

Diagnóstico Energético e Modelação Energética de uma Piscina Municipal

Alexandra Maria da Silva Pereira

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica – Ramo Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



2 de dezembro de 2014

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projecto/Estágio do 2º ano do Mestrado
em Engenharia Mecânica – Ramo Energia

Candidato: Alexandra Maria da Silva Pereira, N° 1120143, 1120143@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Rui Rego, rfr@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Mecânica – Ramo Energia
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



2 de dezembro de 2014

Dedico este trabalho a todos os meus amigos e familiares, a todos eles um muito obrigado.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, queria agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Rui Rego, que sempre se mostrou disponível em me apoiar em todos os passos deste projeto.

Agradeço também à empresa Armamar Investe Mais E.M., pelo fornecimento dos dados necessários para a realização do diagnóstico e modelação energética do edifício em estudo neste projeto e também no esclarecimento de algumas dúvidas que surgiram no desenvolvimento desta dissertação.

Também tenho de agradecer aos funcionários das Piscinas Municipais de Armamar, pela disponibilidade e perseverança que demonstraram no esclarecimento de dúvidas e no auxílio que prestaram durante a realização da visita a estas ditas piscinas.

Para finalizar gostaria de agradecer a todos os meus colegas, amigos e familiares que desde o primeiro momento me apoiaram durante a realização do meu percurso académico.

A todos eles, um muito obrigado!

Resumo

Tendo em conta o contexto de crise económica que o nosso país atravessa, é essencial reduzir os gastos com os edifícios públicos. Assim sendo este projeto teve como objetivo encontrar soluções de modo a que as piscinas cobertas de Armamar reduzissem os seus consumos energéticos e garantissem na mesma os mesmos padrões de qualidade e conforto térmico para os seus utilizadores.

De modo a que o objetivo principal desta dissertação fosse cumprido, em primeiro lugar foi necessário efetuar um questionário à empresa responsável por estas piscinas, a Armamar Investe Mais E.M., de modo a conhecer o perfil de utilização deste edifício, assim como as faturas dos consumos energéticos dos últimos dois anos (2012 e 2013). De referir, que as fontes energéticas deste edifício são: gás propano e eletricidade. A distribuição destas fontes energéticas são: 77% para o gás propano e 23 % para a eletricidade.

À mesma empresa foi requerida todos os dados técnicos respeitantes a estas piscinas, de referir as plantas de arquitetura e o projeto AVAC, de modo a ser possível conceber um modelo virtual deste edifício.

Após o dimensionamento e posterior simulação virtual, verificou-se que a diferença entre os resultados obtidos por esta simulação virtual e os valores médios descritos nas faturas das fontes de energia, ronda os 8,2%. No entanto este modelo não pode ser considerado válido, uma vez que os consumos energéticos mensais obtidos pelo simulador diferem substancialmente com os consumos energéticos registados nas faturas.

Após a simulação virtual e a análise das faturas das fontes de energia consumidas nestas piscinas municipais cobertas, que neste caso são o gás propano e eletricidade, chegou-se à conclusão de que grande parte dos consumos se devem sobretudo ao gás propano, devido ao facto de este servir essencialmente para o aquecimento das águas das piscinas e também providenciar calor para o equipamento de desumidificação.

Para que este diagnóstico e modelação energética fosse o mais realista possível, foi efetuada uma visita às instalações.

Ao longo desta mesma visita, depararam-se algumas falhas do desempenho energético deste edifício, o que levou a um aumento dos consumos das fontes energéticas mencionadas anteriormente. De referir que nas paredes exteriores deste edifício existiam focos de humidade, os filtros de renovação das águas da piscina de competição não funcionavam e não existiam equipamentos de medição instalados, conforme o projeto.

Para reduzir estes consumos energéticos e aliviar economicamente o encargo da empresa municipal com a manutenção destas piscinas, foi efetuado um estudo de soluções possíveis para atingir os ditos objetivos de redução de consumos, sendo as soluções encontradas as seguintes: colocação de lonas de proteção nas piscinas cobertas, de modo a evitar as perdas pela evaporação da água; avaliar a redução dos consumos energéticos e económicos com a reparação dos filtros da piscina de competição; analisar o aproveitamento das águas quentes provenientes dos painéis solares para aquecer as águas das piscinas, criando um sistema misto de aquecimento utilizando os painéis solares e o gás propano, de modo a reduzir os consumos e os custos energéticos com esta fonte de energia não renovável e finalmente a substituição das luminárias existentes neste edifício por luminárias com tecnologia LED.

