento	m
C	Custo de investimento total	€
$E_{solar,ref}$	Valor de referência da contribuição anual de sistemas de coletores solares para a produção de AQS	kWh/ano
f_1	Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo	-
f_2	Fator de redução relativo ao sombreamento	-
f_3	Fator de redução relativo à idade do equipamento	-
GD	Graus-dias	$^{\circ}C$
G_h	Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal, em função da zona	kWh/ m^2
$g_{\perp,vi}$	Fator solar do vidro para uma incidência normal	-
I1	Zona climática de inverno	-
M_{AQP}	Quantidade de litros de água necessários para o aquecimento das águas quentes da piscina	litros
n_d	Número anual de dias do consumo das AQP	dias
P	Poupança anual	€/ano
P	Perímetro exposto	m
PRS	Período de retorno simples	Anos
Q_a	Necessidades anuais de energia útil para aquecimento	kWh/ano
R	Resistência térmica	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
R_f	Resistência térmica de todas as camadas de pavimento, excluindo as resistências térmicas superficiais	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
R_{ph}	Renovações de ar novo por hora	h^{-1}
rpm	Rotações por minuto	-
R_w	Resistência térmica da parede, excluindo as resistências térmicas superficiais	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
U	Coefficiente de transmissão térmica	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
U_{bf}	Coefficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com o solo	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
U_{bw}	Coefficiente de transmissão térmica das paredes em contacto com o solo	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$

$U_{m\acute{a}x}$	Coeficiente de transmiss\~ao t\~ermica m\~aximo admiss\~ivel	$W/m^2\cdot C$
U_w	Coeficiente de transmiss\~ao t\~ermica dos v\~aos envidra\~ados sem dispositivos de oclus\~ao noturna	$W/m^2\cdot C$
U_{wh}	Coeficiente de transmiss\~ao t\~ermica dos v\~aos envidra\~ados horizontais	$W/m^2\cdot C$
V3	Zona clim\~atica de ver\~ao	-
Z	Profundidade m\~edia enterrada da parede em contacto com o solo	m
λ	Condutividade t\~ermica	$W/m\cdot C$
η	Rendimento	%
ΔT	Aumento de temperatura necess\~ario para o aquecimento das \u00e1guas quentes da piscina	$^{\circ}C$
v_{ar}	Velocidade m\~edia do ar	m/s
ρ	Massa vol\~umica aparente seca	kg/m^3
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior m\~edia do m\~es mais frio da esta\~cao de aquecimento	$^{\circ}C$
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior m\~edia da esta\~cao de arrefecimento	$^{\circ}C$

1 Introdução

1.1 Enquadramento e definição do problema

A preocupação com o consumo de recursos energéticos a nível mundial é notória e o panorama futuro demonstra que é necessário uma profunda e complexa intervenção, cooperação e mudança de mentalidades por parte de todos os países.

De acordo com a U.S. Energy Information Administration (2016), estima-se que o consumo mundial de energia irá crescer cerca de 48% entre 2012 e 2040, sendo que a grande parcela desse aumento será provocada por países que não fazem parte da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE)¹, incluindo países que apresentam um forte crescimento económico como a China e a Índia que serão responsáveis por mais de metade do aumento de consumo de energia durante o período de projeção até 2040.

A Figura 1.1 apresenta a estimativa e projeção do consumo mundial de energia no período de 1990 a 2040, subdividindo os consumos nas diversas fontes primárias como os combustíveis líquidos, gás natural, carvão, energias renováveis e energia nuclear.

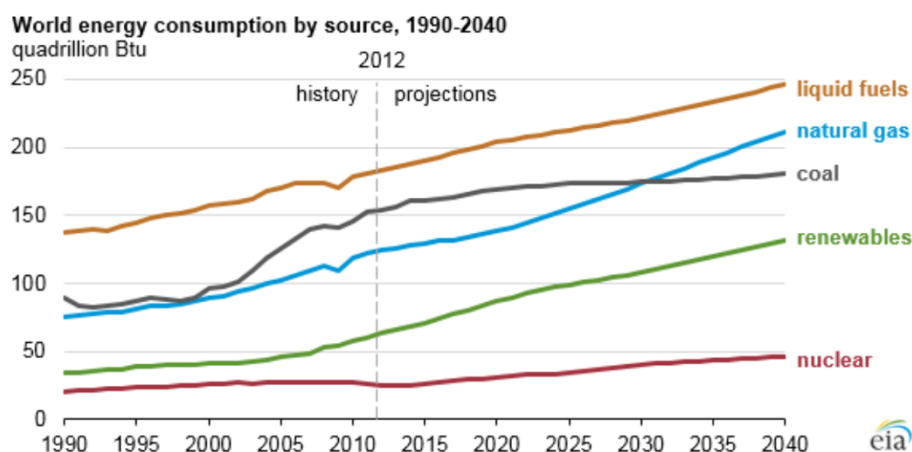


Figura 1.1 – Estimativa do consumo mundial de energia primária no período entre 1990 e 2040 (U.S. Energy Information Administration, 2016)

A constante preocupação com as temáticas da eficiência energética, dos efeitos nefastos das emissões de agentes poluentes resultantes da queima de combustíveis fósseis (petróleo e outros combustíveis líquidos, gás natural e carvão) e do aumento do preço desses recursos levam à adoção de soluções de fontes de energia renováveis, cujo objetivo é diminuir o consumo dos recursos não renováveis que são atualmente utilizados em massa (U.S. Energy Information Administration, 2016).

Como se pode observar na Figura 1.1, a projeção realizada para o ano de 2040 estima que o consumo de energia proveniente de fontes renováveis e de energia nuclear aumente sensivelmente

¹ A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) é uma organização internacional que atualmente é representada por 35 países membros cujo objetivo fulcral é ajudar os governos a promover a prosperidade e combater a pobreza através do crescimento económico e da estabilidade financeira, tendo sempre presentes as implicações ambientais que podem advir do desenvolvimento económico e social (OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2016).

para o dobro relativamente ao ano de 2012, apresentando um aumento rápido e considerável, apesar de ainda não ser suficiente para substituir as restantes fontes de energia não renováveis que totalizam mais de três quartos do consumo mundial de energia (U.S. Energy Information Administration, 2016).

Segundo o World Energy Council (2013), a melhor forma de colmatar o consumo excessivo de recursos energéticos é pela análise do “trilema de energia”, Figura 1.2, que apresenta três aspetos fundamentais a considerar: segurança energética (Energy Security), equidade energética (Energy Equity) e a sustentabilidade ambiental (Environmental Sustainability).

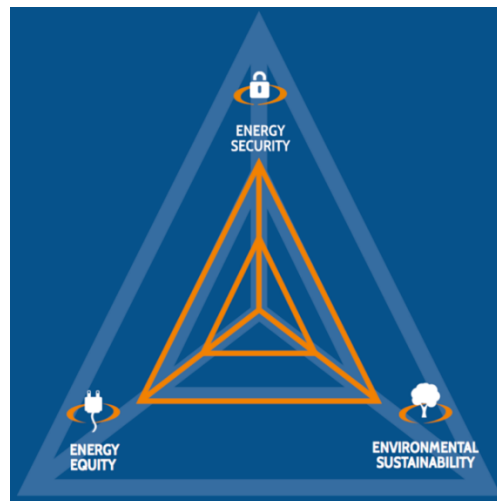


Figura 1.2 – Trilema de energia (World Energy Council, 2013)

De acordo com o “trilema de energia” representado na Figura 1.2, é necessário aliar os três aspetos fundamentais de cada vértice de forma a alcançar a eficiência energética, fomentando políticas de implementação de medidas eficazes e sustentáveis, tendo em conta os benefícios ambientais devido à aplicação das medidas e os custos associados (World Energy Council, 2013).

A segurança energética consiste na proteção e na diversidade de fontes de energia primária disponíveis para abastecer uma sociedade sem comprometer o desenvolvimento das atividades, sendo para isso necessária uma gestão eficaz do fornecimento de energia primária de origem nacional ou internacional, construção e reabilitação das infraestruturas e a negociação e harmonia entre fornecedores e distribuidores (World Energy Council, 2013).

A equidade energética traduz-se no princípio da igualdade de recursos energéticos a toda a população de uma sociedade, garantindo um fornecimento e acesso à energia primária a custos aceitáveis, de modo a não limitar esse recurso aos escalões mais pobres (World Energy Council, 2013).

Por último, a sustentabilidade ambiental promove a implementação de medidas energeticamente eficientes, aliando a produção de fontes de energias renováveis e diminuição do consumo de recursos fósseis, contribuindo para a redução de emissões de gases poluentes (World Energy Council, 2013).

Deste modo, torna-se evidente que a implementação de medidas de eficiência energética é a solução para mitigar o consumo e a dependência de fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis.

Segundo o Eurostat² (2016) os consumos globais de energia primária dos diferentes setores de atividade na União Europeia apresentam um peso significativo e relevante no consumo energético a nível mundial, sendo que os setores relativos ao transporte, indústria e edifícios totalizam a grande parcela de consumo de energia primária.

Na Figura 1.3, pode observar-se as estatísticas dos consumos globais de energia primária dos diferentes setores da União Europeia no ano de 2014.

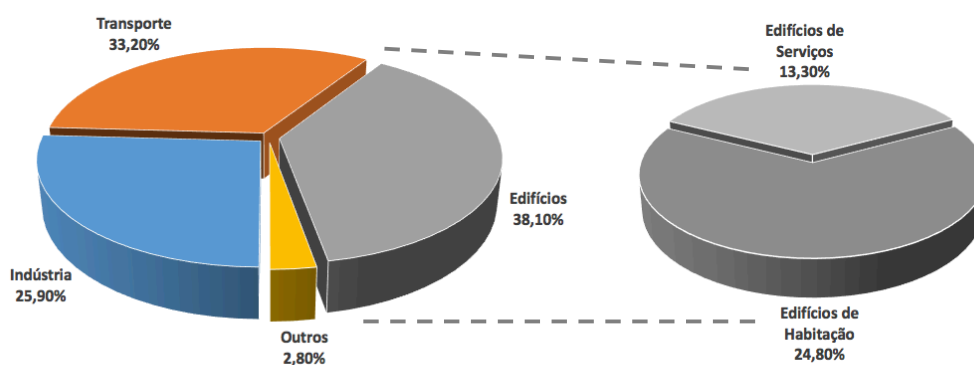


Figura 1.3 – Consumo global de energia primária na EU-28 no ano de 2014 (adaptado de Eurostat (2016))

Analisando a Figura 1.3, verifica-se que o consumo de energia primária nos setores dos transportes e indústria, totaliza cerca de 33,20% e 25,90%, respetivamente, do consumo global de energia primária dos estados membros da União Europeia, enquanto a pequena parcela de 2,80% de outros consumos, respeita aos gastos energéticos associados à atividade da agricultura entre outras atividades que não se enquadram nas restantes (Eurostat, 2016).

A parcela de consumo de energia primária atribuída ao setor dos edifícios é a mais condicionante, ascendendo aos 38% do consumo global, dos quais 24,80% correspondem ao consumo de energia primária de edifícios de habitação e os restantes 13,30% aos edifícios de serviços (Eurostat, 2016).

Assim sendo, o panorama geral das estatísticas do consumo global de energia primária é preocupante e devem ser tomadas medidas que minimizem o impacto causado pelo elevado consumo de energia ao nível dos diversos setores de atividade.

As medidas de eficiência passam pela mudança de mentalidades no sentido de consciencializar a população mundial para a realidade energética e ambiental que atualmente atravessamos, promovendo a crescente adoção de fontes de energia renováveis e implementação de medidas que aumentem o desempenho energético nos setores da indústria, comércio, transportes e habitação. Estas medidas consubstanciam-se nomeadamente na construção/reabilitação das diversas infraestruturas e na aplicação de novas tecnologias nos equipamentos e dispositivos que a constituem, garantindo um bom desempenho energético e comportamento térmico.

² O Eurostat (Gabinete de Estatísticas da União Europeia) é uma organização pertencente à Comissão Europeia cuja missão é fornecer estatísticas credíveis das mais variadas áreas temáticas como estatísticas relacionadas com a economia, comércio, agricultura, transportes, ambiente, energia, entre outras, por forma a promover uma harmonia e entendimento entre os estados membros (Eurostat, 2016).

Neste sentido, o presente trabalho de investigação incidiu na reabilitação de um edifício de serviços, nomeadamente numa piscina coberta que apresenta consumos de energia bastante consideráveis para a Academia Militar (AM)³. Os excessivos consumos devem-se essencialmente à idade da construção que remonta a década de 80 do século passado, bem como à degradação e à ineficácia dos materiais empregues na construção da envolvente exterior assim como à utilização de equipamentos e dispositivos eletrónicos e eletromecânicos obsoletos e à adoção de comportamentos por parte dos utentes e dos técnicos de controle da piscina que promovem, sem necessidade, consumos elevados de energia.

Deste modo, pretende-se com o presente trabalho contribuir para a diminuição dos consumos de energia na piscina coberta da Academia Militar através da implementação de medidas de reabilitação que aumentem o desempenho energético e o comportamento térmico, promovendo-se a redução dos consumos de energia primária da Academia, garantindo ao mesmo tempo a manutenção das condições de conforto térmico no interior do edifício.

1.2 Motivação e objetivos

A presente dissertação de mestrado surge numa ótica de reabilitação do edificado pertencente ao Exército Português, visto que as instalações militares distribuídas pelo território nacional apresentam sinais de degradação resultantes da idade das instalações e das reduzidas operações de manutenção e requalificação do património.

Neste sentido, torna-se essencial avaliar e analisar o estado de degradação das instalações militares, sendo necessário identificar e caracterizar o estado atual dos elementos construtivos que fazem parte da envolvente exterior e dos equipamentos que são responsáveis por consumos energéticos consideráveis.

Devido à diversidade de edifícios existentes e à natureza das intervenções de reabilitação energética a aplicar a cada um deles, já foram realizados alguns estudos no âmbito da recuperação do edificado afeto ao Exército Português, nomeadamente na reabilitação dos edifícios militares do tipo CANIFA (Comissão Administrativa para as Novas Infraestruturas das Forças Armadas), não tendo sido até então analisado o edifício da piscina coberta da Academia Militar (AM) de Lisboa, que apresenta particularidades ao nível do desempenho térmico e energético distintas dos anteriores (Bom, 2014; Cabrito, 2014; Conceição, 2015; Poça, 2015).

A piscina coberta da AM, no Campus da Sede da Academia Militar de Lisboa, foi inaugurada em 1986. Esta infraestrutura desportiva foi construída para a prática de natação de competição e lazer dos alunos, professores, instrutores e militares que frequentam a instituição de ensino superior universitário militar, bem como para dar apoio a certas instituições e organismos da Câmara Municipal de Lisboa, como escolas de formação de natação.

³ A Academia Militar é um estabelecimento de ensino superior público universitário militar, inserido no sistema de ensino superior nacional, cuja missão é formar Oficiais do Exército Português e da Guarda Nacional Republicana que ingressarão nos quadros permanentes (Academia Militar, 2016).

Desta forma, o edifício da piscina coberta tem uma utilidade relevante na Academia Militar e, como tal, devido à sua degradação e elevados consumos energéticos, merece ser alvo de estudo, como intuito de melhorar o seu comportamento térmico e desempenho energético.

A presente dissertação de mestrado tem como objetivos fundamentais:

- o estudo e a simulação dinâmica do edifício atual para a avaliação do seu comportamento térmico e desempenho energético;
- a realização de campanhas experimentais de monitorização *in situ* por forma a calibrar o modelo de simulação;
- a avaliação do potencial de implementação na reabilitação do edifício de possíveis medidas de melhoria de eficiência energética e a respetiva análise da viabilidade económica de cada uma dessas medidas.

1.3 Metodologia do trabalho

Para o alcance dos objetivos estabelecidos no subcapítulo anterior seguiu-se a metodologia de trabalho esquematizada na Figura 1.4, na qual pode constatar-se que a estrutura do trabalho de investigação foi orientada de forma sequencial desde a caracterização do edifício à determinação das propostas de melhoria de reabilitação.

É de referir que para a identificação e determinação dos dados relevantes para a caracterização do edifício, foram realizadas várias vistorias ao local, tendo sido: consultados diferentes documentos fornecidos por entidades pertencentes à estrutura organizacional da Academia Militar; realizadas medições *in situ* das dimensões das frações e dos consumos de energia elétrica globais do edifício; e inquiridos os utentes, pessoal de manutenção e controlo da piscina e instrutores por forma a estimar os perfis de funcionamento da utilização dos espaços, equipamentos, iluminação, ocupação, entre outros.

Numa primeira fase, procedeu-se à caracterização do edifício, que consistiu na identificação do local de implantação da piscina coberta; levantamento geométrico das frações; identificação e caracterização dos elementos e soluções construtivas da envolvente opaca e não opaca das fachadas e cobertura; e caracterização dos diversos equipamentos e dispositivos elétricos e mecânicos.

Numa segunda fase, após a caracterização do edifício efetuou-se a modelação dinâmica no software de simulação HAP (*Hourly Analysis Program*), sendo definido, primeiramente, o modelo de simulação base que corresponde às condições atuais da piscina coberta e seguidamente, os modelos subsequentes, com a aplicação das medidas de reabilitação energética aplicadas à envolvente, aos equipamentos e à alteração comportamental.

A análise de resultados é a etapa que se refere à comparação dos valores obtidos entre a simulação energética base do edifício e os demais modelos de simulação com a implementação das medidas de reabilitação, procedendo-se à análise do desempenho energético na qual são avaliadas as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e outros consumos e a análise da viabilidade económica que tem em conta o custo/benefício da aplicação de cada medida. Esta análise é determinada através do período de retorno simples que traduz a relação entre o custo de investimento e as poupanças energéticas obtidas.

Por fim, foram definidas as propostas de melhoria de reabilitação que resultam da combinação e otimização das medidas de eficiência energética.

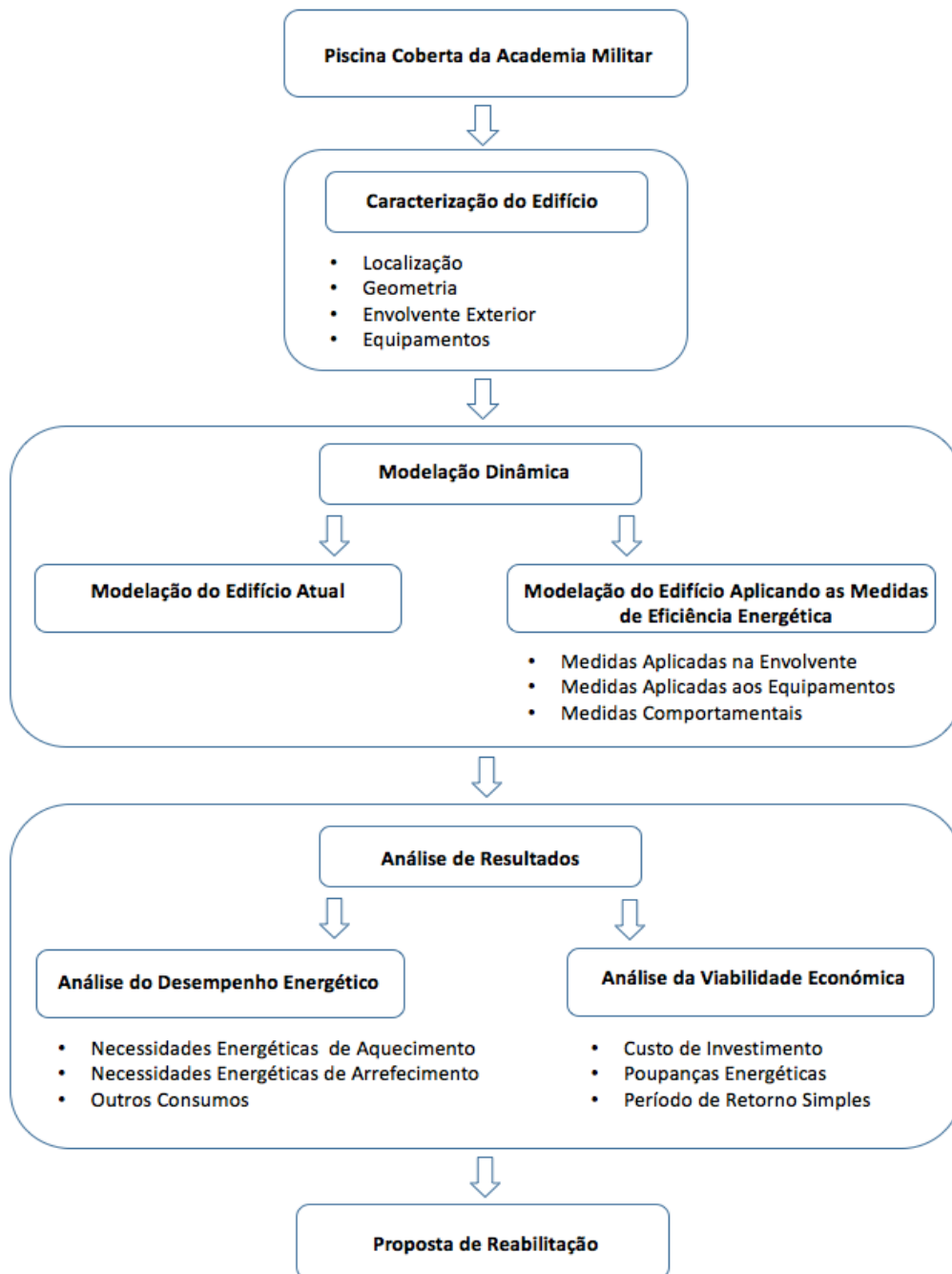


Figura 1.4 – Metodologia Geral da Reabilitação (esquema produzido pelo autor)

1.4 Organização do trabalho

A dissertação de mestrado é constituída por cinco capítulos: a introdução; o caso de estudo; a análise das medidas de eficiência energética; a análise da viabilidade económica das medidas de eficiência energética; e as conclusões.

No primeiro capítulo, a introdução, efetua-se um enquadramento do tema abordado por forma a evidenciar o panorama energético a nível mundial e o impacto que os setores da indústria, transportes e edifícios têm no consumo de energia primária na União Europeia. Posteriormente foram definidos os objetivos do presente estudo e a metodologia e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, o caso de estudo, são descritas em pormenor todas as características essenciais para a definição e caracterização do edifício, nomeadamente, o zonamento climático e local de implantação da piscina coberta; caracterização geométrica; orientação e exposição solar; soluções construtivas preconizadas na envolvente opaca e não opaca; identificação e caracterização dos sistemas de iluminação e equipamentos, bem como as análises experimentais efetuadas *in situ* para determinação dos consumos de energia elétrica e estimação do caudal de ventilação.

No terceiro capítulo são identificadas as medidas de eficiência energética a implementar no edifício e as análises resultantes das modelações termodinâmicas efetuadas para cada medida. É efetuada uma descrição pormenorizada das medidas de eficiência energética estudadas, nomeadamente: aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura; substituição dos vãos envidraçados atuais por vãos envidraçados de vidro duplo ou triplo com caixilharia em PVC; aplicação de películas de controlo solar nos vãos envidraçados; substituição do sistema de iluminação atual por um sistema de iluminação com tecnologia LED; e alteração do horário de funcionamento das caldeiras.

No quarto capítulo é realizada a análise da viabilidade económica das medidas de eficiência energética descritas, que consiste na avaliação e estimativa dos custos de investimento da implementação de cada medida e das poupanças monetárias resultantes da redução dos consumos energéticos associados às mesmas, obtendo o período de retorno simples que define se a medida de eficiência energética considerada é ou não viável do ponto de vista custo/benefício.

Por fim, o quinto capítulo é destinado às conclusões que resultaram do presente trabalho de investigação e é realizada uma abordagem aos desenvolvimentos futuros que poderão advir do aprofundamento da temática.

É de referir que após os cinco capítulos mencionados acima, são apresentadas as referências bibliográficas constituídas pelas fontes consultadas no decorrer da realização da dissertação, bem como os anexos que contêm informações complementares.

2 Caso de estudo

2.1 Introdução

A piscina coberta da Academia Militar (AM) é um edifício de serviços que foi construído no ano de 1986. Esta infraestrutura desportiva foi construída para a prática de natação de competição e lazer dos alunos, professores, instrutores e militares que frequentam a instituição de ensino superior universitário militar.

No presente capítulo será descrito de uma forma detalhada todos os aspetos relevantes para a caracterização do edifício, desde a sua localização e zonamento climático, orientação e exposição solar das fachadas, caracterização geométrica e análise da envolvente, bem como a determinação dos sistemas internos, nomeadamente, da iluminação, equipamentos, sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento de águas quentes da piscina (AQP).

2.2 Localização e zonamento climático

O edifício em estudo está inserido no complexo da Academia Militar – Campus da Sede e, encontra-se localizado no concelho de Lisboa, mais especificamente, na junta de freguesia de Arroios.

Na Figura 2.1 pode-se verificar a localização do edifício, bem como a orientação que o mesmo apresenta.



Figura 2.1 – Localização da piscina coberta da Academia Militar (Imagem de satélite retirada do *Google Maps*, a 15 de setembro de 2016)

Na Figura 2.1 pode observar-se, delimitado com linha de cor laranja, o complexo da Academia Militar – Campus da Sede e, delimitada com a linha cor vermelha, a piscina coberta da AM, localizada no centro do complexo.

De acordo com o estipulado no Despacho N° 15793-F/2013 (3 de dezembro de 2013), referente ao zonamento climático territorial e à folha de cálculo CLIMAS-SCE⁴ disponibilizado pelo LNEG

⁴ A folha de cálculo CLIMAS-SCE é um software desenvolvido pelo LNEG no âmbito do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, cuja finalidade é determinar os dados climáticos de um determinado município de Portugal, com a especificidade de determinar as estatísticas meteorológicas e o ano meteorológico de referência para a altitude de implementação do edifício considerado (LNEG, 2014).

(Laboratório Nacional de Energia e Geologia), foram determinados os dados climáticos do local de implementação do edifício.

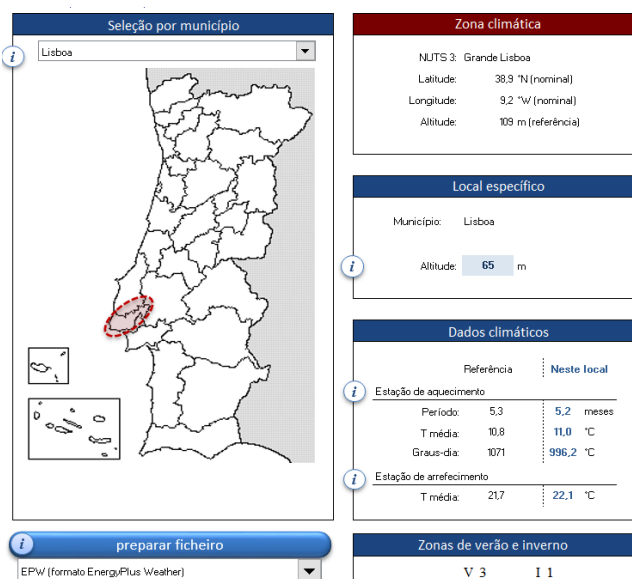


Figura 2.2 – Dados climáticos da piscina coberta da Academia Militar

Na Figura 2.2 verifica-se que o edifício está localizado na NUTS III⁵ da Grande Lisboa. Ademais, tem-se a informação respeitante à altitude de implantação do edifício da piscina coberta, que se caracteriza pela distância medida na vertical entre o local de implantação do edifício e o nível médio do mar.

No presente caso e, com recurso ao serviço de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite *Google Maps*, a altitude de implantação do edifício é de 65 metros. Com a introdução desta altitude, os dados climáticos são ajustados, face aos valores de referência integrados no Despacho N^o 15793-F/2013 (3 de dezembro de 2013), visto que os valores presentes no despacho foram calculados para uma altitude de 109 metros.

Assim sendo, a estação de aquecimento terá a duração de 5,2 meses, com início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro e término no último decêndio anterior a 31 de maio, apresentando uma temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, $\theta_{ext, i}$, de 11 °C, e cerca de 996,2 °C graus-dias, GD. Relativamente à estação de arrefecimento, esta terá uma duração de 4 meses, com início em junho e término em setembro, apresentando uma temperatura exterior média, $\theta_{ext, v}$, de 22,1 °C.

Posto isto, este edifício pertence à zona climática de inverno I1 (que corresponde a um inverno moderado) e à zona climática de verão V3 (que corresponde a um verão extremo), uma vez que apresenta um valor de graus-dia inferior ou igual a 1300 °C e uma temperatura exterior média, $\theta_{ext, v}$, superior a 22 °C, respetivamente.

⁵ A NUTS (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) é um sistema hierárquico de divisão do território Nacional em regiões que subdivide em três níveis (NUTS I, NUTS II e NUTS III) de acordo com os critérios populacionais, administrativos e geográficos (PORDATA, 2016).

2.3 Caracterização geométrica

Devido à escassa documentação e informações atualizadas das peças desenhadas e plantas de implantação do edifício, procedeu-se ao levantamento do edifício, nomeadamente à realização das plantas de implantação e peças desenhadas das fachadas, cobertura e pormenores dos elementos construtivos, como é o caso das paredes, pavimentos, coberturas e vãos envidraçados. Para tal, foi necessário analisar os poucos documentos referentes à sua construção e efetuar uma vistoria exaustiva ao local por forma a recolher informações relevantes de todos os elementos que constituem a envolvente exterior e efetuar medições do interior e exterior do edifício. Deste modo, torna-se mais intuitiva a análise das frações e dos elementos que compõem a piscina.

A piscina coberta da AM apresenta uma área total útil de 1497,2 m² e encontra-se dividida de acordo com a compartimentação apresentada nas Figuras 2.3 e 2.4 sendo que na Tabela 2.1 estão descritas as áreas úteis correspondentes a cada compartimento.

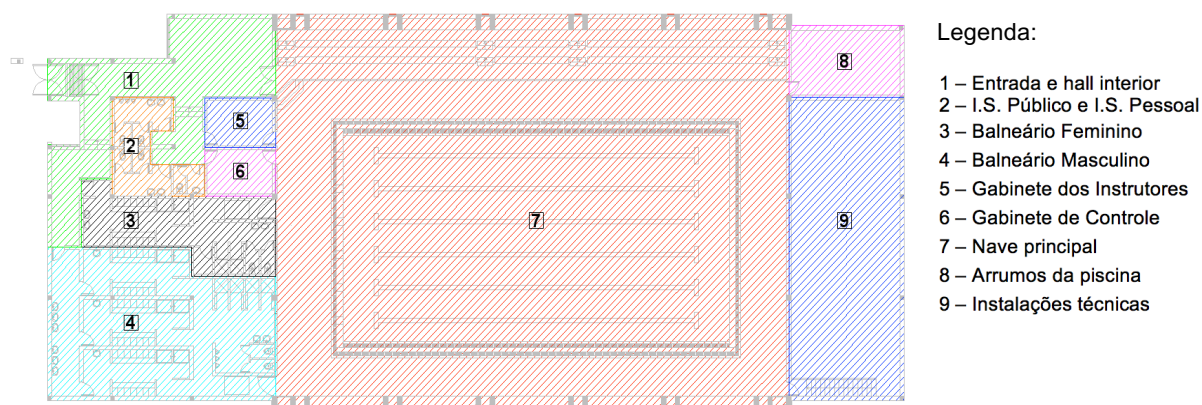


Figura 2.3 – Planta do piso térreo

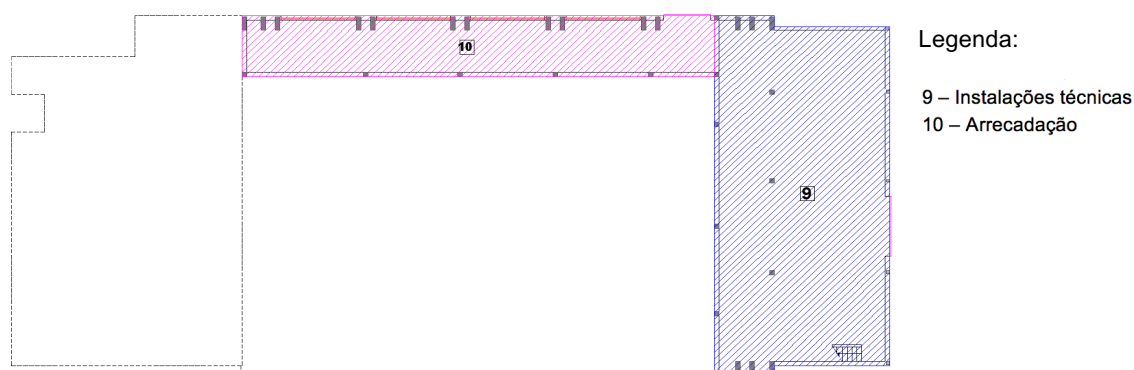


Figura 2.4 – Planta da cave

Como se pode observar nas plantas do piso térreo e da cave, Figuras 2.8 e 2.9, a piscina coberta encontra-se dividida em 10 compartimentos distintos.

O compartimento 1, entrada e hall interior, contempla o acesso principal ao edifício, garantindo uma separação entre os utentes que usufruem das instalações e os visitantes/espectadores. Esta zona proporciona o acesso não só às bancadas para o público, localizadas na nave principal da piscina,

compartimento 7, como a uma pequena área onde se localizam as instalações sanitárias para o público e pessoal da manutenção, compartimento 2. Os balneários feminino e masculino, compartimentos 3 e 4, respetivamente, são acedidos pela zona de entrada e hall interior e, dão acesso à área da nave principal da piscina por intermédio de um corredor existente em cada balneário com zona de lava-pés. Os gabinetes de controle e de instrutores, compartimentos 5 e 6, respetivamente, são acedidos pela zona da entrada e hall interior e têm também acesso à área correspondente à nave principal da piscina. Relativamente à nave principal da piscina, compartimento 7, esta apresenta uma plataforma destinada à bancada do público, assim como o tanque de natação e uma plataforma de acessos que envolve o respetivo tanque, garantindo o acesso aos arrumos da piscina, compartimento 8, e às instalações técnicas, compartimento 9. As instalações técnicas, compartimento 9, contemplam todos os equipamentos necessários para o funcionamento da piscina, nomeadamente, os equipamentos de AQS e AQP, filtros de areia, caldeiras, depósitos das águas solares, grupos de bombagem, entre outros. Este compartimento além de ser acedido pelo interior da nave principal da piscina, também é acedido pelo exterior por intermédio de acesso existente na cave que se prolonga até ao compartimento 10. Por fim, a arrecadação de material, compartimento 10, é um espaço que neste momento não apresenta uma função específica para a piscina, estando desocupado. O espaço encontra-se na cave da piscina, localizado por debaixo das bancadas da nave principal, sendo o seu acesso feito pelo exterior.

Na Tabela 2.1, apresentam-se as áreas úteis correspondentes a cada compartimento, bem como a informação do pé-direito médio.

Tabela 2.1 – Áreas úteis e pés-direitos dos compartimentos

Designação	Área útil [m ²]	Pé-direito médio [m]	Área útil total [m ²]
1 – Entrada e hall interior	89,9	2,7	
2 – I.S. Público e I.S. Pessoal	24,6	3,0	
3 – Balneário Feminino	50,7	3,0	
4 – Balneário Masculino	128,3	3,0	
5 – Gabinete dos Instrutores	13,8	3,0	
6 – Gabinete de Controle	13,5	3,0	1497,2
7 – Nave principal	802,2	7,1	
8 – Arrumos da piscina	32,7	3,0	
9 – Instalações técnicas	221,7	4,6	
10 – Arrecadação	119,8	3,4	

É de referir que as áreas úteis e os pés-direitos acima apresentados são utilizados na modelação dinâmica no software HAP, aquando da criação dos espaços, descritos no subcapítulo 3.3 do presente documento.

2.4 Orientação e exposição solar

Segundo Gonçalves & Graça (2004) é importante conhecer o percurso do sol ao longo do dia, nas estações de aquecimento e arrefecimento, com o intuito de perceber qual a influência que os ganhos solares, que advêm da radiação solar que incide no edifício, têm no comportamento térmico de um edifício.

Na Figura 2.5 encontra-se esquematizado o percurso do sol durante o dia ao longo do ano.

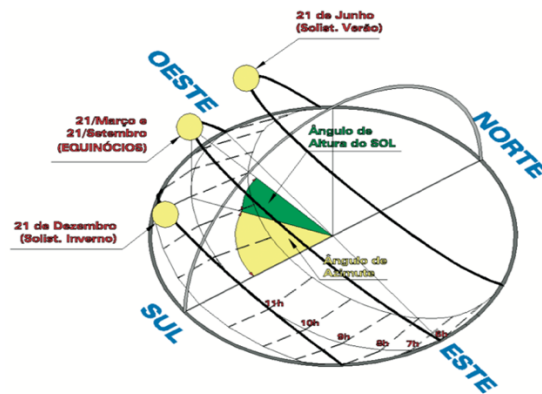


Figura 2.5 – Percursos do sol durante o dia, ao longo do ano em Portugal

Através da análise da Figura 2.5, verifica-se que, a 21 de junho, dá-se o solstício de verão, caracterizado por ser o dia do ano em que o ângulo de altura do sol atinge o valor máximo anual. O Sol nasce sensivelmente a Nordeste e põe-se Noroeste variando este ângulo, denominado de azimute desde o amanhecer ao anoitecer com a latitude do local (Gonçalves & Graça, 2004).

O solstício de inverno acontece a 21 de dezembro e, contrariamente ao de verão, é o dia em que o ângulo de altura do sol é mais baixo. O sol nasce a Sudeste e põe-se a Sudoeste, com o ângulo de azimute variável ao longo do dia com a latitude do lugar. Nos equinócios, a 21 de março e a 21 de setembro, a órbita do sol cruza o equador terrestre, iluminando de igual forma o hemisfério sul e norte. O nascer do sol dá-se a Este e põe-se a Oeste (Gonçalves & Graça, 2004).

Desta forma, será efetuada uma análise do andamento do sol ao longo do dia nas estações de Inverno e de Verão e a influência que têm nas fachadas do edifício.

A piscina coberta da AM foi disposta no terreno de tal modo que as fachadas do edifício ficaram concordantes com os quatro pontos cardeais, como se pode verificar na Figura 2.6.

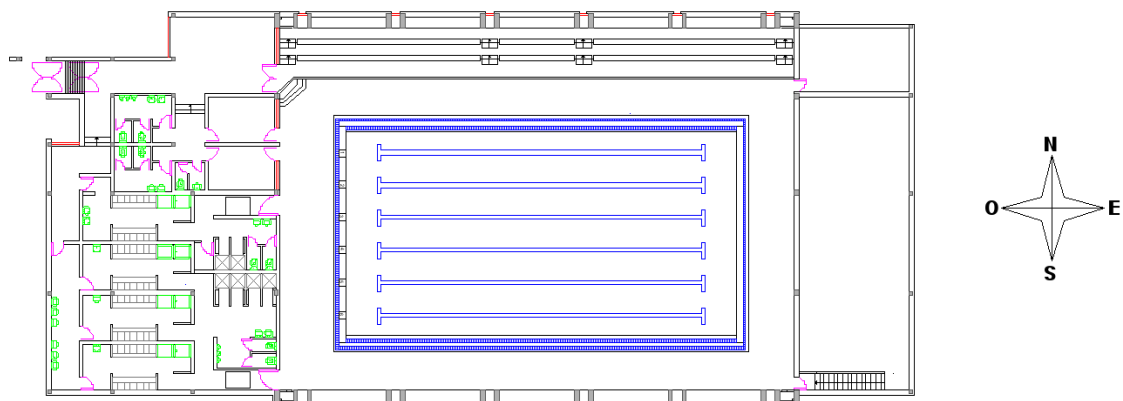


Figura 2.6 – Orientação da piscina coberta da Academia Militar

A fachada orientada a Oeste, ilustrada na Figura 2.7, é a fachada onde se encontra a entrada principal da piscina coberta. A sua orientação é propícia à incidência solar no período da tarde quando as temperaturas exteriores do ar são mais elevadas.

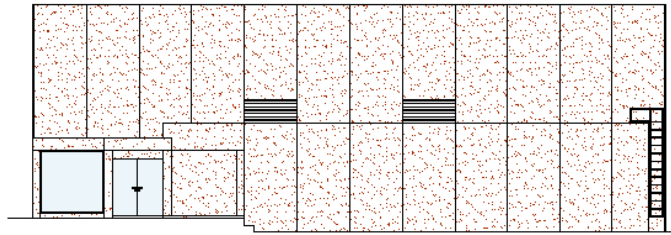


Figura 2.7 – Fachada Oeste

Na estação de aquecimento, como o ângulo de altura do sol é mais baixo e visto que o sol se põe mais cedo do que no verão, os ângulos de azimute na latitude do local são reduzidos ao longo das horas em que a fachada se encontra exposta à radiação solar, resultando em poucos ganhos solares.

Na estação de arrefecimento, o ângulo de altura do sol é mais elevado e, dado que o anoitecer se dá próximo da orientação Noroeste, a fachada encontra-se exposta durante mais horas no período da tarde, proporcionando uma maior captação solar. Nesta estação é necessário ter em atenção às áreas dos vãos envidraçados, sendo essencial a presença de dispositivos de sombreamento eficazes, uma vez que os ganhos solares são elevados.

Como se pode observar na Figura 2.7, a fachada orientada a Oeste apenas apresenta uma porta de vidro e uma janela. A porta de vidro está recuada face ao plano da fachada e dispõe de uma pala horizontal sobre a mesma com uma projeção de 2,30 metros, enquanto que a janela não dispõe de qualquer dispositivo de sombreamento.

A fachada orientada a Sul, ilustrada na Figura 2.8, é a fachada que apresenta uma maior quantidade de vãos envidraçados. Estes envidraçados encontram-se concentrados na nave principal da piscina coberta, por forma a fornecer iluminação natural ao tanque de natação.

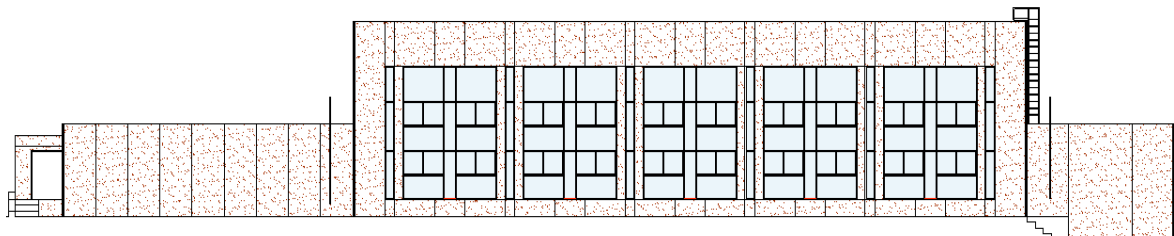


Figura 2.8 – Fachada Sul

Na estação de aquecimento, o ângulo de altura do sol é reduzido, mas a incidência solar é bastante elevada, dado que o sol nasce a Sudeste e põe-se a Sudoeste, resultando numa forte exposição solar durante longas horas do dia. Logo, é vantajosa na estação de aquecimento, a existência de vãos envidraçados presentes na orientação sul, pois os ganhos solares para o interior do edifício são maiores.

Já na estação de arrefecimento, o ângulo de altura do sol é elevado, próximo do zénite, o que resulta numa incidência solar nos vãos envidraçados a sul com um grande ângulo, o que reduz os ganhos solares. Neste sentido, a adoção de uma pala de sombreamento horizontal de reduzidas dimensões sobre as janelas orientadas a sul é suficiente para atenuar a incidência de radiação direta.

A fachada exposta a Este, representada na Figura 2.9, é a fachada respeitante às instalações técnicas da piscina coberta. Como se pode observar, não existem vãos envidraçados na orientação Este, pelo que os ganhos solares serão resultantes da incidência de radiação solar na envolvente opaca.

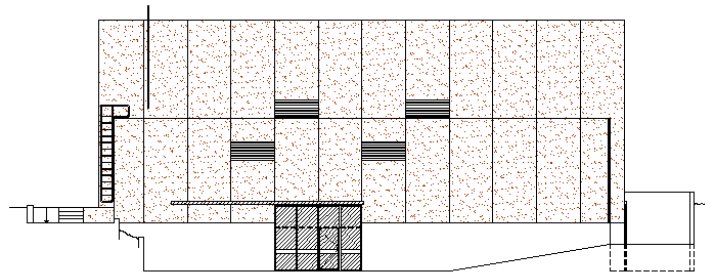


Figura 2.9 – Fachada Este

Devido à sua orientação a Este, a incidência e intensidade de radiação solar é praticamente idêntica à da fachada orientada a Oeste.

Na estação de aquecimento, a fachada a Este apresenta poucos ganhos solares, devido à reduzida incidência solar uma vez que o sol nasce próximo da orientação a Sudeste e incide no complexo apenas nas primeiras horas da manhã.

Na estação de arrefecimento, os ganhos solares são bastante mais significativos, uma vez que o sol nasce sensivelmente a Nordeste com um ângulo de altura solar elevado, resultando na incidência de radiação solar durante longas horas do período da manhã.

Por fim, na fachada orientada a Norte, ilustrada na Figura 2.10, encontram-se presentes alguns vãos envidraçados respeitantes à nave principal e arrecadação da piscina.

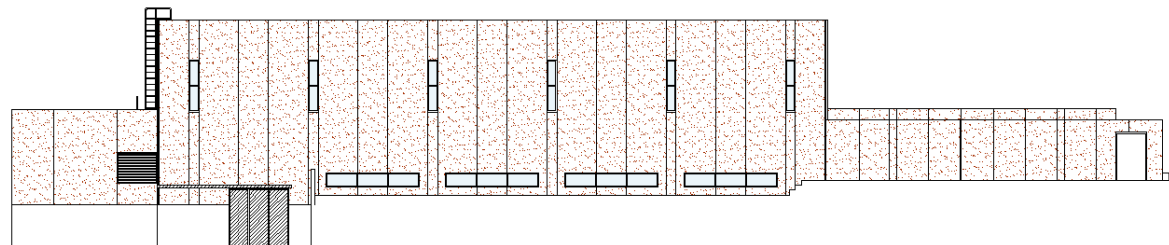


Figura 2.10 – Fachada Norte

Sendo uma fachada orientada a Norte, a incidência solar e os ganhos associados são consideravelmente reduzidos, pelo que a adoção de dispositivos de sombreamento nos vãos envidraçados não se justifica nem deve ser considerada.

Na estação de aquecimento, a fachada a Norte não se encontra exposta à radiação solar direta, apesar de receber alguma radiação difusa proveniente da abóbada celeste.

Na estação de arrefecimento, o ângulo de altura solar é grande e, apesar do sol nascer a Nordeste e o pôr-do-sol ser a Noroeste, os ganhos solares não são muito significativos, dado que a radiação solar que incide diretamente na fachada a Norte acontece nas primeiras horas da manhã e nas últimas do período da tarde.

Como se pode constatar no que foi *supra* referido, a orientação das fachadas e a forma como se dispõem os vãos envidraçados são fatores a ter em conta, quando referentes aos ganhos ou perdas solares.

2.5 Caracterização da envolvente

A envolvente de um edifício caracteriza-se pela separação entre o meio interno e externo do mesmo e, por essa mesma razão, a sua importância na transferência de calor entre os meios é elevada.

A caracterização deve ser efetuada com o maior rigor possível, para que daí resulte uma modelação dinâmica coerente com a realidade.

Neste sentido, os seguintes pontos são relativos à descrição detalhada das soluções construtivas dos elementos, bem como aos materiais de construção utilizados na envolvente da piscina coberta da Academia Militar.

2.5.1 Paredes

2.5.1.1 Parede exterior

A solução da parede exterior da piscina coberta é uniforme em toda a envolvente do edifício. É responsável por grande parte da absorção de radiação solar, uma vez que está revestida por uma camada de granito encarnado, o que resulta num coeficiente de absorção de radiação substancialmente maior face a outras cores mais claras.

Tal como é esquematizado na Figura 2.11, a solução da parede exterior é constituída por quatro camadas de materiais, nomeadamente, uma camada de placas de betão pré-fabricado revestido a granito encarnado; argamassa de assentamento; tijolo cerâmico furado com uma espessura de 22 centímetros e uma camada de reboco areado.

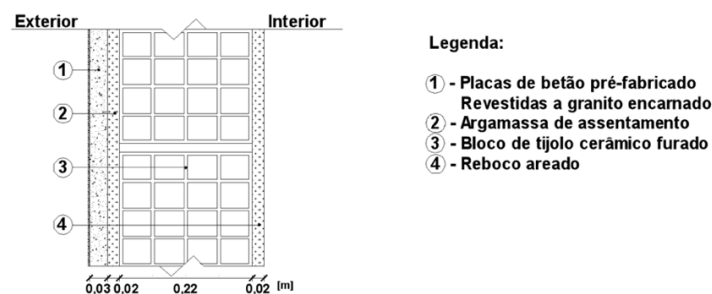


Figura 2.11 – Pormenor da parede exterior

Por forma a determinar o coeficiente de transmissão térmica da parede, U , teve de se caracterizar os parâmetros físicos de cada camada de material, apresentados na Tabela 2.2, nomeadamente a espessura, condutividade térmica, λ , expressa nas unidades de $W/m \cdot ^\circ C$ e a resistência térmica, R , expressa nas unidades de $m^2 \cdot ^\circ C/W$. Por fim o coeficiente de transmissão térmica, U , define-se pelo inverso do somatório de todas as resistências térmicas, expressando o seu valor nas unidades de $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Tabela 2.2 – Caracterização da parede exterior

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Exterior	-	-	-	0,0400	
1 - Placa de betão pré-fabricado	0,03	1750	1,30	0,0231	
2 – Argamassa	0,02	1800	1,30	0,0154	1,344
3 - Tijolo cerâmico	0,22	1000	0,77	0,5200	
4 - Reboco areado	0,02	1800	1,30	0,0154	
Interior	-	-	-	0,1300	

2.5.1.2 Parede interior

No presente estudo, as paredes interiores que foram analisadas, são aquelas que fazem fronteira com espaços não úteis e que separam zonas com temperaturas do ar interior diferentes. Assim sendo, foram consideradas as paredes que separam a nave principal da piscina, compartimento 7, dos demais compartimentos contíguos, nomeadamente os balneários feminino e masculino; hall interior; instalações técnicas e arrumos da piscina.

A solução construtiva da parede interior, apresenta-se esquematizada na Figura 2.12 consubstanciando-se numa parede simples de alvenaria, revestida a reboco em ambas as faces.

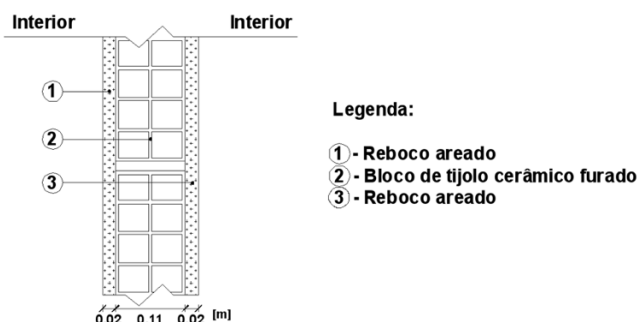


Figura 2.12 – Pormenor da parede interior

A Tabela 2.3 apresenta as propriedades físicas de cada um dos materiais preconizados na solução construtiva da parede interior.

Tabela 2.3 – Caracterização da parede interior

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Interior	-	-	-	0,1300	
1 - Reboco areado	0,02	1800	1,30	0,0154	
2 - Tijolo cerâmico furado	0,11	1000	0,41	0,2700	1,783
3 - Reboco areado	0,02	1800	1,30	0,0154	
Interior	-	-	-	0,1300	

2.5.1.3 Parede em contacto com o terreno

Os compartimentos 9 e 10, esquematizados na planta da cave, na Figura 2.4, estão abaixo do nível da implementação do piso térreo encontrando-se no subsolo.

As paredes em contacto com o solo dos compartimentos referentes às instalações técnicas e arrecadação de material são constituídas por um pano de betão armado com 25 centímetros de espessura, como se pode verificar na Figura 2.13.

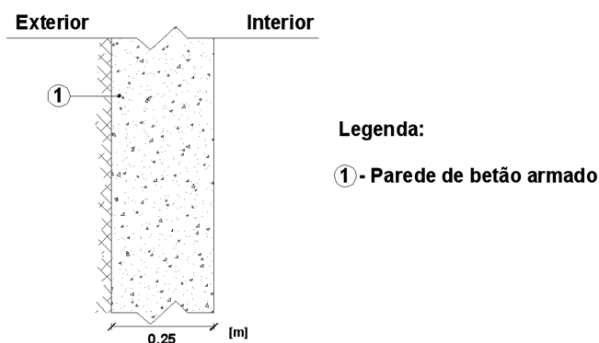


Figura 2.13 – Pormenor da parede interior

De acordo com o Despacho Nº 15793-K/2013 (3 de dezembro de 2013), os elementos em contacto com o solo devem ser analisados conforme as especificações prescritas no presente despacho, e, para o presente caso, o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica das paredes em contacto com o terreno, U_{bw} , determina-se em função da resistência térmica da parede, R_w , e a profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo, z .

Na tabela 2.4 estão presentes os dados relativos à resistência térmica da parede de betão armado, R_w , a profundidade média da parede enterrada, z e o respetivo valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede, U_{bw} .

Tabela 2.4 – Caracterização da parede em contacto com o solo

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R_w [m ² .°C/W]	z [m]	U_{bw} [W/m ² .°C]
1 – Parede de betão armado	0,25	2300	2,30	0,1087	2	1,32

2.5.2 Pavimentos

2.5.2.1 Pavimento térreo

O pavimento térreo é aquele que se encontra diretamente em contacto com o solo e, no caso em estudo, acompanha praticamente todo o desenvolvimento da implementação da piscina coberta, excetuando os pavimentos que se encontram entre espaços com características térmicas distintas, nomeadamente o pavimento que faz a separação dos compartimentos 7 e 9 e entre os compartimentos 7 e 10, que se podem observar nas Figuras 2.3 e 2.4.

Na Figura 2.14 observa-se que a solução construtiva do piso térreo é constituída por cinco camadas de diferentes materiais, designadamente, uma camada de enrocamento; camada de regularização; laje de betão armado; argamassa de assentamento e revestimento cerâmico no interior.

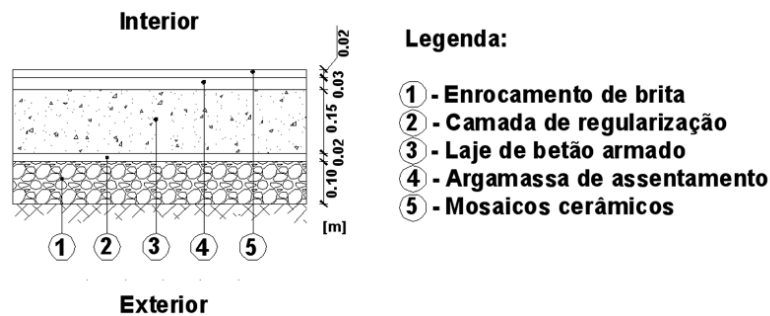


Figura 2.14 – Pormenor do pavimento térreo

Com base no Despacho N° 15793-K/2013 (3 de dezembro de 2013), referente à determinação dos parâmetros térmicos, a determinação do valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com o solo, U_{br} , é obtido em função dos seguintes parâmetros:

- Dimensão característica do pavimento, B' ;
- Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, R_f , com a exclusão de resistências térmicas superficiais;
- Largura ou profundidade do isolamento D , respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal.

Para a determinação da dimensão característica do pavimento recorreu-se à expressão de cálculo (2.1) presente no mesmo despacho, que se expressa da seguinte forma:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} \quad [m] \quad (2.1)$$

Em que:

A_p – Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m²]

P – Perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m]

R_f – Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências térmicas superficiais, [m²·°C/W]

D – Largura ou profundidade do isolamento, no caso do isolamento perimetral ser horizontal ou vertical, [m]

Desta forma foi necessário obter todos os parâmetros para determinar o coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno.

Na Tabela 2.5, estão apresentadas, com maior pormenor, as características de cada uma das camadas do pavimento térreo, assim como o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica com a exclusão das resistências térmicas superficiais, U_f .