Com estas soluções sugeridas, levam a uma redução nos consumos e custos energéticos deste edifício garantindo ao município um alívio económico na manutenção destas piscinas cobertas.

Palavras-Chave

Eficiência Energética, Simulação Dinâmica e Poupança Energética

Abstract

In the actual context of economic crisis that our country pass, it is essential to reduce the spending of state enterprises. So, this project had the main objective to find solutions to reduce the energetic costs of a sports building that contains the swimming pools of Armamar and ensure their quality comfort.

To ensure the main goal of this project, the first point was to do a questionnaire for the public enterprise that was the owner of the building, which is Armamar Investe Mais E.M., with the main purpose to know the building's energetic profile. For the same enterprise was asked to send the architectural, electric and HVAC projects so that the energetic virtual model could be done.

After the virtual conception and simulation, the virtual energetic consumption had few differences with the real energetic consumption. The numeric differences between the two energetic consumptions had the value of 8,2%. But this model cannot be considered validated, because the energetic monthly consumption obtained by this software presented some discrepancies compared with the real energetic consumption and provide heat for the dehumidification equipment.

After this virtual simulation and analysis of the energetic bills, the main conclusion was that the majority of this building energetic consumption was made by the propane gas consumption. The reason was that gas is used to warm water for the swimming pools.

In order to the energetic analysis would be more realistic, energetic field measurements of this building. During the field work, some occurrences were note namely: the exterior walls had humidity, the filters of the competition pool were damaged and there were measurement equipment not installed as the project.

To reduce the energetic bills and increase the energetic and economical sustainability of this building, was made a research for solutions to reduce that. The solution analysed are: cover the swimming pools avoiding the water evaporation; using solar panels to warm water for

pools and to create a mixed heating system with propane gas with the purpose to reduce de energetic and economic consumption with that gas; the energetic and economical savings by repairing the filters of the competition pool and finally put LED lamps in all the building.

With this research, the economical and energetic bills could be significantly reduced and ensure for this public building an economical relieve to maintain this particular building and also to maintain the highest quality standard for the users.

Keywords

Energetic Efficiency, Dynamic Simulation and Energy Savings

Índice

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	XI
ÍNDICE	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
NOMENCLATURA	XXIII
1. INTRODUÇÃO	33
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	34
1.2. OBJETIVOS	35
1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	36
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
2.1. ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO	38
2.2. CONSUMO ENERGÉTICO EM PISCINAS COBERTAS	50
2.3. MODELAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	52
3. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO AO EDIFÍCIO	60
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	60
3.2. CONSUMOS ENERGÉTICOS	65
3.3. ANÁLISE DE SERVIÇOS AUXILIARES	73
4. MODELAÇÃO ENERGÉTICA	104
4.1. FERRAMENTAS INFORMÁTICAS DE MODELAÇÃO ENERGÉTICA	104
4.2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO	105
4.3. RESULTADOS OBTIDOS PELA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA	110
5. MELHORIAS A IMPLEMENTAR	119
5.1. PROPOSTAS DE MELHORIA	119
6. CONCLUSÕES	129
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	132
ANEXO A. PLANTAS ARQUITETÓNICAS DAS PISCINAS COBERTAS DE ARMAMAR	134
ANEXO B. PLANTA AVAC INSTALADA NO EDIFÍCIO	137
ANEXO C. FICHAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS AVAC INSTALADOS NO EDIFÍCIO. ..	138

ANEXO D. CURVAS DA INSTALAÇÃO DAS BOMBAS EXISTENTES NO EDIFÍCIO.....	142
ANEXO E. RESULTADOS DETALHADOS DA SIMULAÇÃO UTILIZANDO A FERRAMENTA INFORMÁTICA <i>SOLTERM</i>.....	145
ANEXO F. ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA À SOLUÇÃO LED	157
ANEXO G. CONSUMOS E CUSTOS ANUAIS DAS LUMINÁRIAS EXISTENTES NAS PISCINAS MUNICIPAIS DE ARMAMAR.....	160
ANEXO H. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DOS GASES DE COMBUSTÃO.....	163
ANEXO I. DADOS DE ENTRADA DO <i>ENERGYPLUS</i>	164
ANEXO J. COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO NAS PAREDES EXTERIORES	165