Tabela 2.5 – Caracterização do pavimento térreo: Determinação do valor de cálculo U_f

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R_f [m ² .°C/W]	U_f [W/m ² .°C]
1 - Enrocamento de brita	0,10	1700	2,0	0,0500	5,727
2 - Camada de regularização	0,02	1200	0,7	0,0286	
3 - Laje de betão armado	0,15	2300	2,3	0,0652	
4 - Argamassa assentamento	0,02	1800	1,3	0,0154	
5 - Revestimento cerâmico	0,02	2300	1,3	0,0154	
			Total	0,1746	

Os restantes parâmetros, nomeadamente, a dimensão característica do pavimento, B' e a área de útil do pavimento, medida pelo interior, A_p , bem como o valor do coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o solo, U_{bf} , estão apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Caracterização do pavimento térreo: Determinação do valor de cálculo U_{bf}

Designação	Área útil [m ²]	P [m]	B' [m]	Z [m]	R_f [m ² .°C/W]	U_{bf} [W/m ² .°C]
1 – Entrada e hall interior	89,9	73,18	13158	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
2 – I.S. Público e I.S. Pessoal	24,6	26,90	1323	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
3 – Balneário Feminino	50,7	36,98	3750	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
4 – Balneário Masculino	128,3	48,22	12373	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
5 – Gabinete dos Instrutores	13,8	15,18	419	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
6 – Gabinete de Controle	13,5	15,08	407	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
7 – Nave principal	802,2	116,06	186207	$Z \leq 0,5$	$R_f \leq 0,5$	0,253
9 – Instalações técnicas	221,7	70,41	31220	$Z \geq 3,0$	$R_f \leq 0,5$	0,187
10 – Arrecadação	119,8	67,83	16252	$Z \geq 3,0$	$R_f \leq 0,5$	0,187

Através da análise da Tabela 2.6, pode-se observar que nos pavimentos respeitantes aos compartimentos 1 a 7, a sua profundidade média face ao plano de implementação da planta do piso térreo, Z , é inferior a 0,5 m e, como a resistência térmica total das camadas de materiais de construção, R_f , é inferior a 0,5 m².°C/W, segundo o Despacho N° 15793-K/2013 (3 de dezembro de 2013), o valor do coeficiente de transmissão térmica, U_{bf} , corresponde a $1,15 \times U_{(R_f=0,5)}$, o que resulta num valor de U_{bf} igual a 0,253 W/m².°C. Já no pavimento que se encontra em contacto com o solo dos compartimentos 9 e 10, o seu valor do coeficiente de transmissão térmica, U_{bf} é igual a 0,187 W/m².°C, e, visto que, a profundidade média, Z , é superior a 3 metros, e a resistência térmica total das camadas de materiais de construção, R_f , é inferior a 0,5 m².°C/W, adota-se a simplificação de $1,10 \times U_{(R_f=0,5)}$, de modo a determinar o coeficiente de transmissão térmica, U_{bf} , dos pisos térreos das instalações técnicas e da arrecadação.

2.5.2.2 Pavimento interior

O pavimento interior que faz a separação entre os compartimentos 7 e 9 e 7 e 10 (que se podem observar nas Figuras 2.3 e 2.4) apresenta uma solução construtiva diferente da solução preconizada para o pavimento térreo, descrito no ponto 2.5.2.1. Este pavimento é o que faz a separação entre as bancadas presentes na nave principal, compartimento 7, e a arrecadação de material, compartimento

10, bem com o pavimento que faz a separação entre a zona a Este da área de circulação do tanque de natação, presente no compartimento 7 e as instalações técnicas, compartimento 9.

Como se pode observar na Figura 2.15, este pavimento é constituído por três camadas: laje de betão armado com 15 cm de espessura; argamassa de assentamento com 2 cm de espessura; e um revestimento cerâmico com uma espessura de 2 cm.

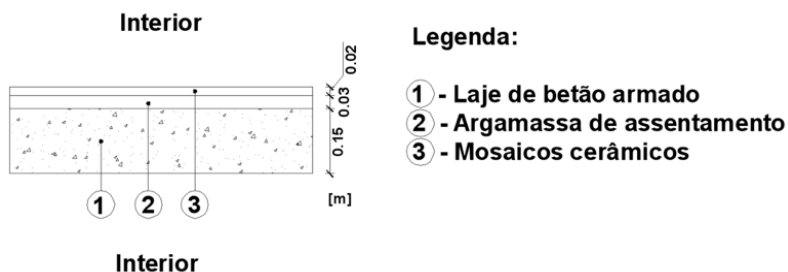


Figura 2.15 – Pormenor do pavimento interior

Na Tabela 2.7, encontra-se caracterizada a solução construtiva do pavimento interior, assim como o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento, U, com a inclusão das resistências térmicas superficiais.

Tabela 2.7 – Caracterização do pavimento interior

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Interior	-	-	-	0,1700	
1 - Laje de betão armado	0,15	2300	2,3	0,0652	
2 - Argamassa assentamento	0,02	1800	1,3	0,0154	2,294
3 - Revestimento cerâmico	0,02	2300	1,3	0,0154	
Interior	-	-	-	0,1700	

2.5.3 Cobertura

A cobertura é um elemento pertencente à envolvente horizontal e apresenta um papel fundamental no comportamento térmico do edifício, uma vez que a sua área de exposição aos fatores externos é, por norma, elevada.

As coberturas estão divididas em dois grandes grupos e, classificam-se em coberturas planas e coberturas inclinadas. As coberturas planas definem-se por apresentar uma inclinação inferior a 8% e, usualmente, as coberturas planas com inclinação inferior a 3% designam-se por coberturas em terraço. Consoante a posição do isolante térmico presente nas coberturas planas, estas podem ser designadas de coberturas planas tradicionais, caso o sistema de impermeabilização seja colocado sobre o isolamento térmico ou designadas de coberturas planas invertidas quando o contrário se verifica. Relativamente às coberturas inclinadas, a sua inclinação é superior a 8%, apresentando superfícies planas inclinadas, designadas de “águas” cuja função é efetuar um escoamento rápido das águas da chuva e neve (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

No presente estudo, o edifício da piscina coberta é constituído apenas por coberturas planas, sendo a cobertura sobre a nave principal uma cobertura plana invertida e a cobertura sobre os restantes espaços uma cobertura plana tradicional.

2.5.3.1 Cobertura plana da nave principal

A cobertura plana invertida localizada sobre a nave principal da piscina, esquematizada na Figura 2.16, é constituída por uma laje de betão armado, uma camada de regularização, caixa-de-ar e painéis de poliuretano do tipo sanduíche.

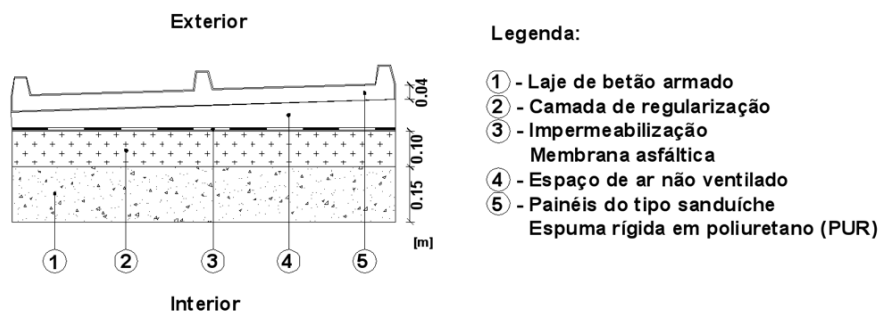


Figura 2.16 – Pormenor da cobertura plana da nave principal

Na Tabela 2.8, estão caracterizados todos os materiais presentes na cobertura plana invertida, incluindo os painéis de isolamento do tipo sanduíche e a o espaço de ar não ventilado entre o isolamento e a camada de regularização.

Tabela 2.8 – Caracterização da cobertura da nave principal

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [w/m.°C]	R [m ² .°C/w]	U [w/m ² .°C]
Interior	-	-	-	0,100	
1 - Laje de betão armado	0,15	2300	2,300	0,065	
2 - Camada de regularização	0,10	1200	0,700	0,143	
3 - Impermeabilização: membrada asfáltica	0,002	1000	0,230	0,009	0,626
4 - Espaço de ar não ventilado	-	1,23	-	0,160	
5 - Painel sanduíche: espuma rígida poliuretano	0,04	40	0,037	1,081	
Exterior	-	-	-	0,040	

2.5.3.2 Cobertura plana dos restantes espaços

A cobertura plana que se encontra sobre os restantes espaços da piscina está esquematizada na Figura 2.17 e é constituída pelos seguintes materiais de construção: laje de betão armado; camada de regularização; e uma membrana de impermeabilização aplicada pelo exterior.

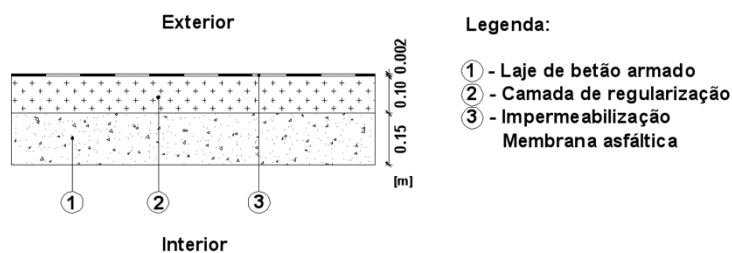


Figura 2.17 – Pormenor da cobertura da zona corrente

Na Tabela 2.9, encontram-se presentes todos os dados considerados relevantes para determinar o coeficiente de transmissão térmica global deste conjunto de materiais da cobertura plana.

Tabela 2.9 – Caracterização da cobertura plana da zona corrente

Designação	Espessura [m]	ρ [Kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Interior	-	-	-	0,100	
1 - Laje de betão armado	0,15	2300	2,30	0,065	
2 - Camada de regularização	0,10	1200	0,70	0,143	2,801
3 - Impermeabilização: membrana asfáltica	0,002	1000	0,23	0,009	
Exterior	-	-	-	0,040	

2.5.4 Vãos envidraçados

2.5.4.1 Janelas

O tipo de vãos envidraçados presentes no edifício, encontram-se esquematizados na Figura 2.18. Devido à inexistência de documentação relativa às características dos vãos envidraçados utilizados na piscina coberta, realizou-se uma vistoria ao local e foram estimadas as especificações das janelas existentes, nomeadamente, a quantidade de vãos envidraçados; o tipo de abertura; o tipo de vidro; verificação de caixa de ar entre os panos de vidro; o tipo de caixilharia; o nível de degradação dos vedantes; e a verificação de aberturas nas caixilharias.

Deste modo, os valores referentes ao coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, U_w , foram determinados através da consulta do documento do ITE50 de Pina & Matias (2006) e os valores referentes aos fatores solares do vidro para uma incidência normal ao vão, $g_{\perp,vi}$, foram determinados através da consulta do Despacho N° 15793-K/2013 (3 de dezembro de 2013).

Assim sendo, as soluções dos vãos envidraçados presentes nas fachadas do edifício são maioritariamente constituídas por dois panos de vidro com uma espessura de 4 milímetros cada e com uma caixa-de-ar de 6 milímetros entre ambos os panos. As caixilharias dos vãos envidraçados são constituídas por alumínio e não possuem corte térmico, sendo que os sistemas de abertura da janela podem ser fixos ou em bandeira. Relativamente aos dispositivos de oclusão noturna, estes são inexistentes.

Na Figura 2.18, estão esquematizadas as janelas tipo presentes nas fachadas da piscina coberta, com abertura do tipo fixo e giratório.

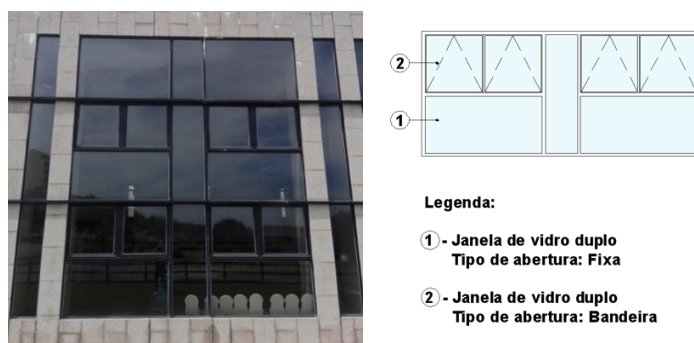


Figura 2.18 – Pormenor dos vãos envidraçados

Na Tabela 2.10, pode constatar-se que consoante o tipo de abertura da janela, sendo do tipo fixo ou bandeira, os valores do coeficiente de transmissão térmica, U_w , são ligeiramente diferentes.

É de referir que posteriormente estes valores serão introduzidos no software de simulação dinâmica HAP por forma a determinar qual a transferência de calor através da envolvente do edifício resultante.

Tabela 2.10 – Caracterização dos vãos envidraçados (caixilharia metálica e sem corte térmico)

Designação	Sistema de abertura	Espessura do vidro [mm]	Espessura lâmina de ar [mm]	U_w [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	$g_{\perp,vi}$
1 - Janela de Vidro duplo	fixo	4+4	6	3,9	0,78
2 - Janela de Vidro duplo	Bandeira	4+4	6	4,3	0,78

2.5.4.2 Claraboias

As claraboias são consideradas vãos envidraçados horizontais e, como tal, apresentam características diferentes comparativamente com os vãos envidraçados verticais.

Desta forma, segundo Pina & Matias (2006) existe uma maneira simplificada de determinar o coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados horizontais, U_{wh} , definindo-o de forma idêntica aos vãos envidraçados verticais, adicionando um fator de 0,04 consoante o fluxo considerado seja ascendente ou descendente.

Sendo o fluxo ascendente o mais condicionante, o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados horizontais, U_{wh} , determina-se de acordo com a equação (2.2):

$$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (2.2)$$

Em que:

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela simples, [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

Na Figura 2.19 está esquematizada uma claraboia tipo, presente na cobertura da piscina coberta.

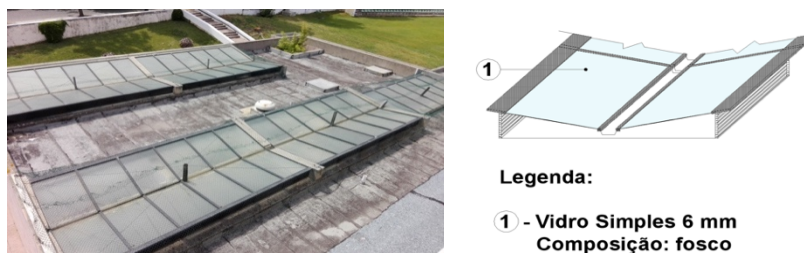


Figura 2.19 – Pormenor da claraboia tipo

A Tabela 2.11 contem os dados relativos do coeficiente de transmissão térmica da claraboia, U_{wh} , bem como o fator solar do vidro, para uma exposição normal ao vão, $g_{\perp, vi}$.

Tabela 2.11 – Caracterização da claraboia tipo

Designação	Sistema de abertura	Espessura do vidro [mm]	U_{wh} [$w/m^2 \cdot ^\circ C$]	$g_{\perp, vi}$
1 - Claraboia com Vidro Simples	Fixo	6	5,96	0,85

2.5.5 Portas

As portas que fazem parte do edifício são três, sendo uma delas em vidro temperado e duas delas metálicas, em alumínio.

A porta que dá acesso à entrada da piscina coberta da AM é constituída por um pano de vidro temperado com 10 mm de espessura, como podemos visualizar na Figura 2.20.

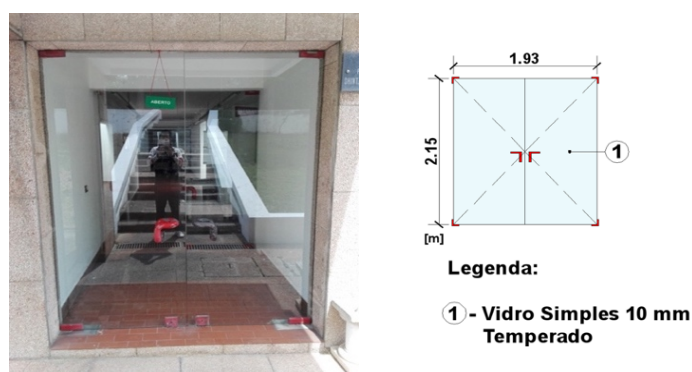


Figura 2.20 – Pormenor da porta de entrada

Por forma a determinar o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica da porta, U , foi necessário determinar a espessura do vidro e calcular o coeficiente analiticamente.

Na Tabela 2.12, é apresentada a caracterização da porta de vidro da entrada.

Tabela 2.12 – Caracterização da porta de entrada

Designação	Espessura [m]	λ [w/m.°C]	R [m².°C/w]	U [w/m².°C]	$g_{\perp,vi}$
Interior	-	-	0,13		
1 – vidro simples temperado	0,01	1,4	0,00714	5,65	0,82
Exterior	-	-	0,04		

Relativamente às portas metálicas, presentes nas traseiras das instalações técnicas e da arrecadação de material, são constituídas por um pano em alumínio de 5 mm de espessura e o seu mecanismo de abertura é de correr, com o auxílio de umas calhas metálicas superiores e inferiores.

Na figura 2.21, está esquematizada a porta metálica tipo, presentes nas fachadas dos espaços acima supracitados.

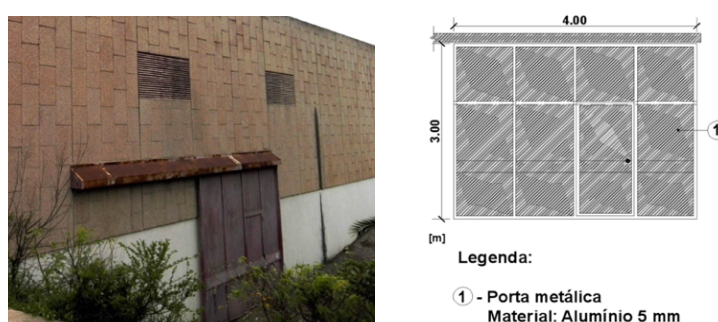


Figura 2.21 – Pormenor da porta metálica

Na tabela 2.13, estão descritos todos os parâmetros físicos da porta metálica de alumínio e o valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica respetivo.

Tabela 2.13 – Caracterização da porta metálica de alumínio

Designação	Espessura [m]	λ [w/m.°C]	R [m².°C/w]	U [w/m².°C]
Interior	-	-	0,13	
1 – Porta metálica de alumínio	0,005	230	2,17E05	5,88
Exterior	-	-	0,04	

2.6 Pontes térmicas

As pontes térmicas planas e lineares devem ser consideradas para que a parametrização do modelo de cálculo dinâmico seja o mais coerente com a realidade.

Uma vez que não existem elementos suficientes que permitam identificar e medir as pontes térmicas, devido à inexistência de plantas e desenhos pormenorizados dos demais elementos construtivos e espaços da piscina coberta, foi necessário recorrer à Portaria N° 349-D/2013 (2 de dezembro de 2013).

Na presente portaria, está definido que as pontes térmicas lineares podem ser consideradas mediante uma majoração global, em 5% das necessidades de aquecimento do edifício, ou seja, quando se efetua a modelação dinâmica no HAP e se analisa os resultados, é necessário adicionar 5% ao valor

das necessidades de aquecimento. Relativamente à contabilização das pontes térmicas planas, deve-se majorar em 35% o valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores, isto é, ao introduzirmos o valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores no software de simulação HAP, deve-se adicionar 35% ao valor definido inicialmente.

2.7 Inércia térmica

A inércia térmica de um edifício refere-se à capacidade que os materiais de construção têm de armazenar calor e libertar gradualmente quando a temperatura baixa relativamente ao seu pico.

Assim sendo, é necessário classificar qual a inércia térmica do edifício.

Preferencialmente deve-se efetuar o cálculo rigoroso da inércia térmica, presente no Despacho Nº 15793-K/2013 (3 de dezembro de 2013), de forma a identificar corretamente a respetiva classe de inércia térmica. Devido à inexistência de algumas informações mais precisas, não foi possível realizar o seu cálculo direto, tendo-se recorrido ao Despacho Nº 15793-E/2013 (3 de dezembro de 2013), para a avaliação da respetiva inércia térmica do edifício. O despacho em questão atribui a classe de inércia forte aos edifícios que apresentam cumulativamente pavimentos e tetos em betão armado; revestimentos de teto com reboco; revestimento dos pisos em material cerâmico; paredes exteriores e paredes interiores de compartimentação em alvenaria revestidas a reboco.

Com as evidências descritas acima, pode-se constatar que o edifício da piscina coberta se insere na classe de inércia térmica forte.

2.8 Iluminação

Existem três tipos de sistemas de iluminação no edifício, o sistema de iluminação interior, o sistema de iluminação de emergência e o sistema de iluminação de obstrução aérea.

Como se pode observar na Tabela 2.14, o sistema de iluminação interior é o que apresenta uma maior parcela de potência comparativamente com os outros, apresentando cerca de 8755,4 W de potência nominal.

De forma a contabilizar o consumo que o balastro eletrónico presente nos dispositivos das lâmpadas fluorescentes apresenta, atribui-se uma potência nominal de 10% ao somatório das potências nominais das lâmpadas fluorescentes.

O sistema de iluminação de emergência é uma medida de segurança presente no edifício da piscina e permite que, em caso de avaria da iluminação interior normal, a evacuação dos utentes se efetue de forma segura e eficaz. Os dispositivos deste sistema de iluminação estão dispersos pelo edifício, apresentando uma potência nominal instalada de 121 W.

Por fim, o sistema de iluminação de obstrução aérea apresenta uma potência instalada de 550 W. Este sistema permite que o edifício fique delimitado e sinalizado por forma a precaver a colisão acidental de helicópteros, uma vez que as aeronaves de emergência médica utilizam o campo de futebol adjacente ao edifício da piscina coberta da AM.

Na Tabela 2.14, estão apresentados os tipos de luminárias utilizados por cada um dos sistemas de iluminação, bem como a sua potência nominal.

Tabela 2.14 – Caracterização do sistema de iluminação

Designação	Potência Nominal [W]	Quantidade [uni.]	Potência Total [W]
<u>Iluminação interior</u>			
Lâmpada fluorescente tubular T8	18	25	450
Lâmpada fluorescente tubular T8	36	36	1296
Lâmpada fluorescente tubular T8	58	46	2668
Lâmpada sódio alta pressão	150	6	900
Lâmpada sódio alta pressão	250	12	3000
	+10% balastro eletrônico		441,4
	Total		8755,4
<u>Iluminação de emergência</u>			
Lâmpada fluorescente tubular T5	11	10	110
	+10% balastro eletrônico		11
	Total		121
<u>Iluminação de obstrução aérea</u>			
Lâmpada incandescente	55	10	550
	Total		550
	Total		9426,4

2.9 Equipamentos diversos

Para além dos variados consumos de energia associados aos sistemas de iluminação, bombagem, aquecimento de águas sanitárias (AQS) e de aquecimento de águas da piscina (AQP) foram contabilizados outros equipamentos inerentes à atividade desenvolvida no gabinete de controle.

Os equipamentos existentes no gabinete de controle, bem como a sua potência nominal estão descritos na Tabela 2.15

Tabela 2.15 – Caracterização dos equipamentos diversos

Designação	Potência Nominal [W]	Quantidade [uni.]	Potência Total [W]
Computador portátil	100	1	100
Frigorífico	600	1	600
Termo ventilador	1250	1	1250
Máquina de café	1500	1	1500
	Total		3450

Todos os equipamentos apresentados na Tabela 2.15 têm uma utilização temporal aproximadamente igual ao período em que a piscina está aberta aos utentes, isto é, no período compreendido das 8 horas da manhã às 19 horas da tarde, em todos os dias úteis, à exceção do frigorífico que está em funcionamento constante.

Posteriormente os dados referentes a cada um dos equipamentos serão introduzidos no software de simulação, no espaço referente ao gabinete de controlo e será atribuído um perfil de funcionamento a cada um.

2.10 Águas quentes sanitárias (AQS) e águas quentes da piscina (AQP)

O fornecimento de água quente às instalações sanitárias, balneários e tanque de natação é realizado através de um sistema conjunto de aquecimento de águas, no qual fazem parte dois sistemas.

Num deles, a água é aquecida através de um sistema que apresenta duas caldeiras a gás e noutro, a água é aquecida por intermédio de um sistema de painéis termodinâmicos. Estes dois sistemas trabalham em conjunto de forma integrada, de modo a garantir água quente ao edifício.

A água quente produzida é depois introduzida nos diferentes espaços, por intermédio de uma rede de condutas de água e é bombado por 3 bombas centrífugas acopladas aos sistemas de preparação de AQS e AQP.

É de referir que o sistema de caldeiras apenas é acionado quando a temperatura do termóstato, que efetua a regulação da temperatura da água do tanque de natação, desce abaixo dos 26,7 °C, ou seja, quando os sistemas de painéis termodinâmicos não são suficientes para efetuar o aquecimento da água, o sistema auxiliar das caldeiras é acionado, mantendo assim a temperatura do tanque de natação a uma temperatura igual ou superior a 26,7 °C.

Devido a limitações do software de simulação dinâmica, não é possível determinar de uma forma rigorosa as necessidades de aquecimento das AQP, pois o HAP restringe a cerca de 6000 litros de armazenamento de água quente num reservatório, demonstrando-se insuficiente face ao volume de água que o tanque de natação apresenta.

Para tal, foi necessário efetuar o cálculo da energia útil necessária para a preparação de AQP durante um ano.

De acordo com o que se encontra estipulado no Despacho N° 15793-I/2013 (3 de dezembro de 2013), relativo à determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, a energia para a preparação de AQP é calculada com base na equação (2.3):

$$Q_a = \frac{(M_{AQP} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000} \quad [kWh/ano] \quad (2.3)$$

Em que:

M_{AQP} – Valor dos litros de água totais para a preparação de AQP, [litros]

ΔT – Aumento da temperatura necessário para a preparação das AQP, [°C]

n_d – Número anual de dias de consumo de AQP do edifício, [dias]

Assim sendo, através da vistoria que foi realizada ao local, o tanque de natação apresenta as dimensões de 12,5 x 25 metros de área e uma profundidade média de 1,5 metros, perfazendo um volume de água de 468,75 m³, o que equivale a 468 750 litros de água.

Para determinar o aumento da temperatura necessário para a preparação de AQP, foi necessário efetuar medições e registar a temperatura da água nos períodos em que a piscina coberta não se encontra em funcionamento, ou seja, nos dias não úteis, pois nestes dias, o sistema de AQS e AQP encontram-se desligados. A temperatura média registrada foi de 21,5 °C e, sabendo que a água do tanque de natação terá de permanecer acima dos 26,7 °C, o aumento de temperatura necessário para a preparação das AQP, ΔT , é de 5,2 °C.

Como referido anteriormente, aquando da vistoria efetuada ao local, os sistemas de preparação de AQS e AQP funcionam 24 horas diárias, apenas nos dias úteis, o que perfaz um número anual de dias de consumo, n_d , de 240 dias.

Desta forma, a energia útil necessária para a preparação de AQP durante um ano, Q_a , é de 680 388 kWh/ano.

Na Tabela 2.16, apresenta os dados relativos à determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento da água da piscina.

Tabela 2.16 – Necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento da água da piscina

Necessidades nominais de energia útil para o aquecimento da água da piscina		
$V_{piscina}$	[m ³]	468,75
M_{AQP}	[litros]	468 750
ΔT	[°C]	5,2
N_d	[dias]	240
Q_a	[kWh/ano]	680 388

Relativamente à preparação de águas quentes sanitárias, AQS, o software já dispõe de formas para determinar a energia útil necessária durante um ano pelo que apenas é necessário definir as variáveis em causa, nomeadamente, o consumo diário de litros de água quente por pessoa; o perfil de funcionamento do sistema de aquecimento; as características do sistema de distribuição; e o aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS.

Assim sendo, para determinar o consumo diário de litros de água quente por pessoa, foi feita uma estimativa baseada nos testemunhos dados pelos utentes, que consistiu em apurar o caudal mínimo dos equipamentos que funcionam a água quente e o tempo médio de utilização por parte dos utentes. Em termos médios, cada utente demorava 10 minutos a tomar duche e 5 minutos a utilizar os lavatórios. Sabendo que o caudal instantâneo mínimo de água de um lavatório é de 0,05 L/s e de um chuveiro individual é de 0,15 L/s, o consumo diário de água quente por pessoa é de 105 L/pessoa/dia. Já o aumento de temperatura necessário para a preparação de AQS, ΔT , toma o valor de referência de 35 °C (EPAL -Grupo Águas de Portugal, 2011).

Na Tabela 2.17 estão os dados referentes à determinação do consumo diário de água quente por pessoa.

Tabela 2.17 – Consumo diário de água quente por pessoa

Consumo diário de água quente por pessoa		
Caudal instantâneo mínimo – Chuveiro individual	[l/s]	0,15
Caudal instantâneo mínimo – Lavatório coletivo	[l/s]	0,05
ΔT de utilização – Chuveiro individual	[min]	10
ΔT de utilização – Lavatório individual	[min]	5
Consumo diário	[l/pessoa.dia]	105

2.10.1 Sistema de caldeiras

No espaço referente às instalações técnicas, estão dispostas duas caldeiras, presentes na Figura 2.22, que servem de apoio ao sistema de painéis termodinâmicos e que garantem o fornecimento de água quente às instalações sanitárias, balneários e tanque de natação.



Figura 2.22 – Caldeiras

De acordo com as informações recolhidas durante a vistoria ao edifício, as duas caldeiras apresentam as especificações descritas na Tabela 2.18.

Tabela 2.18 – Caracterização da caldeira

Caldeira Blowtherm Pack-P AR 345	
Quantidade [uni.]	2
Potência nominal [kW]	349
Pressão de cálculo [bar]	6
Temperatura de cálculo [°C]	100
Fonte de alimentação	Gasóleo de aquecimento

2.10.2 Sistema de painéis termodinâmicos

O presente edifício dispõe de um sistema de painéis termodinâmicos que foi instalado no início do ano de 2016. Este sistema serve as necessidades de aquecimento das águas sanitárias e da piscina.

Na Figura 2.23, pode observar-se a implantação dos painéis termodinâmicos térmicos na cobertura sobre a nave principal da piscina coberta.



Figura 2.23 – Painéis termodinâmicos

Devido à inexistência de dados e documentação técnica disponibilizada pela empresa que efetuou a instalação dos painéis termodinâmicos, para a determinação da contribuição da energia térmica produzida por esta fonte renovável foi necessário utilizar a metodologia descrita no Despacho Nº 15793-E/2013 (3 de dezembro de 2013).

Deste modo, foram utilizadas as expressões de cálculo (2.4) e (2.5), da seguinte forma:

$$E_{ren} = E_{solar_{ref}} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad [kWh] \quad (2.4)$$

Sendo:

$$E_{solar_{ref}} = 0,44 \cdot A_c \cdot G_h \quad [kWh] \quad (2.5)$$

Em que:

$E_{solar_{ref}}$ - Valor de referência da contribuição anual de sistemas de coletores solares para a produção de AQS, [kWh];

f_1 - Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo;

f_2 - Fator de redução relativo ao sombreamento;

f_3 - Fator de redução relativo à idade do equipamento;

A_c - Área total de captação dos coletores, [m²];

G_h - Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal, em função da zona, [kWh/m²].

Assim sendo, e por forma a determinar todos os parâmetros das expressões (2.4) e (2.5), houve necessidade de se analisar as características dos painéis termodinâmicos térmicos, através de uma vistoria ao local.

Como já referido anteriormente, no subcapítulo 2.2, a piscina coberta da AM encontra-se localizada na zona da Grande Lisboa, e, consultando a Tabela 07 do Despacho N° 15793-E/2013 (3 de dezembro de 2013), a radiação solar global recebida numa superfície horizontal, G_h , é de 1725 kWh/m².

Através de medições efetuadas no local, o painel solar térmico apresenta dimensões de 2,0x0,80 metros, o que perfaz uma área de coletor de 1,60 m² e visto que foram contabilizados 80 painéis termodinâmicos térmicos sobre a cobertura da nave principal, a área total de coletores é de 128 m².

Relativamente ao posicionamento ótimo que traduz uma penalização resultante de irregularidades na inclinação e orientação do sistema, resultando numa deficiente captação da radiação solar, os painéis apresentam uma inclinação e um azimute compreendidos entre 0° e 15°, o que resulta num fator, f_1 , de 0,92.

Já ao fator relativo ao sombreamento, f_2 , que traduz uma penalização correspondente às situações em que a superfície útil de captação do coletor se encontra sombreada é de 1,00, uma vez que a altura angular provocada pela obstrução das platibandas da piscina é inferior a 30° e a orientação da instalação dos coletores está compreendida entre 31° e 60°.

Por fim, o fator, f_3 , que corresponde ao tempo de vida dos sistemas de coletores solares é 1,00 pois estes apresentam uma idade compreendida entre 0 e 9 anos.

Na Tabela 2.19 estão presentes todos os parâmetros anteriormente referidos, bem como o resultado da $E_{solar_{ref}}$ e da E_{ren} .

Tabela 2.19 – Parâmetros e contribuições dos coletores solares térmico

Parâmetros			Energia renovável	
A_c	[m ²]	128	$E_{solar_{ref}}$ [kWh]	97152
G_h	[kWh/m ²]	1725		
f_1		0,92	E_{ren} [kWh/ano]	89279
f_2		1,00		
f_3		1,00		

Como se pode constatar na Tabela 3.15, o valor correspondente à contribuição dos sistemas solares térmicos, E_{ren} , é de 89 279 kWh/ano.

Este valor apesar de ser conservativo devido à metodologia aplicada, representa uma estimativa dos ganhos de energia provenientes deste sistema de energia renovável.

2.10.3 Sistema de bombagem

Por forma a garantir a recirculação da água aos espaços necessários para o correto funcionamento do edifício, existe um grupo de bombagem composto por 3 bombas centrífugas.

Na Figura 2.24, podemos observar as bombas centrífugas presentes nas instalações técnicas da piscina coberta.



Figura 2.24 – Sistema de bombagem

As especificações técnicas de cada uma delas encontram-se descritas na Tabela 2.20.

Tabela 2.20 – Caracterização do sistema de bombagem

Designação		Bomba centrífuga
Quantidade	[uni.]	3
Potência nominal	[kW]	5,5
Temperatura de cálculo máxima	[°C]	50
Rendimento	[η]	83
Rpm		1500
Fonte de alimentação		Eletricidade

2.11 Determinação do caudal de ventilação

A renovação do ar interior no imóvel processa-se com base em ventilação natural, uma vez que os sistemas mecânicos existentes muito raramente são acionados.

Com base neste pressuposto, foi necessário proceder à contabilização do caudal de ventilação do edifício.

Para tal, foi efetuada uma análise experimental, de modo a determinar o caudal de ventilação nas aberturas existentes, nomeadamente, nas grelhas de ventilação presentes nas claraboias, nas portas, e nas acopladas aos ventiladores de exaustão, visto que não estão em funcionamento.

O equipamento utilizado para determinar a velocidade do vento que passa pelas aberturas analisadas está representado na Figura 2.25 e trata-se de um anemómetro de fio quente⁶.



Figura 2.25 – Anemómetro de fio quente da marca Airflow™

O anemómetro de fio quente utilizado está equipado com uma haste telescópica com uma sonda na sua ponta de diâmetro máximo de 8 mm, sendo adequado para a medição deste género de aberturas, por se localizarem em zonas de difícil acesso.

O procedimento para a determinação da velocidade do ar que passa num instante de tempo é relativamente simples, mas exige um correto manuseamento do equipamento, nomeadamente, no que respeita à posição da sonda, que deve estar devidamente alinhada com a direção do fluxo de ar.

Um outro aspeto importante para a determinação do caudal de ventilação que passa numa área é o número de leituras que deve ser feito ao longo da mesma, isto é, deve-se efetuar leituras espaçadas de alguns centímetros por forma a que toda a área da abertura seja analisada com algum rigor.

De forma a exemplificar o que foi descrito anteriormente, serve de modelo o que está exposto no procedimento que foi realizado para a medição do caudal de infiltrações de uma grelha de ventilação existente na claraboia sobre as instalações técnicas.

O procedimento efetuado contempla quatro etapas, sendo que a primeira delas consiste na identificação da abertura que será analisada, Figura 2.26.

⁶ O Anemómetro de fio quente utilizado na presente análise experimental é da marca Airflow™, cujo modelo é o TA-5 Thermal Anemometer. É um anemómetro que é utilizado para efetuar medições da temperatura e da velocidade do ar, apresentando precisões na ordem de $\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 2\%$, respetivamente (Airflow Developments Limited, 2016).

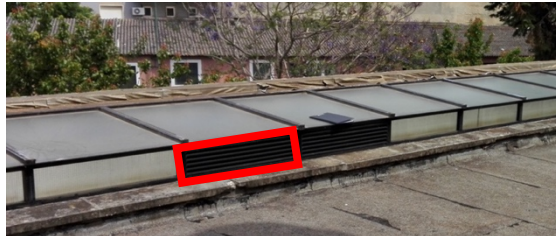


Figura 2.26 – Identificação da abertura

Como se pode observar na Figura 2.26, identifica-se a vermelho uma das aberturas existentes na claraboia que se encontra na parte superior das instalações técnicas.

De seguida, é necessário determinar as dimensões da grelha, por forma avaliar qual a área efetiva livre, responsável pela passagem de ar.

Na Figura 2.27 pode observar-se as dimensões da grelha de ventilação que apresenta uma área efetiva livre, A_{eff} , de $0,182 \text{ m}^2$.

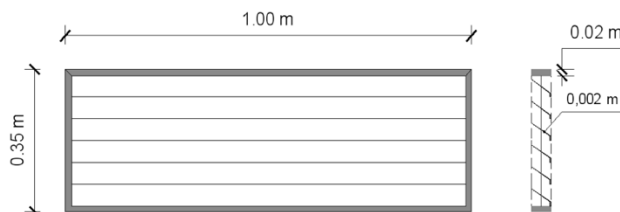


Figura 2.27 – Grelha de ventilação

Após a determinação da área efetiva livre da grelha de ventilação, a etapa seguinte é efetuar as medições de fluxo de ar que a atravessa. Para tal, deve-se efetuar o maior número de leituras ao longo da área da grelha com o intuito de obter uma estimativa mais rigorosa.

Na Figura 2.28 está apresentado um esquema com 12 leituras de velocidade distribuídas ao longo da área da grelha, resultando uma velocidade média do ar, v_{ar} , de $0,134 \text{ m/s}$.

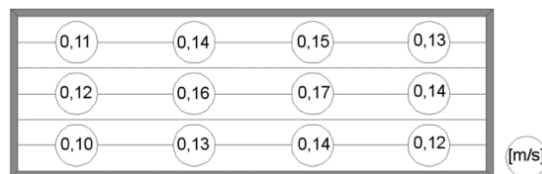


Figura 2.28 – Esquema de leituras

A etapa final consiste na determinação do caudal de ventilação nas grelhas de ventilação que se obtém por intermédio da multiplicação da velocidade média do ar pela área efetiva livre da grelha.

Logo, como a velocidade média do ar da grelha de ventilação é de $0,134 \text{ m/s}$ e tem uma área efetiva livre de $0,182 \text{ m}^2$, resulta um caudal de infiltrações de $0,024 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este procedimento foi efetuado para todas as grelhas de ventilação e aberturas existentes na envolvente do edifício, tendo sido estimado o valor do caudal de infiltrações por cada compartimento da piscina coberta da Academia Militar, descrito na Tabela 2.21.

Tabela 2.21 – Caudal de infiltrações de cada compartimento

Designação	A_{eff} [m ²]	v_{ar} [m/s]	Caudal de infiltração [m ³ /s]	Volume compartimento [m ³]	Rph [h ⁻¹]
1 – Entrada e hall interior	1,546	0,089	0,138	242,73	2,05
2 – I.S. Público e I.S. Pessoal	0,365	0,101	0,037	73,80	1,79
3 – Balneário Feminino	2,006	0,127	0,255	152,10	6,04
4 – Balneário Masculino	4,560	0,120	0,545	384,90	5,10
5 – Gabinete dos Instrutores	-	-	-	41,40	-
6 – Gabinete de Controle	-	-	-	40,50	-
7 – Nave principal	1,368	0,144	0,196	5 695,62	0,12
8 – Arrumos da piscina	0,547	0,125	0,068	98,10	2,51
9 – Instalações técnicas	1,596	0,137	0,219	1019,82	0,77
10 – Arrecadação	1,200	0,054	0,065	407,32	0,58
Total	13,188	-	1,524	8 156,29	-

Como se pode constatar na Tabela 2.21, praticamente todos os espaços da piscina apresentam aberturas para exterior, à exceção do gabinete dos instrutores e do gabinete de controle que não têm nenhuma abertura.

O balneário masculino, como é de esperar, é o compartimento que apresenta um maior caudal de infiltração, de cerca 0,545 m³/s, uma vez que a quantidade de grelhas de ventilação é comparativamente maior do que nos outros espaços.

Já as instalações sanitárias do público e do pessoal, apresentam um caudal de infiltrações menor, de 0,037 m³/s, resultante da sua menor área efetiva livre de aberturas.

A piscina coberta, nesta análise experimental, apresenta um caudal total de infiltrações de 1,524 m³/s.

Os valores dos caudais determinados nesta análise experimental são posteriormente introduzidos no software de simulação dinâmica HAP, apenas para efetuar uma estimativa da influência do caudal de ventilação nos consumos energéticos anuais, visto que a adoção de um caudal de ventilação num espaço tem influência nos fenómenos de transferência de energia.

É ainda de referir que a presente análise experimental se trata apenas de uma estimativa, visto que a ventilação por ser natural é variável ao longo do tempo e depende de vários fatores, nomeadamente das condições climáticas como a variação da temperatura do ambiente interior e exterior e a velocidade e direção do vento.

2.12 Determinação dos consumos de energia elétrica

Os consumos energéticos da piscina coberta da AM foram determinados através de medições efetuadas no local, com o auxílio de equipamentos que medem e registam o consumo da eletricidade ao longo do tempo.

A análise do consumo de energia elétrica torna-se imprescindível para avaliar qual o gasto energético anual associado ao edifício, por forma a analisar as possíveis medidas de eficiência energética a serem estudadas, reduzindo ao máximo esse mesmo valor.

Numa situação ideal, e se fosse possível aplicar ao presente caso, efetuava-se a análise das faturas de consumo de eletricidade de 3 anos consecutivos, de modo a determinar a média anual de eletricidade consumida. No entanto, o facto do edifício não possuir um contador de energia elétrica, inviabiliza a análise das faturas energéticas. A piscina coberta insere-se no complexo da Academia Militar, existindo apenas contadores de consumos atribuídos a todo o complexo.

Um outro aspeto que importa referir é que para a validação/calibração do modelo de simulação dinâmica é necessário que os consumos de eletricidade obtidos na simulação sejam próximos dos consumos determinados experimentalmente.

Posto isso, no presente trabalho, recorre-se a dois equipamentos de medição designados de analisadores de rede que medem e registam o consumo de eletricidade ao longo do tempo. A utilização de dois analisadores de rede, prende-se com o facto de no quadro geral não existir espaço suficiente para a colocação dos dois equipamentos de medição, devido ao espaço reduzido entre os componentes elétricos o que impossibilitou a colocação de forma segura dos equipamentos disponíveis. Para tal, colocou-se um analisador de rede que mediu os consumos de eletricidade de todos os dispositivos de iluminação e consumos associados aos espaços da entrada, balneários, gabinetes e nave principal da piscina, Figura 2.29a⁷, e um outro que era responsável pela medição dos consumos dos equipamentos presentes nas instalações técnicas, Figura 2.29b⁸.



a.



b.

Figura 2.29 – Quadro elétrico geral (a) e quadro elétrico das instalações técnicas (b)

A análise do consumo de eletricidade foi efetuada em dois períodos distintos, sendo que na estação de aquecimento foi efetuada a medição de consumos com a duração de uma semana e na estação de arrefecimento foi adotado o mesmo procedimento.

A Figura 2.30 apresenta um gráfico com os consumos de energia elétrica da piscina coberta da AM, no período de medição de 18 a 25 de janeiro de 2016.

⁷ O Analisador de rede representado na Figura 2.29a apresenta as seguintes características: marca OLW®; modelo OLW+USB; opera no intervalo de temperaturas dos -25°C aos +65°C e humidades relativas dos 0% aos 95%; sensor apropriado para cabos elétricos até 71A (OWL, 2016).

⁸ O Analisador de rede representado na Figura 2.29b apresenta as seguintes características: marca ONSET®; modelo HOBO® 4-channel analog logger; precisão de $\pm 0,1$ mV; opera no intervalo de temperaturas -20°C aos +70°C e com uma humidade relativa entre 0% aos 95% (ONSET, 2016).

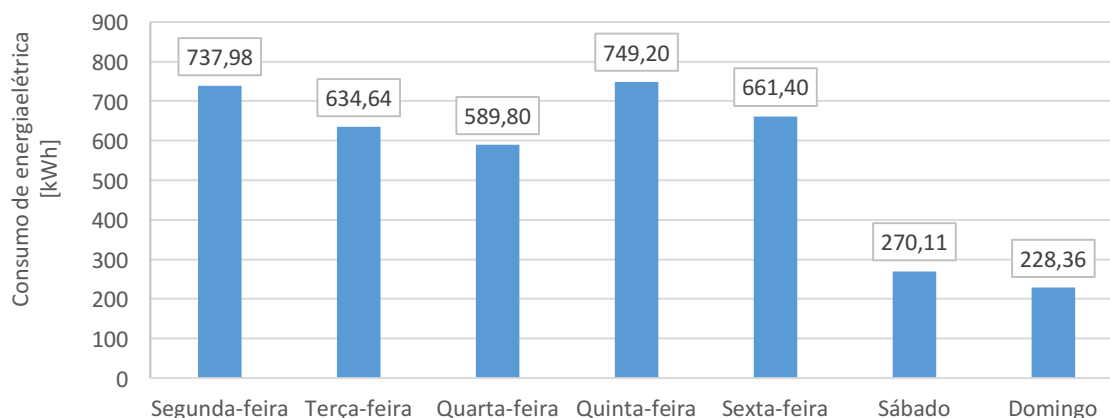


Figura 2.30 – Medições dos consumos de energia elétrica na piscina coberta da AM no período de 18 a 25 de janeiro de 2016.

Através da análise da Figura 2.30, pode constatar-se que os consumos de energia elétrica na semana de medição de 18 a 25 de janeiro de 2016 são mais elevados nos dias úteis, de segunda-feira a sexta-feira e, mais reduzidos nos dias não úteis, no sábado e domingo. Esta redução de consumos deve-se essencialmente ao facto de a piscina estar encerrada ao público no fim de semana, não existindo, portanto, consumos associados à iluminação interior e às bombas que estão ligadas às caldeiras.

Na Figura 2.31 apresenta um gráfico com os consumos de energia elétrica da piscina coberta da AM, no período de medição de 04 a 11 de julho de 2016.

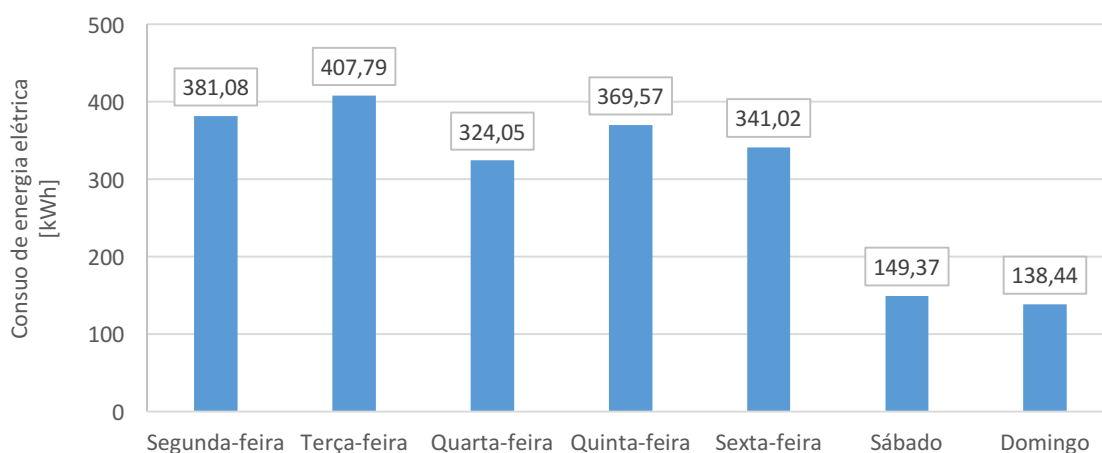


Figura 2.31 – Medições dos consumos de energia elétrica na piscina coberta da Academia Militar no período de 04 a 11 de julho de 2016.

De acordo com a Figura 2.31, pode observar-se que os consumos de energia elétrica para o período de medição de 04 a 11 de julho de 2016 são consideravelmente menores que os consumos de energia obtidos no período de 18 a 25 de janeiro do mesmo ano, com uma redução de cerca de metade. Esta evidência está associada à redução do período de funcionamento da iluminação interior e à redução dos consumos das bombas acopladas às caldeiras, visto que os painéis termodinâmicos têm

maior energia de captação solar, resultando de uma menor necessidade de funcionamento por parte das caldeiras para o aquecimento das águas.

Para a análise dos consumos de energia elétrica anuais, procedeu-se à extrapolação dos resultados das semanas de medição para o ano de 2016, o que consistiu na determinação dos consumos de energia elétrica na estação de aquecimento através da extrapolação dos resultados obtidos na semana de 04 a 11 de junho de 2016 para os meses entre outubro a maio, sendo que os restantes meses de junho a setembro correspondem à extrapolação efetuada para a estação de arrefecimento, considerando os consumos da semana de 18 a 25 de janeiro de 2016.

Na Tabela 2.22 estão apresentados os valores da energia elétrica consumida ao longo das semanas de medição e da extrapolação efetuada para o ano.

Tabela 2.22 – Consumos de energia elétrica obtidos experimentalmente

Estimativa do consumo de energia elétrica anual		
Consumo total na semana de 18 a 25 de janeiro de 2016	[kWh]	3871,49
Consumo total na semana de 04 a 11 de julho de 2016	[kWh]	2111,33
Consumo total estação de aquecimento	[kWh]	133 843,04
Consumo total estação de arrefecimento	[kWh]	37 099,10
Consumo anual	[kWh]	170 942,15

Como se pode constatar na Tabela 2.22, o consumo de energia elétrica na estação de aquecimento é maior do que na estação de arrefecimento, que resulta num maior consumo de energia associados aos sistemas de iluminação, bombagem e equipamentos.

Através da extrapolação dos resultados de energia elétrica das semanas de medição para a ano, obteve-se um consumo de 170 942 kWh/ano. É de referir que este resultado será comparado com o resultado obtido na simulação dinâmica para posterior calibração do modelo.

3 Simulação energética

3.1 Introdução

No presente capítulo serão analisados os resultados obtidos na simulação dinâmica do HAP para o modelo base efetuado e a comparação dos consumos de energia elétrica provenientes da simulação com os consumos determinados experimentalmente, de modo a verificar o erro associado.

Serão também descritas todas as medidas de melhoria de eficiência energética estudadas para a implementação no edifício da piscina coberta, sendo feita uma análise pormenorizada para cada uma das medidas e consequente avaliação do impacto que apresentam relativamente ao estado atual do imóvel.

As medidas de eficiência energética visam otimizar os consumos energéticos anuais, aumentar o conforto térmico e promover a salubridade dos espaços.

3.2 Software de Simulação Energética: Hourly Analysis Program (HAP)

A análise termodinâmica de edifícios com o recurso a softwares de simulação tornou-se uma prática corrente, visto que a evolução destas ferramentas de cálculo automático permite efetuar inúmeras operações e simular os mais variados sistemas que compõem uma zona térmica, com uma rapidez que não se verifica no cálculo analítico. Além disso, a maior parte dos softwares de simulação apresentam uma interface gráfica agradável e muito intuitiva para o utilizador, contendo a informação bem organizada e apresentam informações acerca dos procedimentos a serem tomados em cada etapa de modelação.

O software HAP (*Hourly Analysis Program*) é uma ferramenta de simulação dinâmica desenvolvida pela empresa Norte Americana Carrier, sendo acreditado pela norma ASHRAE Standard 140-2007, que apresenta diversas potencialidades, nomeadamente a conceção e análise dos consumos de energia de um sistema (Carrier - United Technologies, 2016).

Esta ferramenta de cálculo é utilizada para determinar e simular todos os ganhos e perdas de energia que um edifício apresenta, daí ter sido utilizada para a modelação da piscina coberta da AM. Os ganhos e perdas de energia supracitados advêm das transferências de calor que ocorrem entre o ambiente exterior e o ambiente interior do edifício.

Através da correta introdução dos dados na interface do software, a simulação dinâmica torna-se válida e aproximada da realidade (Carrier - Software Systems Network, 2003).

O HAP executa diversas tarefas durante a análise termodinâmica, permitindo compilar a informação respeitante aos resultados obtidos em relatórios sucintos e com uma interface gráfica apresentável e organizada com todos os dados que foram introduzidos pelo utilizador e com os inúmeros resultados obtidos (Carrier - Software Systems Network, 2003).

No Anexo A encontra-se descrito em pormenor todo o procedimento de simulação que deve ser executado por forma a efetuar a modelação da piscina coberta da AM, que assenta em cinco etapas: criação de um projeto; definição da biblioteca de projeto; definição das zonas térmicas; definição dos sistemas e simulação e geração de relatórios.

3.3 Resultados do modelo de simulação

Na simulação do modelo foram utilizados todos os elementos relativos à caracterização do edifício, nomeadamente, as condições climáticas do local de implementação da piscina; as soluções construtivas preconizadas nas fachadas e na cobertura; as condições de utilização e ocupação das zonas térmicas; bem como os sistemas de iluminação e equipamentos que efetuam aquecimento e a circulação da água. Deste modo, com o modelo estruturado e definido, procedeu-se à simulação dinâmica no software HAP e analisou-se os resultados. No presente estudo, foram utilizados os resultados das simulações energéticas anuais que contemplam as necessidades globais de aquecimento e arrefecimento, bem como outros consumos energéticos associados aos sistemas de bombagem; iluminação; e equipamentos presentes no gabinete de controle.

A Figura 3.1 apresenta as necessidades energéticas anuais da piscina coberta da Academia Militar.

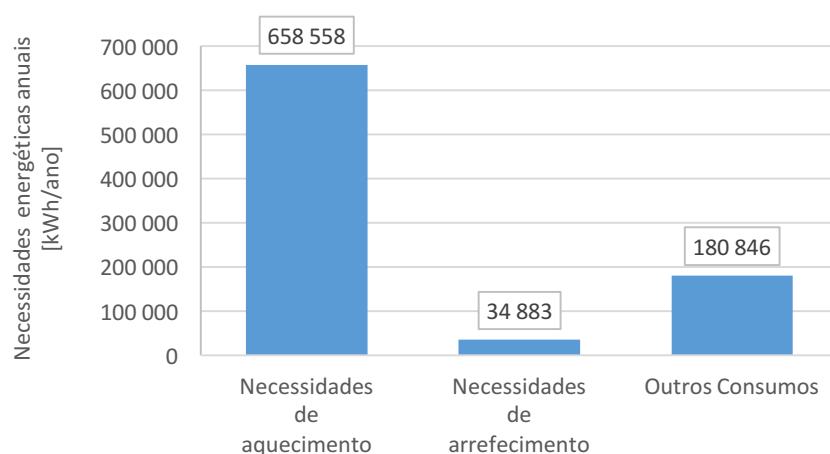


Figura 3.1 – Necessidades energéticas anuais

De acordo com os dados presentes na Figura 3.1, pode constatar-se que as necessidades de aquecimento representam uma grande parcela nas necessidades energéticas anuais, cerca de 75,33% das necessidades do edifício, perfazendo um total de 658 558 kWh/ano.

O elevado consumo energético associado ao aquecimento é notório e deve-se essencialmente às necessidades de aquecimento das APQ que dependem de 680 388 kWh/ano, como referido no subcapítulo 2.10 e, apesar do edifício dispor de um sistema de painéis termodinâmicos, estes apenas contribuem em 89 380 kWh/ano, enquanto que as remanescentes necessidades se devem ao aquecimento das AQS, trocas de calor provenientes das soluções construtivas utilizadas na envolvente, nomeadamente das trocas de energia das paredes exteriores, coberturas, vãos envidraçados, portas, entre outros.

Relativamente às necessidades de arrefecimento, representam uma parcela mais reduzida face às necessidades globais, cerca de 3,99%, perfazendo 34 883 kWh/ano. Estas necessidades de arrefecimento são exclusivamente referentes às trocas térmicas entre os elementos que fazem parte da envolvente do edifício, bem como das trocas de energia provenientes dos equipamentos, sistemas de iluminação, da ocupação e atividade desenvolvida nas diferentes zonas térmicas que constituem a piscina coberta.

As necessidades referentes aos outros consumos apresentam cerca 180 846 kWh/ano, o que equivale a 20,69% das necessidades energéticas anuais. Esta parcela correspondente aos outros consumos gerados pelos sistemas de bombagem que é constituído pelas três bombas centrífugas de circulação da água e pelas bombas que estão acopladas às caldeiras presentes nas instalações técnicas; ao sistema de iluminação que é constituído pelos dispositivos de iluminação interiores, de emergência e de obstrução aérea; e aos equipamentos dispostos no gabinete de controle.

3.4 Validação do modelo de simulação

A validação do modelo é um procedimento amplamente utilizado quando se efetuam análises energéticas com recurso a softwares de simulação dinâmica multizona, por forma a verificar e/ou calibrar o modelo efetuado.

Para validar um modelo de simulação dinâmica é necessário comparar os valores reais dos consumos de energia elétrica e de combustível num ano com os resultados provenientes da simulação do software, sendo que a variação entre os consumos reais e os da simulação não deve ser superior a 10% em módulo.

Relativamente à medição dos consumos de eletricidade anuais, foi realizado uma análise experimental com recurso a equipamentos que medem e registam a energia elétrica consumida num período de tempo, como referido no subcapítulo 2.12.

A Tabela 3.1 apresenta o erro associado entre os consumos de energia elétrica obtidos experimentalmente e os obtidos na simulação do modelo.

Tabela 3.1 – Validação do modelo de simulação: energia elétrica

Validação do modelo		
Consumos de eletricidade – Real	[kWh/ano]	170 942
Consumos de eletricidade – Simulação	[kWh/ano]	180 846
Erro [%]		-5,79

Como se pode observar na Tabela 3.1, o erro associado entre os consumos de energia elétrica obtidos experimentalmente e os que resultaram da simulação dinâmica encontram-se no intervalo admissível, visto que apresentam um erro de -5,79%.