Índice de Figuras

Figura 1: Piscinas Cobertas Municipais de Armamar	35
Figura 2: Organograma contendo o modo como é estruturado o SCE.	39
Figura 3: Janela de Entrada do <i>EnergyPlus 8.1</i>	54
Figura 4: Esquema de funcionamento do <i>EnergyPlus</i> . [8]	55
Figura 5: Processo iterativo que o <i>EnergyPlus</i> utiliza para determinar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento. [8]	56
Figura 6: Esquema do funcionamento de uma simulação simultânea. [8]	57
Figura 7: Imagem Satélite das Piscinas Municipais de Armamar	61
Figura 8: Vista Lateral das Piscinas Municipais de Armamar.....	63
Figura 9: Vista Lateral das Piscinas Municipais de Armamar (continuação).	63
Figura 10: Humidade Existente nas paredes do edifício.	64
Figura 11: Leitores de Temperatura de uma das bombas que fornece águas quentes ao edifício em estudo.....	65
Figura 12: Distribuição dos Consumos e Custos Anuais (GJ, tep, €).	67
Figura 13: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Anuais	69
Figura 14: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Unitários do Gás Propano.	69
Figura 15: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Unitários de Eletricidade.....	70
Figura 16: Relação entre os Consumos Energéticos e a Temperatura Média.....	71
Figura 17: Consumo da Energia Ativa no ano de 2012.....	74
Figura 18: Consumos da Energia Ativa do ano de 2013.	74
Figura 19: Relação Potência Contratada com a Potência de Ponta no ano de 2012 e 2013.....	75
Figura 20: Painéis Solares e respetivo depósito de água quente	81
Figura 21: Diagrama de Carga para a Circulação da Permuta das Piscinas.....	84
Figura 22: Diagrama de Carga para a UTA.....	87
Figura 23: Grelhas que extraem o ar à envolvente das piscinas	91
Figura 24: Grelhas que fornecem ar à envolvente das piscinas	91
Figura 25: Perdas Térmicas pela água na Piscina de Competição.	98
Figura 26: Perdas Térmicas pela água na Piscina de Aprendizagem.....	98
Figura 27: Gráfico que relaciona as perdas pela ventilação, envolvente opaca e vãos envidraçados da zona térmica que contém as Piscinas.....	103
Figura 28: Imagem das Piscinas Municipais de Armamar simuladas na ferramenta <i>EnergyPlus</i> (vista de frente).	107

Figura 29: Imagem das Piscinas Municipais de Armamar simuladas na ferramenta <i>EnergyPlus</i> (vista de trás).	108
Figura 30: Modelação Energética das Piscinas Municipais de Armamar com as envolventes interiores e exteriores definidas (vista de cima).	109
Figura 31: Comparação do consumo energético da eletricidade entre os valores das faturas com o simulador.	117
Figura 32: Comparação do consumo energético do gás propano entre os valores das faturas com o simulador.	117
Figura 33: Comparação dos consumos energéticos entre as luminárias instaladas no edifício com as luminárias LED.	128