No presente estudo, não foi efetuada a análise experimental para a determinação do consumo de gásóleo de aquecimento das caldeiras, uma vez que segundo as informações apuradas junto de entidades pertencentes à estrutura organizacional da Academia Militar, os depósitos de combustível de gásóleo de aquecimento são repostos todos os meses com 6000 litros de gásóleo. Desta forma, foi realizada uma estimativa do consumo de litros de gásóleo de aquecimento necessários para satisfazer as necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais da piscina coberta, bem como o erro associado ao consumo real.

A Tabela 3.2 apresenta o erro associado entre os consumos de gásóleo de aquecimento estimados para satisfazer as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício e os consumos reais.

Tabela 3.2 – Validação do modelo de simulação: gásóleo de aquecimento

Validação do modelo		
Consumos de gásóleo de aquecimento – Real	[litros/ano]	72 000
Consumos de gásóleo de aquecimento – Simulação	[kWh/ano]	662 081
Poder calorífico do gásóleo de aquecimento, PCI	[kWh/litro]	10,15
Eficiência de conversão	[%]	90
Consumos de gásóleo de aquecimento – Simulação	[litros/ano]	75 910
	Erro [%]	-5,43

Como se pode observar na Tabela 3.2, o erro associado entre os consumos de gásóleo de aquecimento obtidos anualmente e os que resultaram da simulação dinâmica encontram-se no intervalo admissível, visto que apresentam um erro de -5,43%.

É de referir que as medições de energia elétrica efetuadas ao edifício da piscina coberta abrangeram um período temporal muito reduzido face ao período anual considerado na simulação dinâmica, e a determinação dos consumos de gásóleo de aquecimento não foi rigorosa, visto que se baseou em informações recolhidas junto de entidades pertencentes à estrutura organizacional da Academia Militar e não da análise experimental, sendo que o valor dos erros associados apenas são ilustrativos e apresentam uma estimativa, cujo objetivo é verificar se o modelo dinâmico está calibrado.

3.5 Análise das medidas de eficiência energética

As medidas de eficiência energética que se podem implementar nos edifícios variam conforme o custo/benefício resultante das reduções das necessidades anuais de energia e do valor global de implementação da medida. Podem passar pela reabilitação do sistema em causa ou da substituição total ou parcial dos equipamentos e sistemas elétricos, bem como pela mudança de mentalidades e alteração comportamental praticadas num espaço, como a redução dos consumos devido à ineficiente gestão dos recursos.

Desta forma, as medidas de eficiência analisadas estão agrupadas em três categorias consoante a sua especificidade, nomeadamente, em medidas aplicadas à envolvente do edifício, que englobam a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, coberturas, substituição dos vãos envidraçados e adição de películas solares; medidas aplicadas aos sistemas internos, que reúnem a substituição do sistema de iluminação pela tecnologia LED; e, por último, medidas comportamentais que se caracterizam por reduzir e controlar os períodos de funcionamento do sistema de bombagem da piscina.

3.5.1 Medidas de eficiência energética aplicadas à envolvente

3.5.1.1 Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores

As paredes exteriores são elementos construtivos que fazem parte da envolvente opaca vertical do edifício e, como tal, a sua área exposição ao ambiente exterior é significativa, conduzindo a grandes trocas térmicas entre o exterior e o interior.

A solução atual, descrita no subcapítulo 2.5.1.1, apresenta alguns inconvenientes a nível térmico, pois é constituído por um conjunto de camadas de material, sem isolamento térmico e sem existência de caixa de ar, apresentando um coeficiente de transmissão térmica, U , de $1,344 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

De acordo com a portaria nº 379-A/2015 (22 de outubro de 2015), que inclui um anexo referente aos requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, é definida a qualidade térmica da envolvente de um edifício, obrigando a que todas as intervenções efetuadas a partir de 31 de dezembro de 2015 passem a estar sujeitos a requisitos energéticos máximos e mínimos, nomeadamente, a intervenções nos elementos da envolvente opaca e envidraçada. Como a piscina coberta se encontra na zona climática I1 de Portugal continental, o valor máximo admissível do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores, $U_{\text{máx}}$, é de $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Comparando os valores entre o coeficiente de transmissão térmica da parede exterior e o valor regulamentar, pode constatar-se que a parede exterior atual ultrapassa esse valor, e, desta forma procedeu-se ao estudo de eficiência energética.

A estratégia de intervenção analisada consiste na aplicação de isolamento térmico pelo exterior da parede, e a sua escolha resultou das suas inúmeras vantagens associadas, de entre as quais, à facilidade e rapidez da aplicação, bem como aos reduzidos custos de implementação face a outro tipo de intervenção.

O sistema de isolamento térmico exterior, também designado por sistema ETICS (*External Insulation Composite Systems*), é caracterizado pela colocação de placas de um material compósito no exterior das fachadas dos edifícios. No presente estudo, foi utilizado placas de poliestireno expandido, EPS.

Na Figura 3.2, pode observar-se o esquema da solução construtiva referente à aplicação de ETICS na parede exterior da piscina coberta.

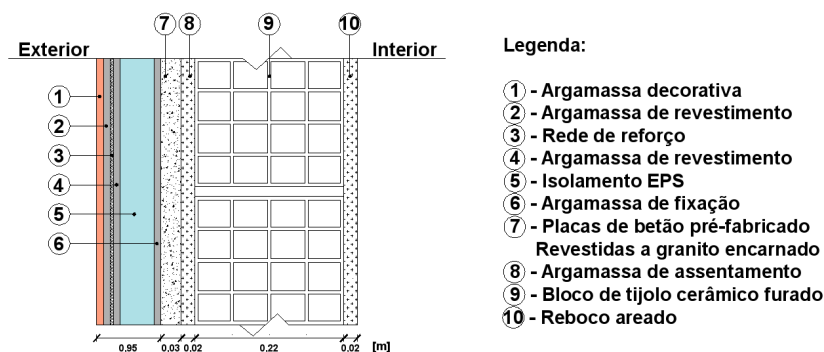


Figura 3.2 – Pormenor da parede exterior, com a aplicação do isolamento térmico exterior

Como se pode visualizar na Figura 3.2, o sistema de isolamento térmico pelo exterior adiciona mais 6 camadas de materiais construtivos à parede exterior existente, perfazendo um total de 10 camadas de materiais de construção que separam o ambiente interior do exterior.

As camadas e propriedades físicas dos materiais de construção que constituem a parede exterior com a implementação do sistema ETICS, encontram-se descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Caracterização da parede exterior com a aplicação de isolamento térmico pelo exterior

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Exterior	-	-	-	0,0400	
1 - Argamassa decorativa	0,003	1700	0,330	0,0091	
2 - Argamassa de revestimento	0,005	1000	0,330	0,0152	
3 - Rede de reforço fibra de vidro	0,002	12	0,004	0,5000	
4 - Argamassa de revestimento	0,005	1000	0,330	0,0152	
5 - Isolamento EPS	e	20	0,036	r	u
6 - Argamassa de fixação	0,003	1000	0,450	0,0067	
7 - Placa de betão pré-fabricada	0,030	1750	1,300	0,0231	
8 - Argamassa de assentamento	0,020	1800	1,300	0,0154	
9 - Tijolo cerâmico furado	0,220	1000	0,770	0,5200	
10 - Reboco areado	0,020	1800	1,300	0,0154	
Interior	-	-	-	0,1300	

As placas de isolamento EPS aplicadas nas paredes exteriores apresentam normalmente espessuras compreendidas entre 40 mm e 100 mm, e, deste modo, para perceber qual o impacto que a espessura têm na variação do consumo energético anual do edifício, foram analisadas quatro espessuras de isolamento EPS a aplicar na parede exterior.

Na Tabela 3.4 está apresentado os coeficientes de transmissão térmica associados à aplicação de isolamento de diferentes espessuras na parede exterior.

Tabela 3.4 – Coeficientes de transmissão térmica das diferentes paredes exteriores

Designação	Espessura do isolamento [m]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Parede exterior – EPS 40 mm	0,04	2,010	0,498
Parede exterior – EPS 60 mm	0,06	2,507	0,399
Parede exterior – EPS 80 mm	0,08	3,062	0,327
Parede exterior – EPS 100 mm	0,10	3,618	0,276

É possível constatar que o coeficiente de transmissão térmica, U, da parede exterior sofre reduções à medida que a espessura aumenta, apresentando valores inferiores ao coeficiente de transmissão térmica máximo admissível, $U_{m\acute{a}x}$, de 0,50 W/m².°C, cumprindo, deste modo os valores regulamentares.

Por forma a determinar a variação dos consumos energéticos anuais do edifício, efetuou-se as respetivas simulações dinâmicas no HAP, alterando-se apenas as características das novas paredes exteriores.

Na Tabela 3.5 estão apresentados os consumos energéticos anuais associados a cada simulação efetuada.

Tabela 3.5 – Resultados das simulações – aumento da espessura do isolamento térmico EPS das paredes exteriores

Designação	Simulação Base	Simulação EPS 40	Simulação EPS 60	Simulação EPS 80	Simulação EPS 100
Necessidades aquecimento [kWh/ano]	658 558	654 305	653 971	653 742	653 597
Necessidades arrefecimento [kWh/ano]	34 883	34 492	34 449	34 419	34 398
Outros consumos [kWh/ano]	180 846	178 999	178 764	178 599	178 494
Consumos globais [kWh/ano]	874 287	867 796	867 184	866 761	866 490

Analisando os resultados obtidos das simulações efetuadas, presentes na Tabela 3.5, pode contactar-se que, em termos globais, a adoção de espessuras de isolamento na parede exterior reduz significativamente os consumos energéticos anuais.

Deste modo, verificam-se reduções ao nível das necessidades de aquecimento, arrefecimento e dos outros consumos quando se aumenta a espessura do isolamento a aplicar. Esta evidência deve-se à maior eficiência nas trocas de energia entre o ambiente interior e exterior, visto que a implementação deste género de medidas afeta positivamente o desempenho térmico do edifício.

Para uma espessura de 40 mm de isolamento térmico EPS, as necessidades de aquecimento sofrem uma redução de 4 253 kWh/ano face à simulação base, perfazendo 654 305 kWh/ano, a par que, as necessidades de arrefecimento apenas são reduzidas em 391 kWh/ano. Já os outros consumos associados aos sistemas de bombagem, iluminação e equipamentos apresentam uma redução de 1 847 kWh/ano, devendo-se à diminuição do funcionamento da bomba de se encontra acoplada às caldeiras, pois os sistemas de iluminação e os equipamentos localizados no gabinete de controle não apresentam uma relação entre a aplicação de isolamentos nas paredes e o consumo totalizado.

À medida que aumentamos a espessura de isolamento até aos 100 mm, as reduções das necessidades aumentam. Neste caso, as necessidades de aquecimento somam um valor de 653 597 kWh/ano, o que reduz em 4 960 kWh/ano face aos resultados da simulação base. As necessidades de arrefecimento sofrem uma redução de 485 kWh/ano, perfazendo 34 398 kWh/ano e, os outros consumos diminuem as suas necessidades energéticas anuais em cerca de 2 352 kWh/ano.

A Figura 3.3 apresenta a variação percentual dos consumos energéticos anuais após a implementação do isolamento exterior, para cada uma das espessuras de isolamento EPS adotado.

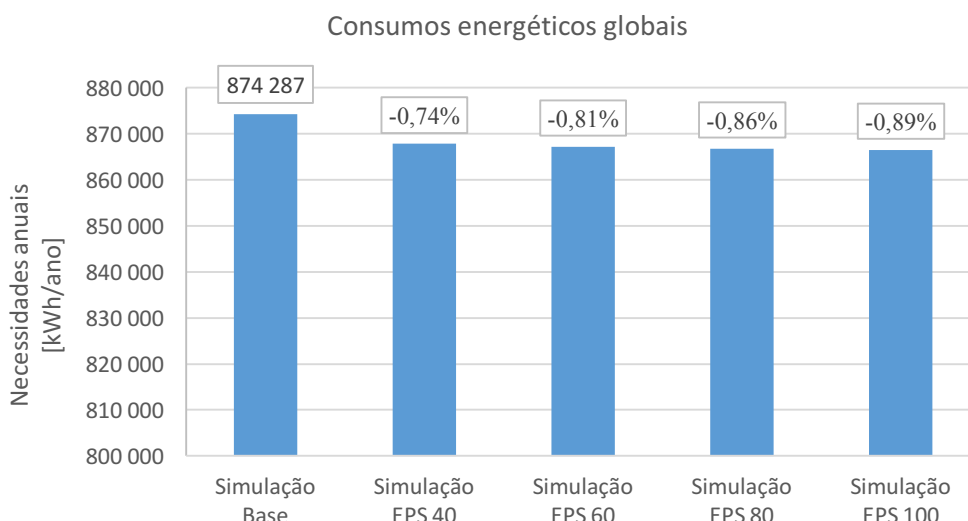


Figura 3.3 – Variação dos consumos energéticos anuais das simulações: aumento da espessura do isolamento térmico EPS das paredes exteriores

Através da análise da Figura 3.3 pode-se constatar que as reduções nos consumos energéticos anuais são reduzidas, mas se deve descartar esta medida e deve-se efetuar uma análise custo/benefício de cada solução de modo a verificar se é viável a sua implementação. Uma ilação que se pode obter através da análise dos resultados é a proporcionalidade que existe entre o aumento da espessura do isolamento térmico EPS e a redução dos consumos energéticos anuais, que se expressam de uma forma aproximadamente linear, isto é, que à medida que a espessura de isolamento aumenta, os consumos anuais reduzem.

Analisando a variação percentual dos resultados das simulações dinâmicas, constata-se que a adoção de isolamento térmico EPS com espessura de 40 mm, reduz as necessidades energéticas globais em 0,74% face os valores da simulação base e, à medida que se aumenta a espessura do isolamento térmico, as reduções serão mais acentuadas, chegando a 0,89% quando a espessura do isolamento térmico EPS ascende os 100 mm.

3.5.1.2 Aplicação de isolamento térmico na laje da cobertura

A cobertura faz parte da envolvente horizontal de um edifício, e visto que está permanentemente em contacto com o exterior, a sua exposição aos fatores ambientais é elevada, levando a trocas térmicas entre o interior e o exterior. Deste modo, deve-se garantir que a zona opaca da cobertura apresenta um comportamento térmico adequado às necessidades do edifício.

A cobertura da piscina coberta da AM subdivide-se em dois tipos de soluções construtivas, uma que se encontra sobre a nave principal da piscina e outra que encontra sobre as restantes zonas, estando descritas no subcapítulo 2.5.3.

Através da comparação entre os requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmica da cobertura presentes na Portaria N° 379-A/2015 (22 de outubro de 2015), e os que atualmente existem, verificamos que estes não são cumpridos. A presente portaria fixa um valor máximo admissível para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos opacos horizontais, $U_{máx}$, de $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sendo

que os coeficientes de transmissão térmica da cobertura da piscina coberta são consideravelmente superiores ao admissível, de 0,603 W/m².°C e 2,308 W/m².°C , relativamente à cobertura sobre a nave principal e às restantes zonas, respetivamente.

Desta forma, a cobertura foi alvo de estudo e análise para implementação de medidas de eficiência energética, nomeadamente, para aplicação de isolamento térmico.

O tipo de isolamento térmico adotado nesta estratégia de reabilitação foi o poliestireno expandido extrudado, também designado por XPS, que se caracteriza por ser um material compósito muito resistente à absorção de água e a choques mecânicos que apresenta um elevado desempenho térmico.

Na Figura 3.4 está esquematizada a solução construtiva da cobertura sobre a nave principal, já com a aplicação da camada de isolamento térmico.

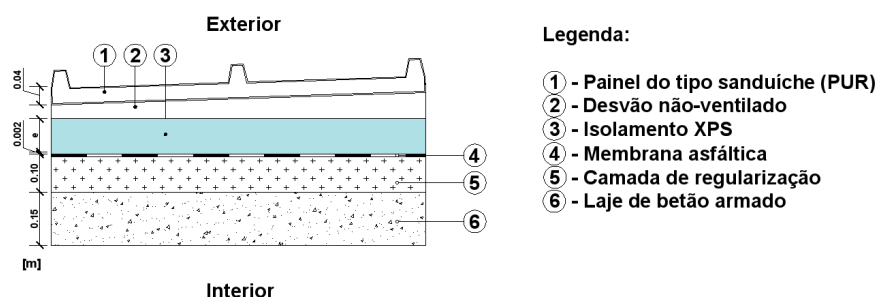


Figura 3.4 – Pormenor da cobertura sobre a nave principal, com a aplicação do isolamento térmico

Como pode observar-se na Figura 3.4, o isolamento térmico XPS foi introduzido entre a estrutura resistente da laje da cobertura e o painel do tipo sanduíche de espuma rígida de poliuretano (PUR) que existia. É de referir que, apesar de esta cobertura já conter um isolamento térmico, este revela-se insuficiente, pois o coeficiente de transmissão térmica global da cobertura ultrapassa o valor máximo admissível.

Na Tabela 3.6 está especificado as características físicas de cada material pertencente à solução construtiva da cobertura sobre a nave principal.

Tabela 3.6 – Caracterização da cobertura sobre a nave principal com a aplicação de isolamento térmico.

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Exterior	-	-	-	0,100	
1 - Painel do tipo sandwich PUR	0,040	35	0,037	1,081	
2 - Desvão não-ventilado	0,300	-	-	0,160	
3 - Isolamento XPS	e	25	0,037	r	
4 - Membrana asfáltica	0,002	1000	0,230	0,009	u
5 - Camada de regularização	0,100	1200	0,700	0,143	
6 - Laje de betão armado	0,150	2300	2,300	0,065	
Interior	-	-	-	0,040	

O procedimento a adotar para a análise desta medida de eficiência energética é em todo semelhante à aplicada no subcapítulo 2.4.1.1, pois trata-se de reabilitar a envolvente do edifício com a

introdução de isolamento térmico. Assim sendo, foram analisadas quatro espessuras de isolamento XPS com o intuito de avaliar o impacto da espessura na variação dos consumos energéticos anuais.

Na Tabela 3.7 estão caracterizados os coeficientes de transmissão térmica globais da solução construtiva da cobertura para cada espessura de isolamento térmico XPS.

Tabela 3.7 – Coeficientes de transmissão térmica das coberturas sobre a nave principal

Designação	Espessura do isolamento [m]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Cobertura da nave principal – XPS 40 mm	0,04	2,739	0,365
Cobertura da nave principal – XPS 60 mm	0,06	3,279	0,305
Cobertura da nave principal – XPS 80 mm	0,08	3,820	0,262
Cobertura da nave principal – XPS 100 mm	0,10	4,361	0,229

Para a cobertura sobre as restantes zonas, a intervenção estudada teve em atenção o facto de ser uma cobertura plana não acessível e, por esse motivo, a forma mais rápida e eficiente é a colocação de isolamento térmico pelo exterior, como esquematizado na Figura 3.5.

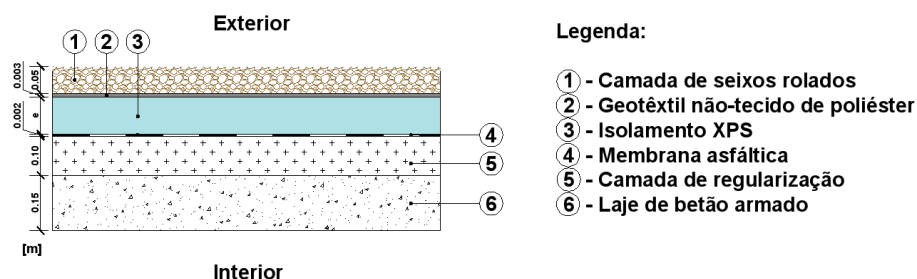


Figura 3.5 – Pormenor da cobertura sobre as restantes zonas, com a aplicação do isolamento térmico exterior

Como se pode constatar na Figura 3.5, foram adicionadas mais três camadas de materiais: o isolamento térmico XPS; uma camada de seixos rolados; e uma camada de geotêxtil de poliéster que faz a separação desses dois materiais de construção.

Na Tabela 3.8 estão descritos os materiais pertencentes, bem como as suas características físicas da cobertura sobre os restantes espaços.

Tabela 3.8 – Caracterização da cobertura sobre as restantes zonas com a aplicação de isolamento térmico.

Designação	Espessura [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Exterior	-	-	-	0,100	
1 - Camada de seixos rolados	0,050	1700	2,0	0,025	
2 - Camada separadora geotêxtil	0,003	200	0,06	0,050	
3 - Isolamento XPS	e	25	0,037	r	
4 - Membrana asfáltica	0,002	1000	0,23	0,009	u
5 - Camada de regularização	0,100	1200	0,7	0,143	
6 - Laje de betão armado	0,150	2300	2,3	0,065	
Interior	-	-	-	0,040	

A espessura do isolamento a adotar neste tipo de intervenções depende sempre do que é necessário para atingir uma otimização do ponto de vista energético e económico, e, como tal, foram analisadas diferentes espessuras para o isolamento XPS a aplicar nesta cobertura.

Na Tabela 3.9 estão apresentados os coeficientes de transmissão térmica globais da cobertura para as espessuras de isolamento térmico XPS de 40, 60, 80 e 100 mm.

Tabela 3.9 – Coeficientes de transmissão térmica das diferentes coberturas sobre os restantes espaços

Designação	Espessura do isolamento [m]	R [m ² .°C/W]	U [W/m ² .°C]
Cobertura das restantes zonas – XPS 40 mm	0,04	1,573	0,636
Cobertura das restantes zonas – XPS 60 mm	0,06	2,113	0,473
Cobertura das restantes zonas – XPS 80 mm	0,08	2,654	0,377
Cobertura das restantes zonas – XPS 100 mm	0,10	3,194	0,313

Posteriormente à caracterização das soluções construtivas da cobertura sobre a nave principal e dos restantes espaços, procedeu-se à simulação dinâmica no software HAP, na qual foram introduzidas cada espessura de isolamento térmico XPS em separado.

Os resultados dos consumos energéticos anuais de cada solução encontram-se evidenciados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Resultados das simulações – aumento da espessura do isolamento térmico XPS da cobertura

Designação	Simulação Base	Simulação XPS 40	Simulação XPS 60	Simulação XPS 80	Simulação XPS 100
Necessidades aquecimento [kWh/ano]	658 558	654 091	653 682	653 444	653 275
Necessidades arrefecimento [kWh/ano]	34 883	28 840	28 023	27 490	27 109
Outros consumos [kWh/ano]	180 846	177 363	176 884	176 592	176 350
Consumos globais [kWh/ano]	874 287	860 293	858 589	857 526	856 734

No presente caso, face aos consumos de energia anuais, visíveis na Tabela 3.10, a aplicação de isolamento térmico XPS na laje de cobertura resulta em reduções significativas nas necessidades de aquecimento, arrefecimento e dos outros consumos.

É possível constatar que à medida que a espessura de isolamento térmico aumenta, dos 40 mm até aos 100 mm, as necessidades energéticas globais diminuem. Esta evidência deve-se ao aumento do desempenho térmico das soluções construtivas utilizadas na cobertura, visto que a implementação de isolamento XPS na cobertura permite que a troca de energia entre o interior e o exterior seja mais eficaz, levando a menos perdas.

Assim sendo, a adoção de placas de poliestireno expandido extrudido, XPS, com 40 mm de espessura, reduz os resultados das necessidades de aquecimento anuais em 4 467 kWh/ano,

totalizando cerca de 654 091 kWh/ano, em vez dos 658 558 kWh/ano obtidos na simulação dinâmica base. Relativamente aos consumos associados às necessidades de arrefecimento, estes sofrem uma redução em 6 063 kWh/ano, perfazendo 28 840 kWh/ano.

As reduções nas necessidades de aquecimento e arrefecimento devem-se essencialmente ao acréscimo do conforto térmico proporcionado pelo isolamento da envolvente horizontal, resultando em menores consumos de recursos energéticos, nomeadamente de energia elétrica e gasóleo de aquecimento.

Já a parcela associada aos outros consumos, exprime uma diminuição em 3 484 kWh/ano perante o cenário da simulação dinâmica base e deve-se ao menor consumo de energia elétrica das bombas que se encontram acopladas às caldeiras, dado que o esforço de trabalho necessário para aquecer a água será menor, devido à redução de perdas de calor pela cobertura.

Para as soluções construtivas com a adoção de espessuras de 60, 80 e 100mm o modo de análise é semelhante, excetuando as reduções das necessidades energéticas anuais que revelam ser superiores.

É de referir que a espessura mais elevada, pode não ser a mais viável, uma vez que é preciso analisar também os custos de investimento associados a cada solução e o tempo de retorno. Estas evidências serão analisadas no capítulo 4.

A Figura 3.6 apresenta a variação percentual dos consumos energéticos anuais após a implementação do isolamento exterior, para cada uma das espessuras de isolamento XPS adotado.

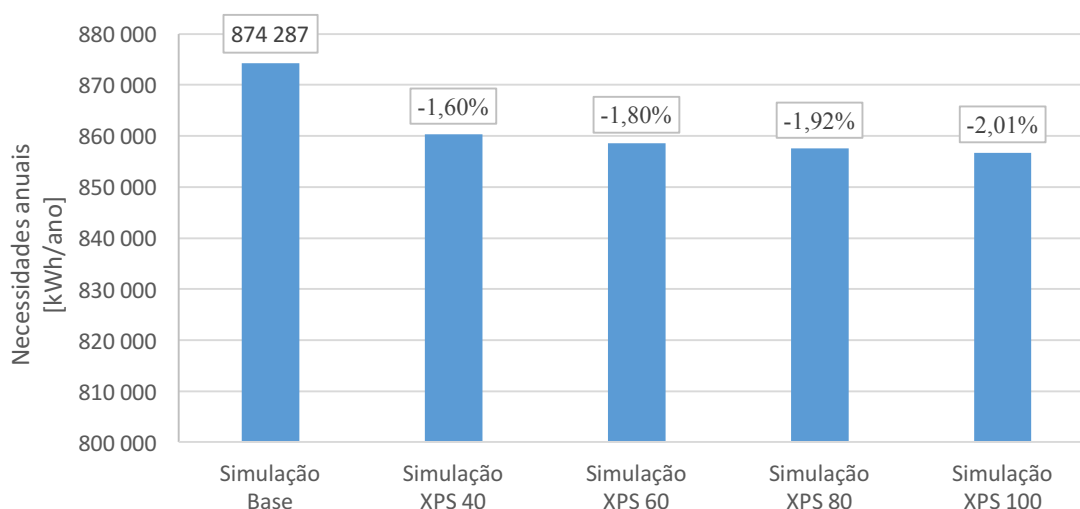


Figura 3.6 – Variação dos consumos energéticos anuais das simulações: aumento da espessura do isolamento térmico XPS da cobertura

Através da análise da Figura 3.6 pode constatar-se que as reduções nos consumos energéticos anuais são superiores devido à adoção de isolamento térmico nas paredes exteriores, referidas no subcapítulo 3.4.1.1. Apesar das variações serem reduzidas, esta medida de eficiência energética deve ser ponderada após uma análise do custo/benefício, cujo objetivo passa por aliar o conforto térmico ao custo de investimento e o período de retorno que advém de cada solução.

Assim sendo, com a aplicação de isolamento térmico XPS de espessura 40, 60, 80 e 100 mm, obtemos reduções de 1,60%, 1,80%, 1,92% e 2,01% nas necessidades anuais, respetivamente.

3.5.1.3 Substituição dos vãos envidraçados e adição de películas solares

Os vãos envidraçados fazem parte da envolvente não opaca do edifício e, como tal, apresentam uma grande influência nas trocas térmicas entre o ambiente interior e exterior, sendo responsáveis pela passagem de radiação solar para o interior das frações.

Desta forma, promovem ganhos térmicos benéficos na estação de aquecimento e ganhos térmicos não favoráveis na estação de arrefecimento, dependendo da orientação dos vãos envidraçados, da presença de dispositivos de sombreamento e das características intrínsecas ao próprio vão, nomeadamente do seu coeficiente de transmissão térmica, U_w .

Atualmente, a Portaria N° 379-A/2015 (22 de outubro de 2015), que define a qualidade térmica da envolvente de um edifício, estabeleceu que todas as intervenções efetuadas a partir de 31 de dezembro de 2015, devem respeitar certos requisitos energéticos, de entre os quais, o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, apresentando para a zona climática de inverno I1 de Portugal continental um valor máximo, $U_{m\acute{a}x}$, de $2,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Assim sendo, os vãos envidraçados da piscina coberta foram alvo de estudo, apresentando alguma deterioração nas caixilharias e nos vedantes dos vidros, o que resulta do incumprimento das exigências de desempenho energético atuais.

Os vãos envidraçados presentes nas fachadas do edifício, referidos no subcapítulo 2.5.4, têm valores globais do coeficiente de transmissão térmica, U_w , de 3,9 e 4,3 $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ caso sejam de sistema fixo ou em bandeira, respetivamente. Se analisarmos também os vãos envidraçados presentes nas claraboias, o coeficiente de transmissão térmica, U_{wh} , aumenta substancialmente para os 6,04 $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Desta forma, verifica-se que os vãos envidraçados que estão dispostos na envolvente da piscina coberta não cumprem os requisitos máximos admissíveis estabelecidos na Portaria N° 379-A/2015 (22 de outubro de 2015).

A implementação de medidas eficientes e adequadas ao edifício devem ser analisadas rigorosamente, de modo a reduzir significativamente os consumos energéticos globais, sendo fulcral estudar e analisar a substituição total dos vãos envidraçados, colocação de películas solares ou outro tipo de dispositivos de sombreamento e/ou proteção solar.

No presente estudo foram analisadas três soluções de eficiência energética referentes aos vãos envidraçados, que estão evidenciadas na Figura 3.7.

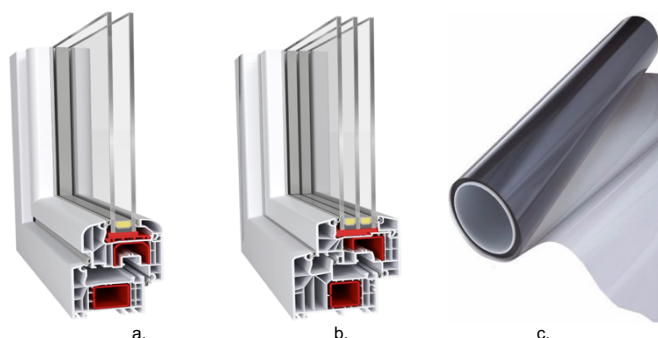


Figura 3.7 – Soluções de eficiência energética de vãos envidraçados (a: janela de vidro duplo com caixilharia em PVC, b: janela de vidro triplo com caixilharia em PVC, c: película refletora solar)

As medidas de eficiência energética presentes na Figura 3.7 caracterizam-se por melhorar significativamente o conforto térmico e apresentam um grande desempenho energético.

A substituição das atuais caixilharias de alumínio, que se encontram degradadas, por caixilharias de PVC garantem um acréscimo substancial no isolamento térmico, uma vez que o coeficiente de transmissão térmica da caixilharia, U_f , é relativamente baixo.

Os vãos envidraçados analisados são constituídos por vidros duplos ou triplos, sendo que para o vidro duplo adotou-se dois panos de vidro incolor de 4 mm de espessura com caixa de ar de 16 mm, enquanto que os vidros triplos são constituídos por três panos de vidro de 4 mm de espessura e 12 mm de caixa de ar.

Relativamente à adoção de películas solares, estas demonstram-se bastante atrativas, uma vez que a sua aplicação é rápida e o seu custo é bastante reduzido comparativamente com a substituição dos vãos envidraçados, apresentando um fator solar, $g_{\perp,vi}$, de 0,20.

Na tabela 3.11 estão descritas as características relativas aos vãos envidraçados a adotar e a respetiva película solar.

Tabela 3.11 – Caracterização dos vãos envidraçados e da película solar a adotar

Designação	Tipo de caixilharia	U_g [W/m ² .°C]	Espessura do vidro e lamina de ar [mm]	U_g [W/m ² .°C]	U_w [W/m ² .°C]	$g_{\perp,vi}$
Janela Vidro duplo	PVC	1,2	4+16+4	2,7	2,25	0,78
Janela Vidro Triplo	PVC	1,2	4+12+4+12+4	1,5	1,41	0,78
Película solar	-	-	-	-	-	0,20

Com a adoção de vãos envidraçados constituídos por caixilharia em PVC e vidros duplos ou triplos, o coeficiente de transmissão térmica global do conjunto, U_w , é relativamente baixo, comparativamente com os que estavam presentes nas fachadas da piscina coberta, sendo de 2,25 W/m².°C para as janelas de vidro duplo e 1,41 W/m².°C para as janelas de vidro triplo.

Desta forma, introduzindo estes valores no software de simulação dinâmica HAP, os resultados referentes a cada simulação refletem variações dos consumos anuais de energia, como podemos visualizar na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Resultados das simulações – adoção de vãos envidraçados de vidro duplo, triplo e película solar

Designação	Simulação Base	Simulação Vidro Duplo	Simulação Vidro Triplo	Simulação Película solar
Necessidades aquecimento [kWh/ano]	658 558	656 075	655 240	669 019
Necessidades arrefecimento [kWh/ano]	34 883	35 349	35 545	30 025
Outros consumos [kWh/ano]	180 846	179 963	179 578	182 960
Consumos globais [kWh/ano]	874 287	871 388	870 363	882 004

Analisando os resultados das simulações dinâmicas presentes na Tabela 3.12, verifica-se que existem reduções e aumentos dos consumos anuais, consoante o tipo de necessidades consideradas.

Em termos gerais, com a adoção de vãos envidraçados mais eficientes, as reduções das necessidades de aquecimento irão evidenciar-se e as necessidades de arrefecimento agravar um pouco mais, apesar de, no global, as necessidades anuais serem benéficas, mesmo sendo reduzidas.

Esta evidência deve-se a que na estação de aquecimento, os ganhos solares provenientes da incidência de radiação solar nos vãos envidraçados, independentemente da sua orientação, são proveitosos para o aquecimento do ambiente interior do edifício, resultando na redução das necessidades de aquecimento de uma fração. Quando reduzimos o fator solar com a adoção de películas solares, os ganhos solares serão menores, aumentando assim, as necessidades de aquecimento.

Já na estação de arrefecimento este fenómeno não é verificado, ou seja, os ganhos solares devem ser reduzidos por forma a reduzir as necessidades de arrefecimento. Quando reduzimos o fator solar com a adoção de películas solares, a penetração das radiações solares para o interior das frações será menor, pois estão restringidas pelas propriedades dos materiais do vão envidraçado, resultando de menores necessidades de arrefecimento.

Desta forma, com a substituição dos vãos envidraçados atuais por vãos de caixilharia PVC de vidro duplo, as necessidades de aquecimento anuais apresentam um valor de 656 075 kWh/ano, em vez dos atuais 658 558 kWh/ano, resultando numa diminuição de 2 482 kWh/ano. Já as necessidades de arrefecimento sofrem um agravamento de 466 kWh/ano, totalizando 35 349 kWh/ano, enquanto que a parcela relativa aos outros consumos apresentam uma diminuição de 883 kWh/ano.

Para os vãos envidraçados com caixilharia de PVC e vidro triplo, as variações nas necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros consumos são consideravelmente menores, dado que é uma janela mais eficiente do ponto de vista térmico. As necessidades de aquecimento e outros consumos têm uma diminuição de 3 318 kWh/ano e 1 268 kWh/ano face à simulação dinâmica base, respetivamente, e as necessidades de arrefecimento sofrem um agravamento de 662 kWh/ano.

As películas solares apesar de serem uma solução muito vantajosa do ponto de vista económico e do conforto térmico que proporciona na estação de arrefecimento, condiciona a entrada de radiação solar para o interior do edifício e, conseqüentemente, reduzem os ganhos térmicos benéficos na estação de aquecimento, demonstrando-se um inconveniente.

Assim sendo, os resultados presentes na Tabela 3.12, demonstram um grande agravamento nas necessidades de aquecimento anuais e nos outros consumos, apresentando um aumento de 10 461 kWh/ano e 2 114 kWh/ano, respetivamente, enquanto que as necessidades de arrefecimento diminuiram cerca de 4 858 kWh/ano, perfazendo 30 025 kWh/ano, em vez dos 34 883 kWh/ano atuais.

Na Figura 3.8, pode observar-se as variações percentuais dos consumos energéticos anuais relativos a cada simulação dinâmica efetuada.

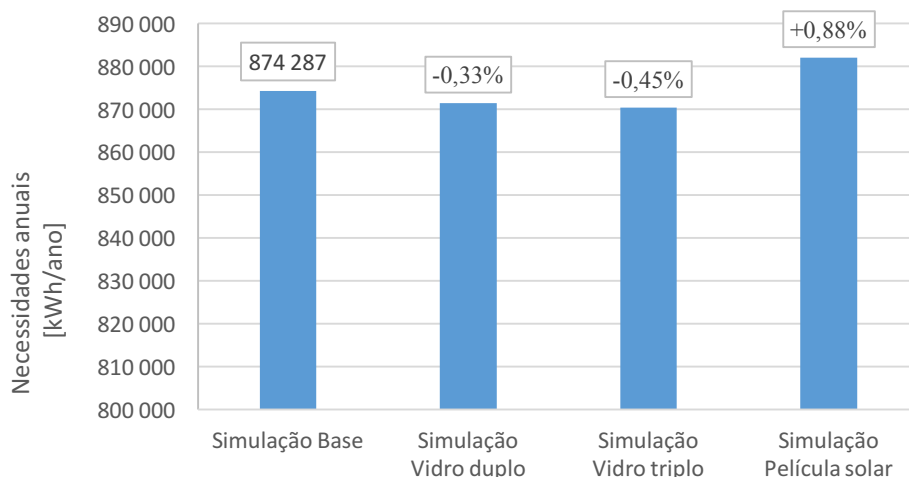


Figura 3.8 – Variação dos consumos energéticos anuais das simulações: adoção de vãos envidraçados de vidro duplo, triplo e película solar

Analisando as variações de consumos associados a cada uma das soluções preconizadas pode verificar-se que a adoção de vãos envidraçados com caixilharia em PVC de vidro duplo e triplo apresentam reduções nos consumos energéticos globais, em 0,33% e 0,45%, respetivamente.

Já a solução de película solar revelou-se um inconveniente aos consumos energéticos globais anuais, visto que estes aumentaram em 0,88%.

3.5.2 Medidas de eficiência energética aplicadas aos sistemas interiores

3.5.2.1 Substituição do sistema de iluminação atual por um sistema LED

A iluminação artificial com recurso a dispositivos emissores de luz é responsável por consumos de energia consideráveis, uma vez que necessitam de energia elétrica para proceder à iluminação de um espaço. Deste modo, é fundamental que o consumo associado aos dispositivos de iluminação seja o menor possível sem comprometer a função a que se destina.

Atualmente com a evolução tecnológica e com a constante preocupação de alcançar a eficiência energética e melhorar o desempenho dos dispositivos de iluminação, surgiram as tecnologias LED, da sigla inglesa para *Light Emitting Diode*, que se caracteriza por um díodo emissor de luz que consome uma menor quantidade de energia elétrica face às luminárias e dispositivos de iluminação que são utilizadas na piscina coberta. Assim sendo, a substituição das luminárias e dispositivos de iluminação presentes no edifício por lâmpadas LED representam uma medida de eficiência energética interessante de ser analisada.

No subcapítulo 2.8, estão descritos os dispositivos de iluminação utilizados atualmente na piscina coberta, sendo maioritariamente constituídos por lâmpadas tubulares fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas incandescentes.

Por comparação da potencia nominal das lâmpadas utilizadas, presentes no subcapítulo 2.8, e da potência nominal das lâmpadas LED, representadas na Tabela 3.13, pode observar-se a grande redução na potência total.

Tabela 3.13 – Caracterização do sistema de iluminação LED

Designação	Potência Nominal [W]	Quantidade [uni.]	Potência Total [W]
Iluminação interior			
Lâmpada tubular LED T8	10	25	250
Lâmpada tubular LED T8	18	36	648
Lâmpada tubular LED T8	22	46	1012
Projektor LED	50	6	300
Projektor LED	30	12	360
	+5% balastro eletrónico		128,5
	Total		2 698,5
Iluminação de emergência			
Kit - sistema luminária emergência LED	3	10	30
	Total		30
Iluminação de obstrução aérea			
Lâmpada LED	6,5	10	65
	Total		65

Analisando a Tabela 3.13, verifica-se que a potência nominal de cada lâmpada LED é reduzida face às luminárias atualmente utilizadas, reduzindo consideravelmente a potência nominal total dos sistemas de iluminação.

No caso da iluminação interior com recurso à tecnologia LED esta totaliza uma potência de 2698,5 W, ao invés dos 8 755,4 W, o que perfaz uma redução de 69,17 %.

O sistema de iluminação de emergência atualmente utilizado é constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares e tem uma potência total de 110 W, enquanto que com a adoção de sistemas LED, esse valor é reduzido para os 30 W, equivalendo a uma redução de 72,73 %.

Já o sistema de iluminação de obstrução aérea, com a adoção de luzes LED, apresenta uma potência de 65 W, em vez dos atuais 550 W, constituindo uma redução em 88,19 %.

Após a caracterização de todos os aspetos acima mencionados, procedeu-se à simulação dinâmica no HAP e analisou-se os resultados obtidos.

Na Figura 3.8, pode observar-se as variações percentuais dos consumos energéticos anuais relativos a cada simulação dinâmica efetuada.

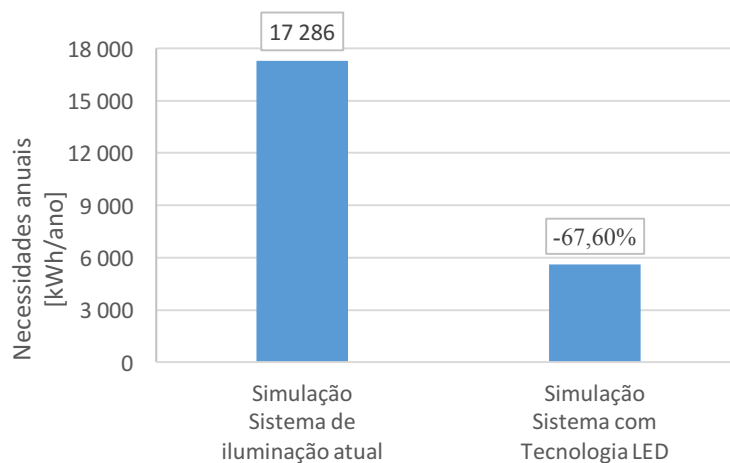


Figura 3.9 – Variação dos consumos energéticos anuais das simulações: alteração do sistema de iluminação atual por sistema de iluminação com tecnologia LED

Os resultados obtidos na simulação dinâmica mostram-se favoráveis relativamente aos consumos anuais que atualmente existem, apresentando uma redução de 67,60% das necessidades globais.

Assim sendo, com a implementação do sistema de iluminação LED, as necessidades energéticas são reduzidas em 11 684 kWh/ano, totalizando um consumo de 5 601 kWh/ano face aos atuais 17 286 kWh/ano.

3.5.3 Medidas de eficiência energética resultantes da alteração comportamental

3.5.3.1 Alteração do período de funcionamento da caldeira

O aquecimento da água quente da piscina coberta é feito por intermédio de caldeiras que funcionam a gás/óleo de aquecimento e por um sistema de painéis termodinâmicos que funcionam em simultâneo com as caldeiras, garantindo assim o aquecimento das águas quentes sanitárias e da piscina, AQS e AQP, respetivamente.

As caldeiras são responsáveis por um grande consumo de energia anual, visto que a quantidade de água necessária para aquecer é considerável e, mesmo tendo o auxílio dos painéis termodinâmicos, estes não conseguem captar a energia suficiente para efetuar o aquecimento da água presente no tanque de nataçãõ e das instalações sanitárias e balneários.

Deste modo, é possível verificar que as caldeiras apresentam uma carga de funcionamento elevada para aquecer a água quente remanescente.

Através de uma vistoria efetuada ao local, averiguou-se que as caldeiras estavam em funcionamento permanente todo o dia, durante todos os dias úteis, ou seja, as caldeiras nunca eram desligadas nas 24h do dia, levando a um consumo energético acentuado e desnecessário.

Assim sendo, e fazendo a análise das possíveis medidas de melhoria a aplicar na piscina, foi efetuada a alteração do período de funcionamento das duas caldeiras presentes no edifício.

A alteração do período de funcionamento das caldeiras consistiu numa redução horária de 12 horas de funcionamento nos dias úteis, ligando-se as caldeiras uma hora antes da abertura da piscina ao público e desligando-se assim que a piscina encerra, ou seja, ativa-se o sistema das caldeiras às 7 horas da manhã e desliga-se assim que a piscina encerra ao público às 19 horas da tarde. Enquanto que nos dias não úteis, desliga-se totalmente o sistema de aquecimento das caldeiras.

Esta alteração comportamental do período de funcionamento da caldeira, não acarreta custos associados, uma vez que o sistema pode ser acionado manualmente sem necessidade de colocação de um dispositivo automático de controlo de horário, garantindo uma economia anual bastante elevada. Para tal foi efetuada uma simulação dinâmica no software HAP, alterando apenas o perfil de funcionamento descrito anteriormente, na qual pode observar-se os resultados obtidos, na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Resultados das simulações – alteração do perfil de funcionamento da caldeira

Designação	Simulação Base	Simulação Alteração do perfil da caldeira
Necessidades aquecimento [kWh/ano]	658 558	427 540
Necessidades arrefecimento [kWh/ano]	34 883	22 161
Outros consumos [kWh/ano]	180 846	170 682
Consumos globais [kWh/ano]	874 287	620 383

Analisando os resultados da Tabela 3.14, verifica-se uma elevada redução dos consumos globais em cerca de 253 904 kWh/ano, face às necessidades anuais da simulação base.

Desta forma, para satisfazer as necessidades de aquecimento, são precisos 427 540 kWh/ano, em vez dos 658 558 kWh/ano, enquanto para fazer suprir as necessidades de arrefecimento são utilizados 22 161 kWh/ano, o que resulta numa diminuição de 12 722 kWh/ano. Já a parcela associada aos outros consumos sofreu uma redução, devido ao encurtamento do horário de funcionamento das caldeiras a gás/óleo de aquecimento, totalizando uma diminuição de 10 164 kWh/ano.

Na Figura 3.10, pode observar-se as variações percentuais dos consumos energéticos anuais relativos à redução do período de funcionamento das caldeiras.

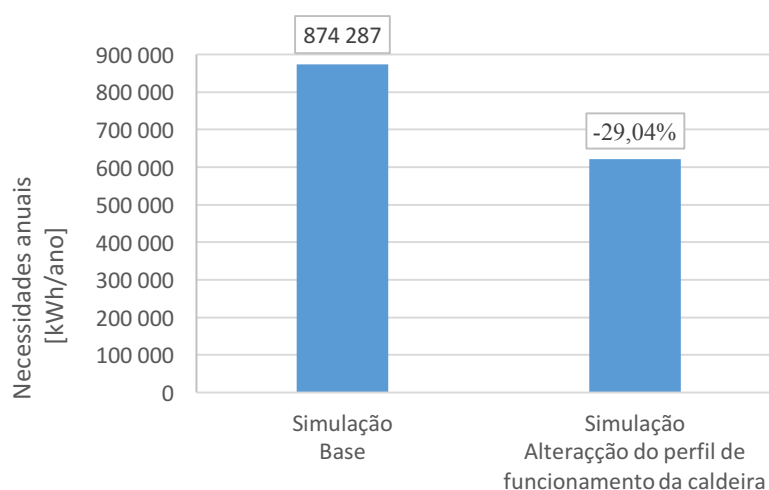


Figura 3.10 – Variação dos consumos energéticos anuais das simulações: alteração do perfil de funcionamento das caldeiras

A alteração do perfil de funcionamento das caldeiras traduz-se numa redução dos consumos globais anuais em 29,04% face aos consumos totalizados atualmente, o que demonstra ser uma medida de eficiência energética bastante atrativa, visto que, a implementação da medida de redução do período horário de funcionamento das caldeiras não acarreta custos associados e visto que a poupança energética é elevada.

[Deixado intencionalmente em branco]

4 Análise da viabilidade económica das medidas de eficiência energética

4.1 Introdução

Em termos gerais, o objetivo da reabilitação de um edifício é em primeira instância melhorar o desempenho energético de maneira a conciliar a adoção de medidas eficientes e adequadas à tipologia do mesmo, melhorando o seu conforto térmico e acústico. Aliado à eficiência das soluções a aplicar existe o custo do investimento, que apresenta uma grande influência no processo de decisão, causando, por vezes, um grande entrave à aplicação de medidas que revelam um enorme desempenho.

Desta forma, deve-se analisar o impacto que cada solução apresenta no somatório dos consumos de energia globais e o custo associado à implementação da medida preconizada. Com estas duas análises efetuadas consegue-se estimar o período de retorno simples de cada solução que traduz o tempo necessário para recuperarmos o investimento realizado.

As medidas de eficiência energética estudadas foram: aplicação de isolamento térmico EPS aplicado no exterior das paredes da envolvente, aplicação de isolamento térmico XPS na cobertura, substituição dos vãos envidraçados, aplicação de película solar, substituição do sistema de iluminação atual por um sistema iluminação com tecnologia LED, e alteração do período de funcionamento das caldeiras.

Com base nas variações dos consumos de energia das soluções estudadas para o edifício da piscina coberta da Academia Militar, será realizado neste presente capítulo a análise económica inerente à implementação de cada uma delas, estimando o período de retorno associado e, por conseguinte, a viabilidade económica de cada medida de implementação.

4.2 Custos da energia

Antes de se proceder à análise económica que cada solução apresenta é necessário determinar os custos unitários inerentes ao consumo de energia elétrica que é fornecida aos diversos equipamentos elétrico-mecânicos e sistemas de iluminação, bem como os custos unitários do gasóleo de aquecimento que é utilizado como fonte de energia das caldeiras para o aquecimento de águas sanitárias, AQS, e da piscina, AQP.

De acordo com informações obtidas junto de entidades pertencentes à estrutura organizacional da Academia Militar, o Exército Português beneficia de descontos no custo unitário da energia elétrica e do gasóleo de aquecimento, apresentando valores ligeiramente inferiores aos que estão atualmente em vigor pelas diferentes companhias de fornecimento de energia e gasóleo de aquecimento.

Assim sendo, e visto que o edifício da piscina coberta se encontra em instalações militares pertencentes ao Exército Português, foram aplicados esses mesmos valores unitários.

Na Tabela 4.1 pode observar-se o custo unitário de um kWh de eletricidade e o custo unitário de um litro de gasóleo de aquecimento, bem como os dados necessários para a conversão do litro de gasóleo em unidades de energia de kWh.

Tabela 4.1 – Custos unitários da eletricidade e do gasóleo de aquecimento

Designação		Valor
Custo unitário eletricidade	[€/kWh]	0,08155
Custo unitário gasóleo de aquecimento	[€/litro]	0,88500
Poder calorífico do gasóleo de aquecimento, PCI	[kWh/litro]	10,15
Eficiência de conversão	[%]	90
Custo unitário gasóleo de aquecimento	[€/kWh]	0,09688

Como se pode constatar na Tabela 5.1, os custos unitários de eletricidade e gasóleo de aquecimento são de 0,08155 €/kWh e 0,09688 €/kWh, respetivamente.

Estes valores serão aplicados à variação do consumo energético das diversas medidas de eficiência estudadas e posteriormente procede-se à determinação das poupanças obtidas.

4.3 Custo de investimento das medidas de eficiência energética

Neste subcapítulo serão analisados os custos inerentes à implementação de cada medida de eficiência energética, supracitadas no capítulo 3.

Para o presente estudo, o custo de investimento corresponde aos gastos associados à aplicação das diversas medidas, sendo que foram considerados apenas os custos dos materiais de construção que são efetivamente empregues na medida considerada, desde placas de isolamentos, argamassas, suportes de fixação, colas adesivas, malhas de fibra de vidro, caixilharias, pinturas, tecido de geotêxtil, seixos rolados, luminárias, entre outros, ou seja, foram considerados os custos materiais, excluindo o custo associado à mão de obra, dado que, o Exército Português dispõem de profissionais das variadas especialidades de engenharia civil, mecânica e eletrónica (CYPE Ingenieros S.A., 2016).

Assim sendo, através de uma prospeção do mercado, foram determinados os custos unitários da aplicação de cada medida e a estimativa do custo de investimento total, estando apresentados nos pontos seguintes.

Na Tabela 4.2, pode observar-se um resumo do custo de investimento de cada solução construtiva correspondente às medidas de eficiência energética em análise.

Tabela 4.2 – Quadro resumo: custos de investimento das medidas de eficiência energética.

Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores					
Designação	Área [m ²]		Custo de implementação [€/m ²]		Custo do investimento [€]
Isolamento EPS 40 mm	1035		26,49		27 417,15
Isolamento EPS 60 mm			30,56		31 629,60
Isolamento EPS 80 mm			33,91		35 096,85
Isolamento EPS 100 mm			43,93		45 467,55
Aplicação de isolamento térmico na laje da cobertura					
Designação	Área [m ²]		Custo de implementação [€/m ²]		Custo do investimento [€]
	Nave Principal	Restantes zonas	Nave Principal	Restantes zonas	
Isolamento XPS 40 mm	802	376	5,28	33,97	17 007,28
Isolamento XPS 60 mm			7,92	36,61	20 117,20
Isolamento XPS 80 mm			10,56	39,25	23 227,12
Isolamento XPS 100 mm			14,50	43,19	27 868,44
Substituição dos vãos envidraçados					
Designação	Área [m ²]		Custo de implementação [€/m ²]		Custo do investimento [€]
Caixilharia de PVC – Vidro duplo	192		88,41		16 974,72
Caixilharia de PVC – Vidro triplo			102,34		19 649,28
Película solar			20,80		3 993,6
Substituição do sistema de iluminação atual por um sistema LED					
Designação	Quantidade [uni.]	Custo de médio por unidade [€/uni.]		Custo do investimento [€]	
Sistema de iluminação LED	145	15,66		2 270,72	

Através da análise da Tabela 4.2, constata-se que o custo de investimento das demais medidas de eficiência energética varia consoante as quantidades de materiais de construção a aplicar aquando da sua implementação.

Para a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores com recurso a placas de poliestireno expandido moldado (EPS), o custo total de investimento varia entre os 27 417,15 € e os 45 467,55 €, consoante a espessura de isolamento térmico a adotar, resultando num custo significativamente elevado, uma vez que a área opaca vertical da envolvente exterior ascende aos 1 035 m².

Relativamente à adoção da solução construtiva de isolamento térmico na cobertura do edifício com recurso a placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), o custo total de investimento varia

entre 17 007,28€ e 27 868,44€, dependendo da espessura de isolamento XPS considerada. Esta medida de implementação apresenta soluções construtivas diferentes, de acordo com a cobertura indicada, dado que para a cobertura sobre a nave principal, apenas são colocadas as placas de isolamento térmico XPS, enquanto que para a cobertura sobre os restantes espaços são colocadas as placas de isolamento térmico XPS; uma camada de seixos rolados; e uma camada de separação entre os materiais de geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, resultando em custos de implementação por metro quadrado distintos.

Já a substituição dos atuais vãos envidraçados de caixilharia de alumínio com vidro duplo por vãos com um desempenho energético elevado constituídos por caixilharias de PVC com vidro duplo ou triplo, demonstram ser um investimento elevado face à área de vão envidraçado considerada, que no presente estudo é de 192 m², totalizando em custos de 16 974,72€ e 19 649, 28€, respetivamente. As películas solares adesivas, como referidas anteriormente no subcapítulo 3.4.1, apresentam inconvenientes na sua implementação, pois aumentam as necessidades energéticas globais, descartando-se essa opção do leque de medidas a aplicar. Apesar desse inconveniente, como se pode observar na Tabela 4.2, o custo de investimento é bastante reduzido, perfazendo 3 993,6€ para revestir a totalidade dos vãos envidraçados.

Por fim, a aplicação de medidas de eficiência energética nos sistemas internos do edifício resulta na substituição total dos sistemas de iluminação e luminárias atuais pela integração de dispositivos e luminárias com tecnologia LED. A medida considerada revela-se uma mais valia visto que o custo de investimento é reduzido de valor 2 270,72 € e as poupanças energéticas são elevadas, como será possível verificar no subcapítulo 4.4.

É de referir que a medida referente à alteração do período de funcionamento das caldeiras que efetuam o aquecimento das AQS e AQP, não apresentam custos de investimento associados, sendo que as poupanças energéticas obtidas são elevadas.

4.4 Poupanças energéticas das medidas de eficiência energética

Neste subcapítulo serão analisadas as poupanças energéticas e financeiras inerentes à implementação de cada medida de eficiência energética, supracitadas no capítulo 3.

Deste modo, através das simulações dinâmicas efetuadas no software HAP, os consumos globais de energia sofreram variações nas necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros consumos associados, representado, em termos gerais, diminuições significativas de energia elétrica e gásóleo de aquecimento consumidos anualmente.

Por forma a perceber qual o impacto que cada medida estudada apresenta no edifício da piscina coberta da Academia Militar, na Tabela 4.3 pode observar-se um quadro resumo da variação das necessidades globais face à simulação base e as poupanças monetárias resultantes.