Índice de Tabelas

Tabela 1: Coeficiente de transmissão térmica máximas para a envolvente opaca.....	43
Tabela 2: Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados	43
Tabela 3: Eficácia de remoção de poluentes	44
Tabela 4: Fator de conversão de energia primária para emissões de CO ₂	45
Tabela 5: Consumo e Custos Energéticos referentes ao ano de 2012	66
Tabela 6: Consumo e Custos Energéticos referentes ao ano de 2013	66
Tabela 7: Média dos Consumos e Custos Energéticos dos últimos dois anos.....	67
Tabela 8: Consumos Mensais por forma de Energia para os anos de 2012 e 2013	68
Tabela 9: Consumos Energéticos do gás propano e eletricidade e a respetiva conversão de kWh para kW _{EP} para os anos de 2012 e 2013	72
Tabela 10: Indicadores de Eficiência Energética Efetivo para os anos de 2012 e 2013	73
Tabela 11: Características das Luminárias Presentes no Piso -2	76
Tabela 12: Características das Luminárias Presentes no Piso -1	76
Tabela 13: Características das Luminárias Presentes no Piso 0.....	77
Tabela 14: Estimativa dos consumos e custos energéticos das luminárias existentes no edifício	78
Tabela 15: Dados de operação das caldeiras das piscinas Municipais de Armamar	79
Tabela 16: Dados retirados pelos analisadores de gases.	80
Tabela 17: Características Técnicas dos Painéis Solares modelo ST – 40/200	81
Tabela 18: Características Técnicas dos Painéis Solares modelo ST – 40/200 (continuação).....	82
Tabela 19: Dados retirados referentes ao sistema solar.....	83
Tabela 20: Dados técnicos da bomba que fornece água quente às piscinas.....	85
Tabela 21: Potência Absorvida da bomba que fornece água quente às piscinas.....	85
Tabela 22: Caudal mássico da bomba que fornece água quente ás piscinas	85
Tabela 23: Potência térmica na tubagem no circuito de água quente das piscinas.....	85
Tabela 24: Dados técnicos dos permutadores instalados nos circuitos de água quente da piscina de competição e de aprendizagem.	86
Tabela 25: Potência térmicas na tubagem no circuito de água quente das piscinas.	87
Tabela 26: Potência absorvida pela bomba que fornece água quente ao circuito da UTA.....	88
Tabela 27: Caudal mássico da bomba que fornece água quente ao circuito da UTA	88
Tabela 28: Potência térmica na tubagem no circuito da UTA.....	88
Tabela 29: Dados técnicos do desumidificador instalado na UTA da piscina.	89
Tabela 30: Dados técnicos da UTA dos Balneários.	89

Tabela 31: Dados técnicos do <i>Chiller</i>	90
Tabela 32: Medições efetuadas na envolvente que contém as piscinas (Parte 1).....	91
Tabela 33: Medições efetuadas na envolvente que contém as piscinas (Parte 2).....	92
Tabela 34:Determinação do caudal mássico de evaporação para a Piscina de Competição e de Aprendizagem, segundo o método proposto por Sartori [11].	96
Tabela 35: Perdas Térmicas por evaporação, por condução pelas paredes e por radiação para a Piscina de Competição, de acordo com o método de Sartori e Nouanengue [11], [12].	97
Tabela 36: Perdas Térmicas por evaporação, por condução pelas paredes e por radiação para a Piscina de Aprendizagem segundo o método de Sartori e Nouanengue [11], [12].	97
Tabela 37: Determinação da taxa de evaporação para as piscinas de competição e de aprendizagem, segundo a NP 4448 [3].	99
Tabela 38: Valores do fator de atividade de diferentes tipos de piscina [16].	100
Tabela 39: Taxas de Evaporação para as piscinas de Competição e de Aprendizagem de acordo com o método ASHRAE [16].	101
Tabela 40: Taxas de evaporação obtidos pelos métodos analisados.....	101
Tabela 41: Dados Termodinâmicos para determinar as perdas energéticas pela ventilação.....	102
Tabela 42: Perdas Térmicas relativas à ventilação.....	102
Tabela 43: Perdas Térmicas devido à envolvente opaca e aos envidraçados.....	102
Tabela 44: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso -2.....	106
Tabela 45: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso -1.....	106
Tabela 46: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso 0.....	107
Tabela 47: Dados Meteorológicos do município de Armamar.	111
Tabela 48: Coeficientes de transferência de calor da envolvente opaca.	111
Tabela 49: Coeficientes de transferência de calor dos vãos envidraçados.	111
Tabela 50: Materiais constituintes das paredes exteriores.	112
Tabela 51: Densidade de Iluminação do edifício.....	113
Tabela 52: Potência Elétrica dos Equipamentos existentes no edifício.	114
Tabela 53: Resultados obtidos pela simulação dinâmica.....	115
Tabela 54: Comparação entre os valores energéticos obtidos pelas faturas e pelo simulador e o erro associado.	116
Tabela 55: Vetor Energético obtido pela simulação dinâmica.	116
Tabela 56: Cálculo da Energia consumida pelas piscinas sem a colocação das lonas de proteção.	122
Tabela 57: Comparação dos gastos energéticos utilizando ou não a colocação de lonas de proteção nas piscinas.....	122
Tabela 58: <i>Payback</i> do investimento das Lonas.	123
Tabela 59: Consumos e Custos energéticos com a renovação da água com os filtros avariados.	125

Tabela 60: Resultados da simulação aos consumos da energia solar, utilizando o Solterm para o aquecimento das piscinas de aprendizagem e de competição.....	126
Tabela 61: Poupanças económicas anuais obtidas pela solução LED.....	127

Nomenclatura

Caracteres Romanos		Unidades
A	- Área	m^2
$\frac{A_w}{A_p}$	- Razão entre a área do vão envidraçado e área útil do pavimento	
A_s	- Área de superfície	m^2
A_p	- Área interior útil de pavimento	m^2
C	- Parâmetro que depende da geometria da superfície	
C_{AQS}	- Consumo anual de águas quentes e sanitárias	l/ano
C_p	- Calor específico a pressão constante;	J/kg.°C
C_T	- Fator de multiplicação do calor sensível	
e	- Espessura do material	m
$E_{ren,i}$	- Consumo de energia por fonte de energia i, para os usos renováveis	kWh/ano
E_{si}	- Consumo de Energia por fonte de energia i; Fonte de energia; Necessidades de energia relativas à iluminação	kWh/ano
$E_{T,i}$	- Consumo de energia por fonte de energia i, para o uso do tipo T	kWh/ano
F	- Fator	
F_a	- Fator de atividade	
f_{nk}	- Fração das necessidades de energia para o uso n e sistema k	
F_{pu}	- Fator de conversão de energia primária	kWep/kWh

F_{pui}	- Fator de conversão	
G	- Parâmetro	
g	- Aceleração gravítica	m/s ²
Gr	- Número de Grashof	
h_c	- Coeficiente de transmissão de calor por convecção	W/m ² .°C
$h_{convecção}$ <i>forçada</i>	- Coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada	W/m ² .°C
$h_{convecção}$ <i>natural</i>	- Coeficiente de transmissão de calor por convecção natural	W/m ² .°C
h_{fg}	- Calor latente de vaporização	MJ/m ² .dia
HR	- Humidade Relativa	
hr	- Coeficiente de transmissão de calor por radiação	W/m.°C
h_w	- Calor latente de vaporização à temperatura da água	kJ/kg
IEE	- Indicador de eficiência energética	
IEE_{ef}	- Indicador de eficiência energética efetivo	kWep/m ²
IEE_{prev}	- Indicador de eficiência energética previsto	
IEE_{ref}	- Indicador de eficiência energética de referência	
IEE_{ren}	- Produção de energia elétrica ou térmica com base nas energias renováveis	
IEE_S	- Consumos de energia que são considerados para efeito de classificação energética	kWep/m ²
IEE_T	- Consumos de energia que não são considerados para efeito de classificação energética	kWep/m ²

k	- Coeficiente de transferência de calor por condução	W/m ² .°C
L	- Comprimento medido na perpendicular ao sentido da transferência de calor	m
L_C	- Comprimento Característico	m
\dot{m}	- Caudal mássico	kg/s
$\dot{m}_{\text{água}}$	- Caudal mássico de água	kg/s
$\dot{m}_{\text{ar seco}}$	- Caudal mássico de ar seco	kg/s
$\dot{m}_{\text{evaporação}}$	- Taxa de evaporação da água	kg/s
\dot{m}_{sistema}	- Caudal mássico do ar	kg/s
N	- Parâmetro que depende da geometria da superfície	
Nu	- Número de Nusselt	
$Nu_{\text{convecção natural}}$	- Número de Nusselt para a convecção natural	
$Nu_{\text{convecção forçada}}$	- Número de Nusselt para a convecção forçada	
N_v	- Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento	kW
P	- Perímetro	m
p_a	- Pressão de saturação no ponto de orvalho do ar	kPa
P_a	- Pressão parcial do ar; Pressão parcial do vapor; Pressão no ponto de orvalho da envolvente que rodeia a piscina	kPa
P_{atm}	- Pressão atmosférica	kPa
PCI	- Poder calorífico inferior	tep/ton ou MJ/kg