Tabela 4.3 – Quadro resumo: Poupanças monetárias das medidas de eficiência energética.

Designação	Variação das necessidades globais face à simulação base [kWh/ano]	Poupanças Energia Elétrica [€/ano]	Poupanças Gasóleo Aquecimento [€/ano]	Poupanças Totais [€/ano]
Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores				
Isolamento EPS 40 mm	-6 490	151	450	600
Isolamento EPS 60 mm	-7 103	170	486	656
Isolamento EPS 80 mm	-7 526	183	511	695
Isolamento EPS 100 mm	-7 797	192	528	719
Aplicação de isolamento térmico na laje da cobertura				
Isolamento XPS 40 mm	-13 994	284	1 018	1 302
Isolamento XPS 60 mm	-15 698	323	1 137	1 460
Isolamento XPS 80 mm	-16 761	347	1 212	1 559
Isolamento XPS 100 mm	-17 553	367	1 265	1 632
Substituição dos vãos envidraçados				
Caixilharia de PVC – Vidro duplo	-2 899	72	195	267
Caixilharia de PVC – Vidro triplo	-3 924	103	257	361
Película solar	+7 717	-172	-543	-715
Substituição do sistema de iluminação atual por um sistema LED				
Sistema de iluminação LED	-11 684	953	0	953
Alteração do horário de funcionamento da caldeira				
Caldeiras	-253 904	829	23 613	24 442

Através da análise da Tabela 4.3, constata-se que a variação das necessidades energéticas globais face aos consumos da simulação base, variam consoante a medida de implementação a adotar.

Para a implementação de isolamento térmico nas paredes exteriores com recurso a placas de poliestireno expandido moldado (EPS), as reduções nas necessidades de energia anuais variam de 6 490 kWh/ano a 7 797 kWh/ano, consoante a espessura de isolamento térmico a adotar, resultando em poupanças monetárias anuais entre os 600€ e 719€.

Relativamente à adoção da solução construtiva de isolamento térmico na cobertura do edifício com recurso a placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), as poupanças monetárias em energia elétrica variam entre 284€ e 367€ e em gasóleo de aquecimento estão compreendidas entre 1 302€ e 1 632€, revelando-se uma medida de implantação bastante razoável, visto que as reduções das necessidades anuais oscilam entre 13 994 kWh/ano e 17 553 kWh/ano, consoante a espessura de isolamento térmico XPS a adotar.

Já a substituição dos atuais vãos envidraçados de caixilharia de alumínio com vidro duplo por vãos com um desempenho energético elevado constituídos por caixilharias de PVC com vidro duplo ou

triplo, resultam em poupanças energéticas significativamente reduzidas, uma vez que as reduções das necessidades anuais estão compreendidas entre 2 899 kWh/ano e 3 924 kWh/ano, respetivamente. Desse modo, as poupanças monetárias anuais para a adoção de janela de vidro duplo são de 267€ e para as janelas de vidro triplo de 361€. Como referido anteriormente no subcapítulo 3.4.1, as películas solares adesivas demonstram ser uma medida não favorável no edifício da piscina coberta, pois a sua implementação implica um agravamento de 7 717 kWh/ano nas necessidades energéticas globais, levando a um prejuízo do consumo de energia elétrica de 172€ e do consumo de gásóleo de aquecimento em 543€.

A substituição total dos sistemas de iluminação e luminárias atuais pela integração de dispositivos e luminárias com tecnologia LED revela-se uma medida eficaz do ponto de vista energético, pois o consumo de energia elétrica sofre uma diminuição de 11 684 kWh/ano, que se traduz numa poupança total anual de 953€.

Por fim, a medida referente à alteração do período de funcionamento das caldeiras, que resulta de uma alteração comportamental, sem custos de investimento associados, revela ser a medida de eficiência energética com maior impacto no conjunto das medidas analisadas, levando a reduções das necessidades globais em 253 904 kWh/ano, perfazendo uma economia, sem precedentes, de 24 442€ anuais, dos quais 829€ são atribuídos à poupança associada aos consumos de energia elétrica e 23 613€.

4.5 Período de retorno das medidas de eficiência energética

Após a análise pormenorizada dos custos de investimento e das poupanças energéticas associadas a cada medida de eficiência energética, descritos nos subcapítulos 4.3 e 4.4, respetivamente, torna-se fulcral determinar a viabilidade económica das medidas a aplicar, por forma a avaliar se é vantajoso ou um inconveniente numa ótica de custo/benefício, a sua aplicação.

Deste modo, o Despacho Nº 15793-L/2013 (3 de dezembro de 2013), que define a metodologia de apuramento da viabilidade económica da utilização ou adoção de determinada medida de eficiência energética, prevista no âmbito de um plano de racionalização de energia, determina que as medidas que se encontram condicionadas à viabilidade económica, são de implementação obrigatória quando o respetivo estudo demonstre que não existem evidentes constrangimentos ou limitações técnicas, legais ou administrativas à instalação e que o período de retorno simples (PRS) seja igual ou inferior a 8 anos.

No presente despacho, o PRS determina-se de acordo com a equação (4.1):

$$PRS = \frac{C}{P} \quad [anos] \quad (4.1)$$

Em que:

PRS – Período de retorno simples, [anos];

C – Custo de investimento total, [€];

P – Poupança anual resultante da aplicação da medida em estudo, com base em simulações anuais, detalhadas do funcionamento do edifício e seus sistemas técnicos ou por cálculo anual simples, [€/ano];

É de referir que os custos associados à energia elétrica, gásóleo de aquecimento e dos materiais de construção empregues nas medidas de eficiência energética estudadas, devem ser considerados constantes e iguais no momento do investimento, não sendo considerados nem os custos financeiros, nem os efeitos da inflação.

Assim sendo, foi realizado uma análise do período de retorno simples de cada medida estudada em separado, por forma a avaliar o impacto que cada uma apresenta, Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Quadro resumo: período de retorno simples (PRS) das medidas de eficiência energética.

Designação	Custo de investimento [€]	Poupanças Energéticas [€/ano]	Período de retorno [ano]
Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores			
Isolamento EPS 40 mm	27 417	600	45,7
Isolamento EPS 60 mm	31 630	656	48,2
Isolamento EPS 80 mm	35 097	695	50,5
Isolamento EPS 100 mm	45 468	719	63,2
Aplicação de isolamento térmico na laje da cobertura			
Isolamento XPS 40 mm	17 007	1 302	13,1
Isolamento XPS 60 mm	20 117	1 460	13,8
Isolamento XPS 80 mm	23 227	1 559	14,9
Isolamento XPS 100 mm	27 868	1 632	17,1
Substituição dos vãos envidraçados			
Caixilharia de PVC – Vidro duplo	16 975	267	63,5
Caixilharia de PVC – Vidro triplo	19 649	361	54,5
Película solar	3 994	-715	Não aplicável
Substituição do sistema de iluminação atual por um sistema LED			
Sistema de iluminação LED	2 271	953	2,4
Alteração do horário de funcionamento das caldeiras			
Caldeiras	0	25 104	0

Através da análise da Tabela 4.4, pode observar-se que o PRS de cada medida de reabilitação energética difere bastante, apresentando valores muito díspares consoantes sejam aplicadas medidas de adoção de isolamento térmico nas paredes exteriores; cobertura e substituição de vãos envidraçados ou quando são aplicadas medidas referentes à substituição do sistema de iluminação com tecnologia LED ou à alteração do horário de funcionamento das caldeiras.

Para a implementação de isolamento térmico nas paredes exteriores com recurso a placas de poliestireno expandido moldado (EPS), o PRS apresenta variações entre os 45,7 anos e 63,2 anos, revelando ser uma medida, quando aplicada em separado, inviável numa ótica de custo/benefício.

Relativamente à adoção da solução construtiva de isolamento térmico na cobertura do edifício com recurso a placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), o PRS, consoante a espessura a

adotar, varia entre os 13,1 anos e os 17,1 anos, resultando do não enquadramento estipulado no Despacho Nº 15793-L/2013 (3 de dezembro de 2013), que atribuiu um PRS máximo de 8 anos.

A substituição dos atuais vãos envidraçados de caixilharia de alumínio com vidro duplo por vãos constituídos por caixilharias de PVC com vidro duplo ou triplo, apresentam um PRS de 63,5 anos e 54,5 anos, respetivamente, que resultam dos elevados custos de investimento face às poupanças energéticas obtidas com a implementação das medidas. Já a película solar adesiva, como se pode observar na Tabela 4.4, representa um considerável prejuízo anual de 715€, levando a um PRS negativo, ou seja, a implementação desta medida é prejudicial para o balanço dos consumos anuais do edifício.

As medidas de eficiência energética que são aplicadas aos sistemas internos e as que resultam da alteração comportamental, são aquelas que demonstram ser mais eficazes e economicamente viáveis, visto apresentarem PRS inferiores a 8 anos. Desta forma, o PRS com a substituição total dos sistemas de iluminação e luminárias atuais pela integração de dispositivos e luminárias com tecnologia LED é de 2,4 anos e o PRS referente à alteração do período de funcionamento das caldeiras é de 0,0 anos, devido ao facto de não apresentarem custos de investimento.

4.6 Combinação de medidas de eficiência energética

Neste subcapítulo serão combinadas as diferentes medidas de reabilitação energética de acordo com os resultados obtidos nos anteriores subcapítulos 4.3, 4.4 e 4.5, por forma a cruzar as diversas medidas estudadas com os custos de investimento e com as poupanças económicas resultantes das reduções das necessidades energéticas globais.

As combinações efetuadas consistem em quatro conjuntos de medidas que são constituídas por uma medida de isolamento térmico EPS aplicado às paredes exteriores; uma medida de isolamento térmico XPS aplicado à cobertura; uma medida de vão envidraçado com caixilharia PVC e vidro triplo; uma medida de substituição do sistema de iluminação atual para um sistema de iluminação LED; e uma medida de alteração do horário de funcionamento das caldeiras.

Deste modo, as soluções que se referem à adoção de isolamentos térmicos EPS e XPS, vão ser testadas para as espessuras de 40mm, 60mm, 80mm e 100mm enquanto apenas se considerou a substituição de vãos envidraçados com caixilharia em PVC de vidro triplo, dado apresentarem um melhor desempenho térmico. Relativamente às medidas de substituição do sistema atual de iluminação por tecnologia LED e alteração do horário de funcionamento das caldeiras, estarão implícitas em todos os quatro conjuntos de medidas.

Os quatro conjuntos de medidas de eficiência energética estão descritos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 –Quadro resumo: conjuntos de medidas de eficiência energética

	Designação
MEDIDA 1	Aplicação de isolamento térmico EPS de 40mm nas paredes exteriores
	Aplicação de isolamento térmico XPS de 40mm na laje da cobertura
	Substituição e aplicação de vãos envidraçados de vidro triplo com caixilharia em PVC
	Substituição e aplicação do sistema de iluminação com Tecnologia LED
	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras
MEDIDA 2	Aplicação de isolamento térmico EPS de 60mm nas paredes exteriores
	Aplicação de isolamento térmico XPS de 60mm na laje da cobertura
	Substituição e aplicação de vãos envidraçados de vidro triplo com caixilharia em PVC
	Substituição e aplicação do sistema de iluminação com Tecnologia LED
	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras
MEDIDA 3	Aplicação de isolamento térmico EPS de 80mm nas paredes exteriores
	Aplicação de isolamento térmico XPS de 80mm na laje da cobertura
	Substituição e aplicação de vãos envidraçados de vidro triplo com caixilharia em PVC
	Substituição e aplicação do sistema de iluminação com Tecnologia LED
	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras
MEDIDA 4	Aplicação de isolamento térmico EPS de 100mm nas paredes exteriores
	Aplicação de isolamento térmico XPS de 100mm na laje da cobertura
	Substituição e aplicação de vãos envidraçados de vidro triplo com caixilharia em PVC
	Substituição e aplicação do sistema de iluminação com Tecnologia LED
	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras

Na Tabela 4.6, pode observar-se um resumo dos quatro conjuntos de medidas de eficiência energética e as respetivas informações respeitantes ao custo de investimento, reduções das necessidades energéticas globais respetivas poupanças monetárias, bem como os períodos de retorno.

Tabela 4.6 – Quadro resumos dos custos de investimento das medidas de eficiência energética.

Designação	Variação das necessidades globais face à simulação base [kWh/ano]	Poupanças Energia Elétrica [€/ano]	Poupanças Gasóleo Aquecimento [€/ano]	Poupanças Totais [€/ano]	Custo de investimento [€]	Período de retorno [anos]
MEDIDA 1	-289 996	2 320	25 338	27 658	66 344	2,4
MEDIDA 2	-292 313	2 378	25 493	27 872	73 667	2,6
MEDIDA 3	-293 799	2 415	25 593	28 010	80 244	2,9
MEDIDA 4	-294 862	2 444	25 663	28 107	95 256	3,4

Pode verificar-se através da análise da Tabela 4.6 que todas as quatro medidas apresentam uma viabilidade económica aceitável, uma vez que os seus períodos de retorno simples são inferiores ao máximo regulamentar de 8 anos.

Em termos gerais, os PRS das quatro medidas analisadas são bastante reduzidos, devido ao facto das poupanças económicas provenientes da alteração do horário de funcionamento das caldeiras que totalizarem cerca de 85% a 90% das poupanças totais e não apresentarem nenhum custo de investimento associado. Assim sendo, apenas 10% a 15% das poupanças económicas totais são referentes à aplicação de isolamentos térmicos nas paredes exteriores; coberturas; substituição de vãos envidraçados e substituição do sistema de iluminação.

Caso não fosse possível implementar a alteração no horário de funcionamento das caldeiras, os PRS das quatro medidas analisadas aumentavam exponencialmente para períodos ente 20 anos a 26 anos, o que inviabilizava a sua implementação numa ótica de custo benefício.

A implementação da medida 1, apresenta um PRS de 2,4 anos, resultando num custo de investimento de 66 344€ e em poupanças económicas anuais de 27 658€, que advém da redução das necessidades energéticas globais em 289 996 kWh/ano face aos consumos atuais.

Relativamente à implementação da medida 2, o que difere da medida 1, é o aumento da espessura de isolamento térmico EPS e XPS para os 60mm, que confere um maior desempenho e conforto do ambiente interior da piscina coberta, apesar de as poupanças económicas anuais aumentarem 214€ face à medida anterior, o custo associado ao investimento aumenta cerca de 7 323€, produzindo um aumento do PRS para os 2,6 anos.

Já as medidas 3 e 4, apresentam PRS de 2,9 e 3,4 anos, o que evidencia um aumento do PRS provocado pelo aumento mais acentuado das variações dos custos de investimento comparativamente com o aumento gradual e reduzido das poupanças económicas.

Em suma, a adoção de qualquer uma das quatro medidas presentes na Tabela 4.6 é economicamente viáveis e garante um desempenho energético eficaz e um conforto térmico acrescido face ao estado atual da piscina coberta da Academia Militar, sendo que a escolha da intervenção a efetuar depende única e exclusivamente do consumidor final, dado que apenas o consumidor decide se pretende que a intervenção de reabilitação seja economicamente mais vantajosa ou que apresente um desempenho energético mais eficiente.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Introdução

A presente dissertação de mestrado intitulada de “Reabilitação Energética da Piscina Coberta da Academia Militar de Lisboa” consistiu num estudo direcionado para melhorar as condições de uma infraestrutura desportiva afeta ao edificado pertencente ao Exército Português, nomeadamente a piscina coberta da Academia Militar.

Neste último capítulo serão apresentadas as conclusões que resultaram do trabalho de investigação efetuado, sintetizando todas as ilações obtidas, bem como as propostas de trabalho futuro que visam o aprofundamento de algumas temáticas.

5.2 Resultados principais

A abordagem ao problema inicial que fundamenta o estudo da dissertação de mestrado resulta da necessidade de diminuir os custos associados ao excessivo consumo energético do edifício da piscina coberta da Academia Militar. Neste contexto pretendeu-se analisar o potencial de melhoria do desempenho energético e do comportamento térmico desta instalação desportiva, através da implementação de medidas de reabilitação que visem a eficiência energética.

Deste modo, a dissertação de mestrado foi elaborada de forma sequencial abordando todas as etapas da metodologia de estudo, iniciando-se com um enquadramento teórico; passando à descrição detalhada do caso de estudo; simulação dinâmica e análise das medidas de eficiência energética; análise da viabilidade económica da implementação das medidas de reabilitação; à discussão das propostas finais de reabilitação.

Após a identificação do problema, foram estabelecidas potenciais medidas de reabilitação na piscina coberta com o objetivo final de reduzir os consumos energéticos e melhorar o comportamento térmico e o desempenho energético da piscina coberta da Academia Militar.

Para tal, foram realizadas diversas vistorias ao local por forma a efetuar o levantamento e análise detalhada de todos os aspetos relevantes para a caracterização do edifício, desde a localização do local de implantação; análise da orientação e exposição solar das fachadas do edifício; identificação e caracterização dos materiais e soluções construtivas utilizadas na envolvente exterior opaca (paredes, cobertura, pavimentos e portas) e não opaca (janelas, claraboias e portas de vidro); bem como na identificação e caracterização dos equipamentos e dispositivos interiores que efetuam a iluminação, aquecimento de água sanitária (AQS), aquecimento de água da piscina (AQP), bombagem de água, entre outros.

Posteriormente foi realizada a modelação do edifício da piscina coberta com recurso ao software de simulação HAP (*Hourly Analysis Program*), que é uma ferramenta de cálculo, que permitiu realizar a análise termodinâmica de uma forma relativamente rápida e intuitiva, visto que este software apresenta uma variada gama de recursos cuja informação respeitante aos resultados é apresentada em relatórios descritivos e organizados, sendo que a análise e calibração dos resultados é feita também com a confrontação de medições efetuadas *in situ*.

Os resultados obtidos através da simulação dinâmica do edifício demonstram que as necessidades anuais de energia primária são elevadas, apresentando um total de 874 287 kWh/ano, dos quais cerca de 75% correspondem às necessidades energéticas de aquecimento, 4% às necessidades energéticas de arrefecimento e cerca de 21% relativos às necessidades energéticas associados aos equipamentos de bombagem e dispositivos de iluminação. Estes resultados foram confrontados com os resultados obtidos experimentalmente *in situ*, que serviram como validação e calibração do modelo.

Neste sentido, foram estudadas diferentes estratégias de implementação de medidas de reabilitação que obedeceram ao estrito cumprimento dos requisitos estipulados pelos regulamentos e normas a nível nacional, sendo que para cada medida de reabilitação foi efetuada a respetiva simulação termodinâmica em HAP, tendo sido comparadas com os dados obtidos na simulação base (simulação que corresponde à modelação do edifício antes de qualquer medida de melhoria).

As medidas de eficiência energética estudadas e analisadas podem ser divididas em três categorias: i) medidas de eficiência energética aplicadas à envolvente exterior; ii) medidas de eficiência energética aplicadas aos sistemas internos; e iii) medidas de eficiência energética resultantes da alteração comportamental.

Relativamente à implementação de medidas de eficiência energética aplicadas à envolvente exterior, estas consistiram na aplicação de isolamentos térmicos exteriores (ETICS) com espessuras de isolamento de 40, 60, 80 e 100 mm nas paredes e cobertura da piscina coberta, resultando na diminuição das necessidades anuais que variam entre 0,74% a 0,89% na aplicação de isolamento térmico EPS nas paredes exteriores e entre 1,60% a 2,07% na aplicação de isolamento térmico XPS na cobertura, o que revela uma reduzida diminuição dos consumos energéticos globais.

Já a substituição dos vãos envidraçados por vidro duplo ou triplo e das caixilharias de alumínio, sem corte térmico, por caixilharia em PVC apresentaram resultados inferiores, visto que a diminuição das necessidades energéticas anuais foi de 0,33% e 0,45%, caso fosse adotado vidro duplo ou triplo, respetivamente. A aplicação de películas de controlo solar revelou-se ineficaz, pois leva a um aumento de 0,88% dos consumos globais.

As medidas de eficiência energética aplicadas aos sistemas internos traduziram-se na substituição do atual sistema de iluminação que apresenta um consumo considerável, por um sistema de iluminação LED, cujo resultado obtido garante uma diminuição de 68% das necessidades energéticas anuais.

Por fim, as medidas de eficiência energética resultantes da alteração comportamental corresponderam à alteração do horário de funcionamento das caldeiras, o que proporcionou uma redução de 29%.

Como se pode concluir, quase todas medidas de reabilitação mencionadas acima, quando implementadas no edifício, aumentam o desempenho energético e proporcionam um comportamento térmico adequado às atividades desenvolvidas na piscina coberta, resultando em reduções significativas das necessidades energéticas globais. No entanto, é necessário analisar se estas medidas são economicamente viáveis. Considerou-se que para que as medidas de eficiência energética sejam economicamente viáveis é necessário que cumpram um requisito máximo de 8 anos

para o período de retorno simples, que traduz a relação entre o custo de investimento e as poupanças obtidas através da diminuição dos consumos.

A análise da viabilidade económica foi efetuada para cada medida de reabilitação em separado e posteriormente foram definidas quatro propostas finais de reabilitação que combina várias medidas.

Quando as medidas são analisadas em separado, os períodos de retorno simples apresentam valores altos para a aplicação de isolamento térmico nas paredes e cobertura, variando de acordo com a espessura de isolamento a aplicar, entre 45,7 a 63,2 anos e 13,2 a 17,1 anos, respetivamente. Se estivermos a analisar a substituição de vãos envidraçados de vidro duplo ou triplo, os períodos de retorno simples variam entre 63,5 a 54,5 anos.

Por outro lado, se for efetuada a análise da viabilidade económica da substituição do sistema de iluminação e da alteração do horário de funcionamento das caldeiras verificamos que o limite de 8 anos é cumprido, visto que apresentam períodos de retorno simples de 2,4 e 0 anos, respetivamente.

Como se pode constatar, quando se analisam as medidas em separado, apenas a substituição do sistema de iluminação e alteração do horário de funcionamento das caldeiras é que cumpre o limite dos 8 anos estabelecido regulamentarmente.

Combinando as medidas por forma a obter uma otimização dos consumos energéticos aliados à viabilidade económica, foram efetuadas quatro propostas de reabilitação que são compostas por cinco medidas. Devido à incorporação da substituição do sistema de iluminação e alteração do horário de funcionamento das caldeiras em conjunto com a aplicação de isolamento térmico exterior nas paredes e cobertura da envolvente exterior e substituição de vãos envidraçados, o período de retorno simples varia de 2,4 a 3,4 anos, que se traduzem em custos totais de investimento entre 66 344 € a 95 256 € e poupanças energéticas na ordem dos 27 658 € a 28 107 €.

Em suma, a adoção de qualquer uma das quatro medidas é economicamente viável e garante um desempenho energético eficaz e um conforto térmico acrescido face ao estado atual da piscina coberta da Academia Militar.

5.3 Perspetivas de trabalho futuro

Como perspetivas de trabalho futuro sugere-se o estudo e aplicação de medidas de eficiência energética que se baseiem na ideologia “nZEB – Nearly Zero Energy Buildings”, cujo objetivo assenta na redução dos consumos energéticos de um edifício para valores próximos de zero. Para tal, pode-se pensar na projeção de uma central de painéis fotovoltaicos; substituição das caldeiras de gasóleo de aquecimento por caldeiras de biomassa; implementação de dispositivos que visam aumentar o rendimento e a eficiência dos equipamentos, como os variadores eletrónicos de velocidade, baterias de condensadores, sensores de iluminação crepusculares, sistemas de climatização e ventilação mecânica que aproveitem as trocas térmicas e o vapor de água gerado pelas AQP, com o intuito de aproveitar essas mesmas trocas para aumentar a eficiência. Outros aspetos que podem ser analisados em pormenor, que resultam das conseqüentes limitações do software HAP, são as trocas térmicas existentes entre o tanque de natação, ao nível do seu plano de água, e o ambiente interior da nave principal da piscina coberta, bem como a modelação e análise aprofundada do impacto que os painéis termodinâmicos atuais apresentam nas necessidades anuais da piscina coberta da AM.

[Deixado intencionalmente em branco]

Bibliografia

Academia Militar. (2016). *Academia Militar*. Obtido de < www.academiamilitar.pt>, [consultado em 10 de outubro de 2016]

Airflow Developments Limited. (2016). *TSI*. Obtido em 29 de setembro de 2016, de http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manuals/ta5_thermal_anemometer_manual.pdf

Bom, C. (outubro de 2014). Dissertação de mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Militar. *Comportamento Térmico e Energético de Unidades CANIFA e Propostas de Melhoria. Caso de Estudo: Edifício de Caserna*. Lisboa.

Cabrito, J. (Outubro de 2014). Dissertação de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Militar. *Comportamento Térmico e Energético de Unidades CANIFA e Propostas de Melhoria. Caso de Estudo: Edifício de Comando*. Lisboa.

Carrier - Software Systems Network. (2003). HAP Quick Reference Guide. USA: Carrier Corporation.

Carrier - United Technologies. (29 de setembro de 2016). *Carrier - Hourly Analysis Program*. Obtido em 29 de setembro de 2016, de <http://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>

Conceição, J. (outubro de 2015). Dissertação de mestrado para a obtenção do Grau Mestre em Engenharia Militar. *Recuperação de edificado afeto ao Exército. Sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço*. Lisboa.

CYPE Ingenieros S.A. (2016). *Gerador de Preços para a construção civil - Portugal*. (CYPE Ingenieros, S.A.) Obtido em 29 de setembro de 2016, de <http://www.geradordeprecos.info>

Despacho (Extrato) N.º 15793-E/2013 de 3 de dezembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (3 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 234, 3.º Suplemento, Série II, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Despacho (Extrato) N.º 15793-F/2013 de 3 de dezembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (3 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 234, 3.º Suplemento, Série II, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Despacho (Extrato) N.º 15793-I/2013 de 3 de dezembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (3 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 234, 3.º Suplemento, Série II, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Despacho (Extrato) N.º 15793-K/2013 de 3 de dezembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (3 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 234, 3.º Suplemento, Série II, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Despacho (Extrato) N.º 15793-L/2013 de 3 de dezembro do Ministério do Ambiente, O. d. (3 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 234, 3.º Suplemento, Série II, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

EPAL -Grupo Águas de Portugal. (junho de 2011). Manual de Redes Prediais. 4^a.

Eurostat. (2016). *Eurostat: Your Key to European Statistics*. Obtido de < www.ec.europa.eu/eurostat >, [consultado em 10 de outubro de 2016]

Gonçalves, H., & Graça, J. M. (Novembro de 2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. IP, 3ª. Lisboa: DGGE.

LNEG. (11 de fevereiro de 2014). *LNEG - Investigação para a Sustentabilidade*. Obtido em 29 de setembro de 2016, de <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. (2016). *OECD - Better Policies For Better Lives*. Obtido de < www.oecd.org >, [consultado em 08 de outubro de 2016]

ONSET. (2016). *ONSET*. Obtido de < www.onsetcomp.com >, [consultado em 11 de outubro de 2016]

OWL. (2016). *OWL: intelligent wireless energy monitoring and heating controls*. Obtido de < www.theowl.com >, [consultado em 10 de outubro de 2016]

Pina, C. A., & Matias, L. (2006). *ITE50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos Edifícios* (1ª ed.). Lisboa: LNEC.

Poça, B. (outubro de 2015). Dissertação de mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Militar. *Recuperação do edificado afeto ao Exército. Tecnologia e reabilitação de coberturas em terraço*. Lisboa.

PORDATA. (2016). *PORDATA: Base de Dados Portugal Contemporâneo*. Obtido de < www.pordata.pt >, [consultado em 10 de outubro de 2016]

Portaria N.º 349-D/2013 de 2 de dezembro dos Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. (2 de dezembro de 2013). Diário da República: N.º 233, 2º Suplemento, Série I, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Portaria N.º 379-A/2015 de 22 de outubro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (22 de outubro de 2015). Diário da República: N.º 207, 2º Suplemento, Série I, [consultado em 29 de setembro de 2016], Disponível em:<URL:www.dre.pt>.

Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). *Térmica de Edifícios* (1ª ed.). Amadora: Edições Orion.

U.S. Energy Information Administration. (maio de 2016). *International Energy Outlook 2016*. Washington D.C., E.U.A: U.S. Energy Information Administration, [consultado em 08 de outubro de 2016], Disponível em: <URL: www.eia.gov>.

World Energy Council. (2013). *World Energy Scenarios: Composing energy futures to 2050*. Londres, Reino Unido: World Energy Council, [consultado em 08 de outubro de 2016], Disponível em:<URL: www.worldenergy.org>.