P_{enc}	- Pressão de vapor saturado no ar circundante da piscina	kPa
Pr	- Número de Prandtl	
P_{sat}	- Pressão de saturação à temperatura do ar	kPa
P_w	- Pressão parcial da água no ar; Pressão de vapor saturado	kPa
Q	- Potência térmica	kW
Q_a	- Energia global necessária para a preparação das águas quentes e sanitárias	kWh/ano
Q_{AN}	- Caudal volúmico de ar novo	m ³ /h
$Q_{AN,f}$	- Caudal volúmico de ar novo corrigido	m ³ /h
q_c	- Perdas térmicas por convecção	MJ/m ² .dia
$Q_{convecção}$	- Perdas térmicas por convecção	kW
$Q_{convecção}$ <i>forçada</i>	- Perdas térmicas por convecção forçada	kW
$Q_{convecção}$ <i>natural</i>	- Perdas térmicas por convecção natural	kW
$Q_{chão}$	- Perdas térmicas pelo chão	kW
q_e	- Taxa de evaporação da água	MJ/m ² .dia
Q_{evap}	- Perdas térmicas por evaporação	kW
Q_i	- Ganhos internos por convecção	
Q_{mku}	- Perdas térmicas pela adição de água	MJ/m ² .dia
Q_n	- Necessidades energéticas para o uso n	
$Q_{paredes}$	- Perdas térmicas pelas paredes	kW

$Q_{\text{radiação}}$	- Perdas térmicas por radiação	kW
q_r	- Perdas térmicas por radiação	MJ/m ² .dia
Q_{sistema}	- Saída do sistema	
Q_{solo}	- Perdas térmicas para o solo	kW
R	- Constante dos gases ideais	kJ.kmol ⁻¹ .K ⁻¹
Ra	- Número de Rayleigh	
Re	- Número de Reynolds	
R_{si}	- Resistência térmica do material i	m ² .°C/kW
T	- Temperatura	.°C
T_a	- Temperatura do ar	.°C
$T_{\text{água}}$	- Temperatura da água	.°C
T_{entrada}	- Temperatura de entrada	.°C
T_{ext}	- Temperatura do ar no exterior	.°C
T_{mku}	- Temperatura da água injetada	.°C
T_{∞}	- Temperatura ambiente que envolve a zona térmica das piscinas	.°C
T_p	- Temperatura na parede	.°C
T_s	- Temperatura da superfície	K
T_{solo}	- Temperatura do solo	.°C
T_{sup}	- Temperatura da superfície	.°C
$T_{\text{saída}}$	- Temperatura de saída	.°C
T_w	- Temperatura da água	.°C

T_z	- Temperatura desejada para cada espaço a ser simulado	.°C
T_{∞}	- Temperatura do ar no meio infinito	K
U	- Coeficiente global de transferência de calor	W/m ² .°C
$U_{m\acute{a}x}$	- Coeficiente global de transferência de calor máximo	W/m ² .°C
$U_{paredes}$	- Coeficiente global de transferência de calor para as paredes	W/m ² .°C
U_{solo}	- Coeficiente global de transferência de calor para o solo	W/m ² .°C
v	- Velocidade média do ar	m/s
\dot{v}	- Caudal volúmico	m ³ /s
V	- Volume	m ³
v_s	- Velocidade do ar na piscina na superfície	m/s
W	- Potência	kW
$W_{n,k}$	- Consumo de energia do equipamento ou sistema k	kWh
w_p	- Taxa de evaporação	kg/s

Caracteres Gregos

α	- Absortância no espectro da radiação solar	
β	- Coeficiente de dilatação térmica	K ⁻¹
ΔT	- Diferença de Temperatura	.°C
ε	- Emitância	
ε_v	- Eficácia da remoção de poluentes	
ε_w	- Emitância de grande comprimento de onda da água	

λ	-	Condutividade térmica do material	W/m.°C
η	-	Eficiência	
$\eta_{combustão}$	-	Rendimento da combustão	
$\eta_{v,ref}$	-	Fator de utilização para ganhos de referência	
$\eta_{n,k}$	-	Eficiência do sistema k, servindo o uso n	
ρ	-	Densidade	kg/m ³
Θ	-	Parâmetro	
σ	-	Constante de Stefan-Boltzman	W/m ² .K ⁴
ν	-	Viscosidade Cinemática	m ² /s
μ	-	Viscosidade dinâmica	m ² .s/kg

Operadores

$C_z \frac{dT}{dx}$ – Energia armazenada no ar

Δ – Diferença

∞ – Infinito

$\sum_{i=1}^{N_{si}} Q_i$ - Somatório dos ganhos internos por convecção

$\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_s)$ - Transferência de calor na mistura de ar de múltiplas zonas

Abreviaturas

ADENE – *Agência para a Energia*

AVAC – *Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado*

AQS – *Águas Quentes Sanitárias*

BTE – *Baixa Tensão Especial*

ECO.AP – *Plano para implementar nos organismos e serviços pertencentes à administração pública*

ERSE – *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*

EDP – *Eletricidade de Portugal*

FEDER – *Fundo Europeu para o Desenvolvimento Económico e Regional*

LED – *Light Emitting Diode*

LNEG – *Laboratório Nacional de Energia e Geologia*

- NUTS - *Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos*
- PNAEE - *Plano de Ação para a Eficiência Energética*
- PCI - *Poder Calorífico Inferior*
- PNAER - *Plano Nacional para a Eficiência Energética Renovável*
- PRS - *Período de Retorno Simples*
- RECS - *Regulamento do desempenho energético dos edifícios de comércio e de serviços*
- REH - *Regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação*
- SCE - *Sistema de certificação energética dos edifícios*
- SEP - *Serviço Elétrico Público*
- UTA - *Unidade de tratamento de ar*

1. Introdução

Dada a escassez de recursos energéticos, principalmente os recursos não renováveis, levou a que diversos países, incluindo Portugal, tomassem medidas de redução dos seus consumos energéticos.

Uma dessas medidas foi a implementação do Plano de Ação para a Eficiência Energética, plano esse aprovado pela Comissão Europeia.

Esse plano propõe a redução dos consumos energéticos em 20%, até ao ano de 2020. [1] Nele inclui medidas que visam melhorar o desempenho energético dos produtos, dos edifícios e serviços, da distribuição de energia e reduzir o impacto dos transportes no consumo energético. Além disso, facilitam o financiamento e a realização de investimentos nesse domínio, de modo a promover por parte das pessoas um comportamento racional em termos energéticos.

Em Portugal foram criados instrumentos que promovem apoio económico para a implementação das medidas que visam a redução do consumo energético destacando-se os seguintes planos de ação:

- **PNAEE** – Plano Nacional para a Eficiência Energética;
- **PNAER** – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;
- **ECO.AP** – Plano para implementar nos organismos e serviços pertencentes à Administração Pública.

Relativamente ao programa ECO.AP, de acordo com a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 [2], pretende que os edifícios pertencentes à administração pública alcancem um nível de eficiência energética na gama dos 30%, até ao ano de 2020 [1].

Para que estes objetivos sejam alcançados está a ser implementado no nosso país, um Barómetro de Eficiência Energética, cujo principal objetivo é comparar e divulgar o desempenho energético da Administração Pública, promovendo a competição entre as entidades públicas, divulgando permanentemente o ranking de desempenho energético dos serviços e organismos pertencentes ao Estado. [1] Estes resultados serão divulgados através de uma bateria de indicadores de eficiência energética.

Enquadrando esta questão da necessidade de redução de consumos energéticos e tendo em conta o atual contexto de crise económica que Portugal atravessa, muitos municípios não conseguem suportar a manutenção dos seus serviços, pelo que tem uma necessidade urgente em reduzir os seus consumos e custos energéticos.

1.1. Contextualização

Na última década, com o auxílio de Fundos Europeus, mais concretamente o FEDER, muitos municípios do Interior Português, recorreram a esse fundo para investir na construção de edifícios desportivos, nomeadamente Piscinas Cobertas. No entanto, estes investimentos, na sua maioria, revelaram-se prejudiciais para as finanças destes mesmos municípios, pelo que é necessário reduzir os seus custos com a sua manutenção.