Anexos

Lista de Anexos:

Anexo A – Procedimentos de modelação da piscina coberta da Academia Militar

Anexo A – Procedimentos de modelação da piscina coberta da Academia Militar

A.1. Procedimentos de modelação da piscina coberta da Academia Militar

A.1.1. Criação de um projeto

Ao iniciar um projeto de simulação em HAP é apresentado um layout no qual tem de se introduzir as preferências do projeto que irão afetar o funcionamento de toda a análise, nomeadamente, o sistema de unidades de medida a utilizar no presente trabalho, que é o sistema internacional de medida; os padrões normativos de energia, ventilação e iluminação que são as normas estabelecidas para a introdução e comparação de diversos dados e, posteriormente tem de se definir as condições climáticas locais.

O ficheiro climático utilizado no modelo de simulação dinâmica do HAP foi determinado com base na folha de cálculo “CLIMAS-SCE- Software para o sistema Nacional de Certificação de Edifícios” disponibilizado pelo LNEG (LNEG , 2014). Este software fornece as estatísticas climáticas e o ano meteorológico de referência do local pretendido, bastando, para tal, introduzir-se o município e a altitude do local de implementação do edifício.

A Figura A.1 apresenta um layout do HAP com algumas das informações climáticas do local de implementação em estudo.

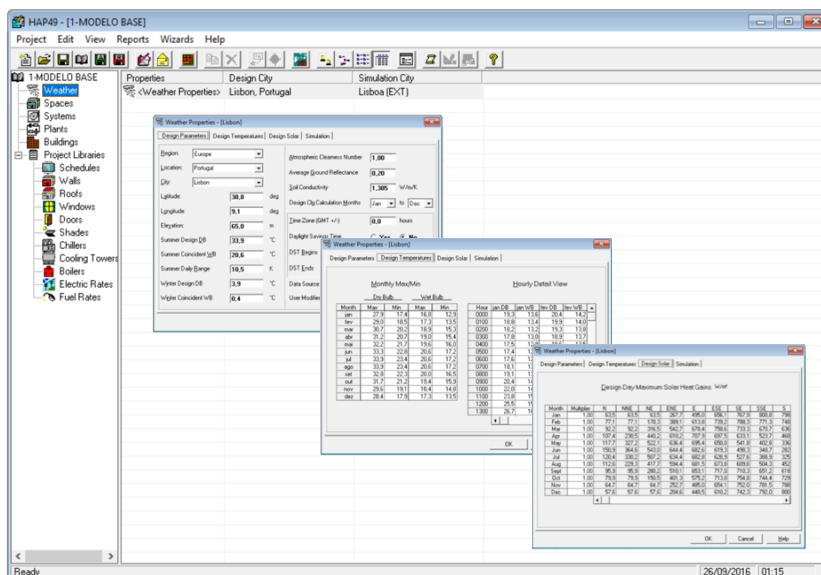


Figura A. 1 – Layout do HAP: informações climáticas de Lisboa

A.1.2. Definição da biblioteca de projeto

A biblioteca de projeto contempla grande parte dos elementos essenciais para a modelação dos espaços, uma vez que são discriminados os materiais de construção empregues nos elementos de parede e cobertura, vãos envidraçados, claraboias e portas, bem como os dispositivos de sombreamento, equipamentos variados e perfis de utilização. Relativamente aos perfis de utilização, estes servem para definir o comportamento horário e diário de várias características de um espaço e seus equipamentos. No HAP os perfis de utilização mais relevantes são os fracionários e os de ventilação/termóstato. Cada um deles têm uma maneira peculiar de funcionamento, nos quais os perfis de utilização fracionários definem o horário e a variação diária de cada hora em percentagens e os perfis de utilização de ventilação/termóstatos definem os períodos de funcionamento de equipamentos de climatização, atribuindo a cada hora a opção de ligado ou desligado (Carrier - Software Systems Network, 2003).

A Figura A.2 apresenta os layouts do HAP relativos aos perfis de utilização fracionários e de ventilação/termóstato.

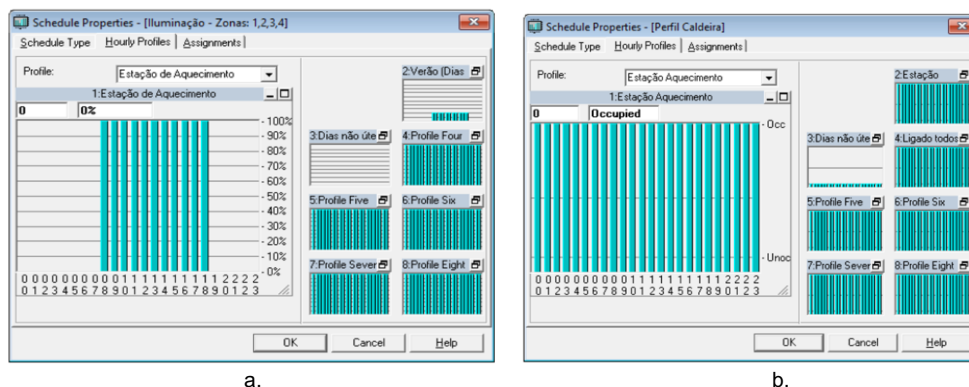


Figura A. 2 – Layout do HAP: Perfil de funcionamento fracionário (a) e perfil de funcionamento de ventilação/termóstato (b).

Os materiais de construção presentes na envolvente de um edifício são uma componente importante no comportamento térmico, pois são eles que asseguram a separação entre o ambiente interior e exterior.

Os elementos de parede ou cobertura, referem-se a superfícies opacas de um espaço e são definidas por uma sequência de materiais de construção com propriedades físicas associadas. As propriedades de cada material presente numa parede ou cobertura caracterizam-se pela sua espessura, densidade, calor específico e resistência térmica. Quando se introduz as propriedades de todos materiais do elemento, com o sentido do interior para o exterior, o HAP calcula o coeficiente de transmissão térmica que é utilizado na determinação da transmissão de calor (Carrier - Software Systems Network, 2003)

A Figura A.3 apresenta os layouts do HAP referentes à determinação do valor de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de uma parede e cobertura.

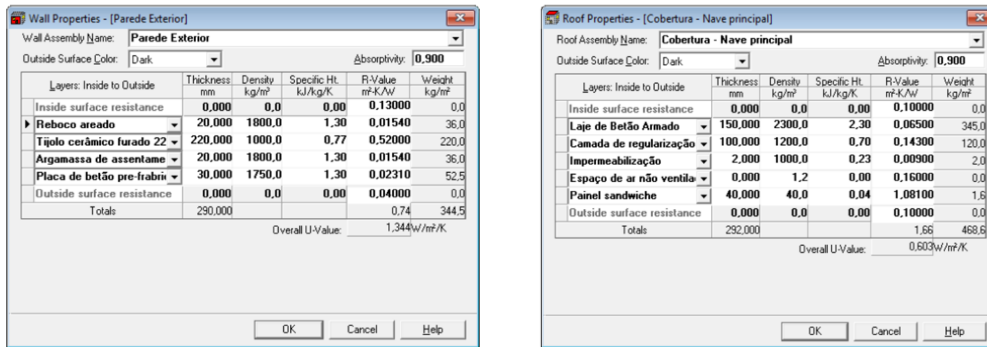


Figura A. 3 – Layout do HAP: Propriedades da parede exterior (a) e da cobertura da nave principal (b)

Outros elementos que fazem parte da envolvente de um edifício e que têm uma importante contribuição para o cálculo térmico são as portas e os vãos envidraçados como janelas e claraboias.

As janelas, por sua vez, podem ser definidas pelas suas características físicas, tais como o número de panos de vidro, os tipos e propriedades óticas de cada um dos panos, o tipo de caixilharia e a presença ou não de dispositivos de sombreamento. As portas, por sua vez, são definidas pela porção de material opaco (madeira, metal ou outro) e pela porção de vidro, caso exista.

Assim sendo, o HAP efetua o cálculo das trocas de energia, considerando o fluxo de calor por condução pela porção de material opaco, bem como a transferência de calor por condução e os ganhos solares através da porção de vidro (Carrier - Software Systems Network, 2003).

Na Figura A.4 pode observar-se os layouts do HAP referentes à determinação do coeficiente de transmissão térmica de uma janela e de uma porta.

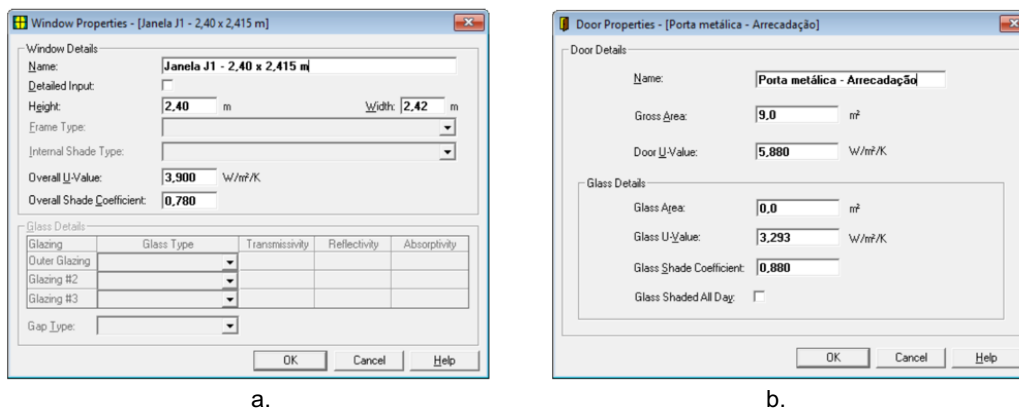


Figura A. 4 – Layout do HAP: Propriedades de uma janela da fachada Oeste (a) e da porta metálica das traseiras das instalações técnicas (b)

De modo a caracterizar alguns equipamentos que desempenham um papel importante no consumo de energia, o HAP, na sua biblioteca, dispõe de equipamentos tais como caldeiras, chillers e torres de refrigeração. Os equipamentos que serão descritos no presente trabalho são as caldeiras alimentada a gás/óleo de aquecimento, por serem os equipamentos existentes nas instalações técnicas

que efetuam o aquecimento de água quente às instalações sanitárias, balneários e tanque de natação. É de referir que as caldeiras apenas estão em funcionamento quando o sistema de coletores térmicos não são suficientes para aquecer a água quente (Carrier - Software Systems Network, 2003).

Este equipamento é utilizado para o funcionamento do sistema de água quente no edifício e, como tal, quando se definir o sistema de preparação e águas quentes sanitárias (AQS) e preparação de águas quentes da piscina (AQP), esta caldeira será associada e fará parte das simulações energéticas. Para se definir a caldeira é necessário introduzir a fonte de energia ou combustível utilizado (eletricidade, gás natural, propano ou gasóleo de aquecimento), o tipo de caldeira (caldeira a vapor ou caldeira de água quente), potência, valores de cálculo das temperaturas de água quente, eficiência do equipamento, entre outros (Carrier - Software Systems Network, 2003).

A Figura A.5 apresenta o layout do HAP referente à caracterização de uma caldeira.

% Load	Efficiency (%)
100.0	90.9
90.0	90.9
80.0	90.9
70.0	90.9
60.0	90.9
50.0	90.9
40.0	90.9
30.0	90.9
20.0	90.9
10.0	90.9
0.0	90.9

Figura A. 5 – Layout do HAP: Propriedades da caldeira

A.1.3. Definição das zonas térmicas

A introdução do ficheiro climático e a elaboração da biblioteca de materiais, perfis de funcionamento e equipamentos, é necessário definir a geometria de cada zona térmica e associar os elementos que se encontram presentes na biblioteca de projeto.

Para a análise do comportamento térmico do edifício, é feita a divisão em vários espaços que correspondem às diversas parcelas que o constituem. Cada espaço definido apresenta um conjunto de elementos que influenciam os fluxos de calor, e, no presente estudo, a piscina coberta da AM foi dividida em 10 zonas térmicas distintas, como se pode observar nas plantas de implementação do piso térreo e da cave das figuras 2.3 e 2.4, respetivamente.

A Figura A.6 apresenta um layout do HAP com algumas das informações sobre um espaço definido, no qual se pode observar a caracterização geral onde está incluído a área útil de cada zona, o pé-direito, a inércia térmica que define a quantidade de massa dos elementos construtivos, desempenhando um papel fulcral na transferência de calor entre o ambiente exterior e o interior, pois quando este aspeto é otimizado, o conforto térmico é assegurado.

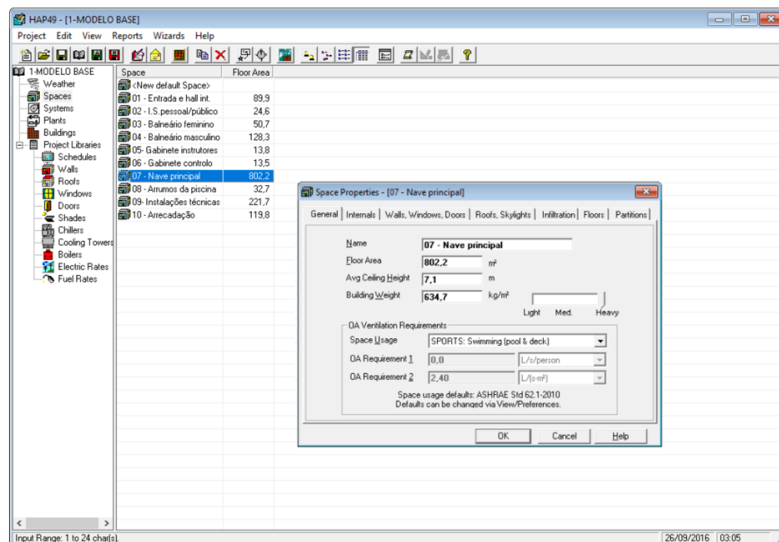


Figura A. 6 – Layout do HAP: Caracterização de um espaço

Relativamente aos ganhos térmicos internos do espaço, o HAP subdivide em cinco categorias de fontes internas distintas, que têm a seguinte denominação (Carrier - Software Systems Network, 2003):

- Iluminação superior: este tipo de iluminação define as características dos equipamentos de iluminação que existem na parte superior do espaço em estudo. Para a análise pormenorizada dos ganhos térmicos é necessário especificar o tipo de equipamento utilizado, dependendo se é de suspensão livre (irradiação em todas as direções) ou se é recuado não ventilado (irradiação limitada no espaço) ou recuado ventilado (irradiação limitada no espaço, mas com maiores ganhos face ao recuado não ventilado). Por forma a contabilizar o consumo do balastro elétrico nas lâmpadas fluorescentes tubulares é adicionado um fator de 1,10 que é multiplicado ao consumo total de energia, enquanto que nas lâmpadas incandescentes o fator é 1,0.

- Iluminação tarefa: este tipo de iluminação define uma segunda forma de iluminação do espaço, referindo-se aos sistemas fixos em paredes, mobiliário, entre outros.

- Equipamentos elétricos: permitem um ganho de calor dos aparelhos ou equipamentos elétricos, como exemplo, os computadores, equipamentos de cozinha ou industriais, entre outros.

- Pessoas: o corpo humano é uma fonte de calor latente e sensível, logo a análise da densidade populacional de um determinado espaço é tida em consideração. Para determinar os ganhos de calor provenientes desta fonte de energia, é necessário avaliar qual a atividade realizada no espaço.

A Figura A.7 apresenta um layout do HAP onde é possível observar o que foi mencionado acerca dos ganhos de calor internos.

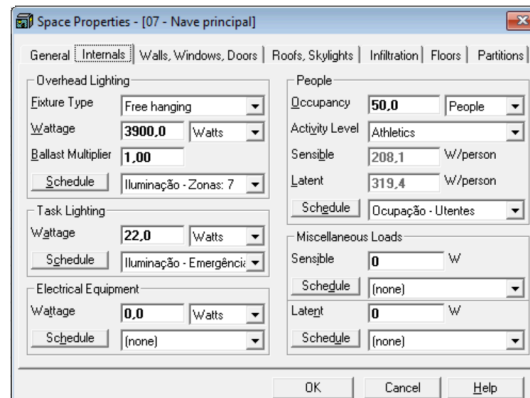


Figura A. 7 – Layout do HAP: Caracterização dos ganhos internos

Nos separadores seguintes de introdução de dados no HAP, são apresentados os diversos elementos que fazem parte da envolvente do espaço. Estes dados são imprescindíveis para definir os elementos que separam o ambiente interior do exterior, pois irão assegurar as transmissões de calor entre os dois ambientes.

De forma a caracterizar os tipos de elementos construtivos empregues na envolvente vertical e horizontal de um espaço é necessário atribuir-se a cada um, a exposição que apresenta. Para os elementos que fazem parte da envolvente vertical, as exposições fornecidas pelo software estão limitadas aos pontos cardeais, colaterais e subcolaterais.

Posto isto, quando se selecionar a orientação para uma parede, introduz-se a sua área total exterior, bem como a quantidade de vãos envidraçados, dispositivos de sombreamento e portas.

Na Figura A.8 pode visualizar-se um layout do HAP com os dados necessários para caracterizar as fachadas da zona da nave principal.

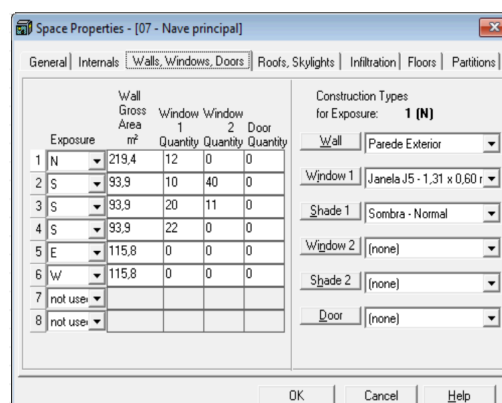


Figura A. 8 – Layout do HAP: Caracterização das fachadas

As coberturas são elementos que fazem parte da envolvente horizontal e a sua contribuição no fluxo de calor é decisiva para o conforto térmico do espaço interior, pois é o elemento que se encontra mais exposto tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. Por isso mesmo, a sua correta caracterização no modelo de simulação dinâmica do HAP é essencial.

A forma de introdução de dados é semelhante aos elementos verticais, diferindo o tipo de exposição solar do plano da cobertura, que pode ser horizontal ou inclinado e da presença ou não de dispositivos de entrada de luz solar (claraboias).

Na Figura A.9 está apresentado um layout do HAP com os dados necessários a serem introduzidos para caracterizar a cobertura do espaço relativo ao balneário masculino.

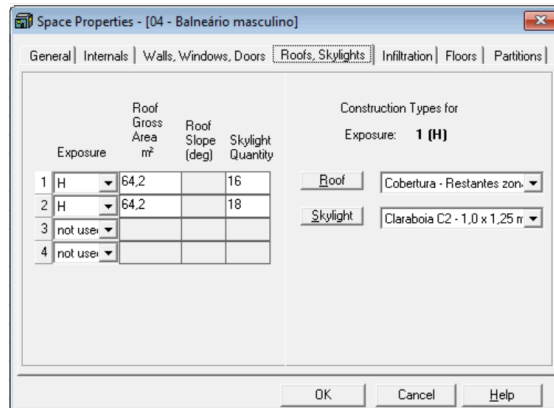


Figura A. 9 – Layout do HAP: Caracterização das coberturas

As infiltrações de ar num espaço expressam-se pela passagem de um fluxo de ar do ambiente exterior para o ambiente interior. Normalmente, as infiltrações de ar ocorrem devido a pequenas aberturas em torno de portas e janelas ou então de aberturas com grelhas de ventilação colocadas nas fachadas dos edifícios.

Para tal, os dados introduzidos no software resultaram de medições experimentais, descritas no subcapítulo 2.11 do presente trabalho que consistiram numa estimativa do caudal de infiltrações provenientes das aberturas existentes em cada zona térmica. Os dados introduzidos são utilizados para simular as transferências térmicas que ocorrem num espaço quando existe ventilação de ar, que se traduzem em trocas térmicas sensíveis e latentes para o espaço analisado (Carrier - Software Systems Network, 2003).

A Figura A.10 apresenta um layout do HAP com os dados relativos ao caudal de infiltração de um espaço.

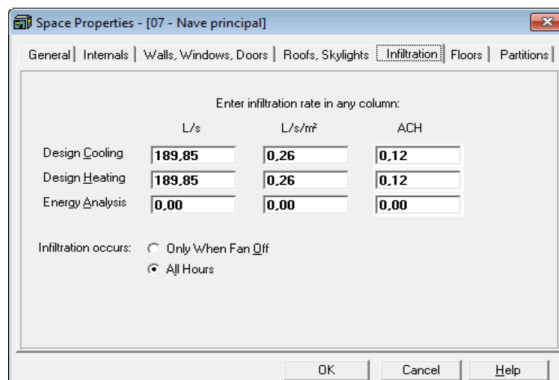


Figura A. 10 – Layout do HAP: Caracterização do caudal de infiltrações

Um outro elemento que faz parte da envolvente horizontal é o pavimento. Neste item deve-se ter em consideração as características de construção do piso, pois os mecanismos de transferência de calor variam significativamente de acordo com os diferentes tipos de pavimento existentes. De forma a classificar os pisos, o HAP dispõe de quatro tipo de entradas (Carrier - Software Systems Network, 2003):

- Pavimento acima de um espaço útil: neste ponto o software assume que a transferência de calor entre os pisos é insignificante, visto que a fronteira entre espaços úteis é adiabática.

- Pavimento acima de um espaço não útil: a transferência de calor entre o um espaço útil e outro espaço não útil não pode ser desprezada pois as diferenças de temperatura do ar entre os espaços pode ser significativa. Para tal, é necessário introduzir a área total do pavimento em contacto com o solo, o coeficiente de transmissão térmica do pavimento e as temperaturas ar máximas e mínimas entre os dois espaços.

- Pavimento acima do solo: a transferência de calor dá-se do pavimento para o solo e, como tal, é necessário considerar a área total de pavimento em contacto com o solo, o coeficiente de transmissão térmica do piso, bem como o perímetro de laje exposto ao solo e a resistência térmica do isolamento utilizado ao longo do bordo interno do rodapé da laje.

- Pavimento enterrado: os espaços que se encontram abaixo do subsolo apresentam transferências de calor através do piso desse espaço e do perímetro de laje em contacto com o solo, bem como com as transferências de calor das paredes em contacto com o solo. Os itens de entrada são: área total do pavimento em contacto com o solo, perímetro de laje exposto, valor do coeficiente de transmissão térmica do piso, profundidade do piso, coeficiente de transmissão térmica da parede, resistência térmica do isolamento utilizado ao longo do bordo exterior da parede e a profundidade ao que se encontra esse isolamento.

A Figura A.11 apresenta um layout do HAP com os dados que são necessários a introduzir para caracterizar o pavimento.

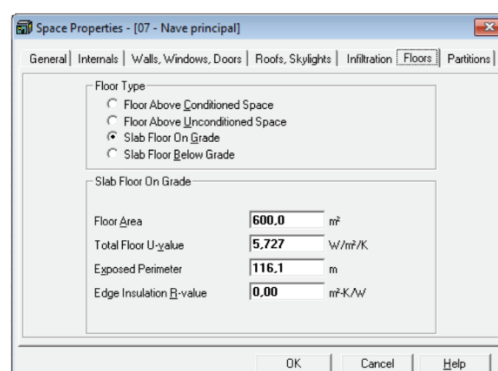


Figura A. 11 – Layout do HAP: Caracterização dos pavimentos

Por fim, para contabilizar a transferências de calor, em elementos de parede e teto, entre zonas com ambientes de diferentes características térmicas, nomeadamente, entre espaços úteis e espaços não úteis ou parcialmente climatizados, o HAP apresenta um separador nas propriedades de espaço que condensa a informação necessária para o cálculo das trocas térmicas em questão, atribuindo temperaturas máximas e mínimas aos espaços contíguos (Carrier - Software Systems Network, 2003).

A Figura A.12 apresenta um layout do HAP com os dados que são necessários a serem introduzidos para caracterizar as paredes e tetos que separam espaços com características térmicas diferentes.

	Partition 1	Partition 2
Area	55,2	120,0 m²
U-Value	1,783	3,378 W/m²K
Unconditioned Space Max Temp.	23,9 °C	23,9 °C
Ambient at Space Max Temp.	35,0 °C	35,0 °C
Unconditioned Space Min Temp.	23,9 °C	23,9 °C
Ambient at Space Min Temp.	12,8 °C	12,8 °C

Figura A. 12 – Layout do HAP: Caracterização de espaços com temperaturas diferentes

A.1.4. Definição dos sistemas

É de referir que após a modelação de toda envolvente dos espaços e da caracterização dos materiais construtivos presentes nas fachadas, coberturas e pavimentos; equipamentos de iluminação e tipo de utilização e densidade ocupacional, é fulcral definir os sistemas de climatização de ar e o sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e de águas quentes da piscina (AQP).

Relativamente aos sistemas de climatização, o HAP dispõe de um conjunto de formulários que dizem respeito aos diferentes tipos de sistemas. Os sistemas de climatização proporcionam arrefecimento e/ou aquecimento a um ou mais espaços de um edifício e, como tal, estes incluem vários componentes como ventiladores, serpentinas, condutas, terminais de alimentação e controladores (Carrier - Software Systems Network, 2003).

O sistema de climatização tem de ser obrigatoriamente definido no software de simulação HAP de modo a avaliar as necessidades de aquecimento e arrefecimento provenientes das variações de temperatura, face às temperaturas estipuladas, ao longo do tempo.

De acordo com a Portaria N° 349-D/2013 (2 de dezembro de 2013), referente ao regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS), apresenta os requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções e, relativamente às condições interiores quando se efetua a simulação dinâmica multizona, deve-se considerar uma temperatura interior compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, inclusive. Assim sendo, todas as zonas térmicas do edifício foram simuladas como se estivessem a uma temperatura do ar interior de 20°C para a estação de aquecimento e de 25°C para a estação de arrefecimento.

O sistema de preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e de preparação de águas quentes da piscina (AQP) são sistemas que fornecem o aquecimento das águas. Como tal, a modelação tem de ser ajustada de forma a representar o sistema real. Na modelação de um sistema de água quente, é necessário ter em consideração a quantidade de caldeiras associadas e bombas de calor conectadas em paralelo que servem o mesmo circuito de água quente, bem como definir os parâmetros respeitantes à distribuição e consumo de água.

A Figura A.13 apresenta o layout do HAP referente ao serviço do sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS).

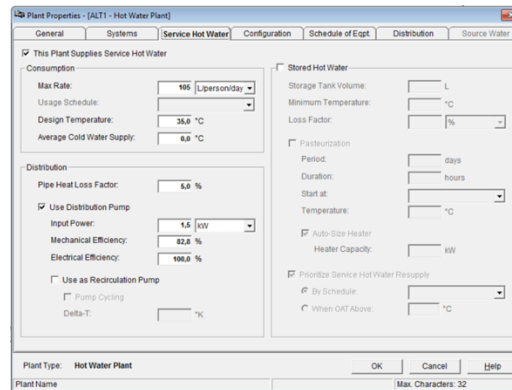


Figura A. 13 –Layout do HAP: Caracterização do sistema de aquecimento de águas sanitárias (AQS)

A.1.5. Simulação e geração de relatórios

Por fim, após a modelação do edifício estar completa, efetua-se a simulação dinâmica no HAP para um período temporal pretendido, que neste caso, foi de um ano.

A simulação dinâmica resulta do cálculo de todas as variáveis que foram introduzidas no software e são expressas através de relatórios que contêm as mais variadas informações em formato de texto, tabelas e gráficos, tais como: relatórios anuais, mensais e diários dos consumos energéticos dos diferentes sistemas de ventilação, iluminação, equipamentos elétricos, bombagem, aquecimento e arrefecimento; relatórios anuais que englobam as emissões de gases poluentes para a atmosfera como o CO₂ (dióxido de carbono), SO₂ (dióxido de enxofre) e NO_x (óxidos de nitrogênio) e, relatórios anuais que expressam os custos associados a diferentes componentes do sistema (Carrier - Software Systems Network, 2003).

No presente trabalho apenas foram analisados os relatórios referentes aos consumos energéticos anuais do edifício, nomeadamente, os relatórios referentes às necessidades de aquecimento, arrefecimento, sistemas de bombagem, iluminação e equipamentos elétricos.

A Figura A.14 apresenta o layout do HAP com o separador que permite a escolha dos diferentes relatórios.

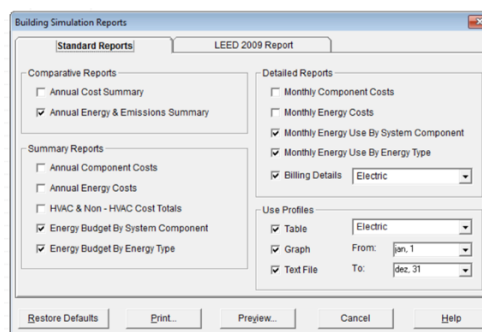


Figura A. 14 – Layout do HAP: Relatórios de simulação