Com base nesta necessidade e enquadrando com o princípio de eficiência energética, surgiu a ideia de desenvolver uma tese de mestrado, de modo a que surjam soluções para a redução dos consumos e custos energéticos do edifício que contém as piscinas cobertas municipais de Armamar, recorrendo para tal, às tecnologias de simulação energética e também ao diagnóstico energético realizado no local.

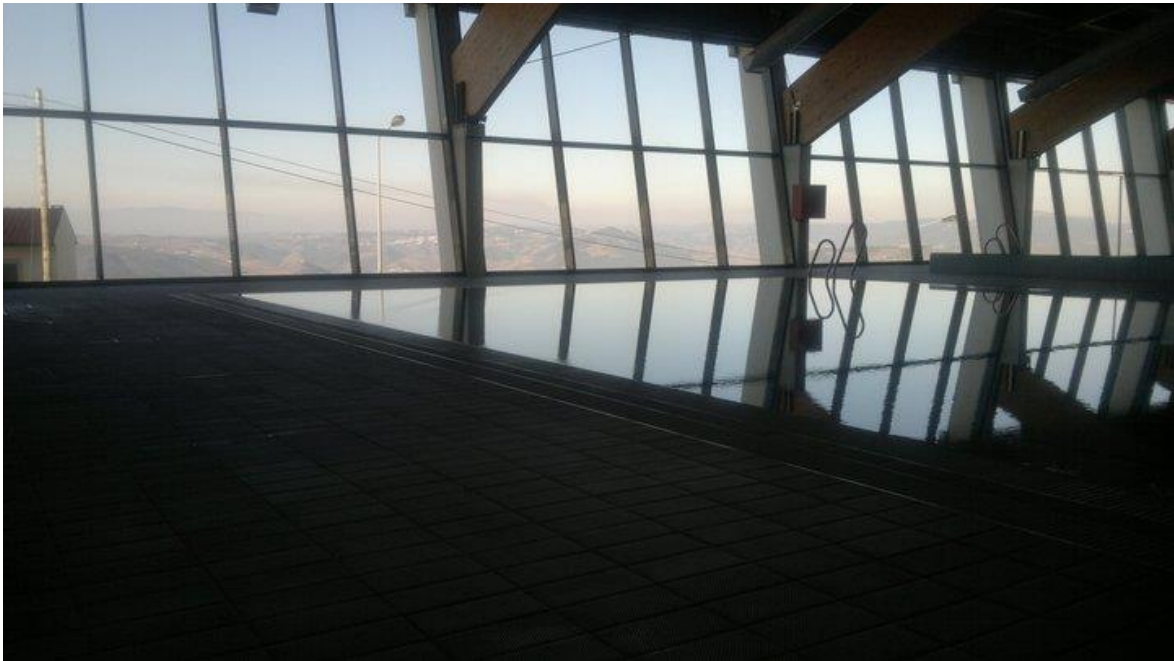


Figura 1: Piscinas Cobertas Municipais de Armamar

1.2. Objetivos

Este trabalho teve como principais objetivos os seguintes itens:

- Realização de um Diagnóstico Energético às Piscinas Cobertas Municipais de Armamar;
- Modelação Energética do edifício em estudo e analisar a sua viabilidade;
- Sugerir possíveis soluções de redução dos consumos e custos energéticos, com base no diagnóstico realizado no local, garantindo os mesmos padrões de qualidade aos seus utilizadores.

1.3. Organização do Relatório

Esta dissertação foi organizada da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo, foi introduzido a temática da eficiência energética de edifícios, enquadrado com o caso de estudo em análise. Além disso, foram descritos os principais objetivos desta dissertação.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Neste ponto, analisaram-se todos os trabalhos de investigação realizados na área dos diagnósticos energéticos a piscinas cobertas, assim como a legislação portuguesa vigente nesta área, destacando-se o Decreto- Lei n.º 118/2013 e analisou-se a norma portuguesa que rege o cálculo das perdas térmicas em piscinas, sendo esta a NP 4448.

Além deste enquadramento legislativo, analisaram-se os principais programas informáticos de modelação energética, mais detalhadamente o *software EnergyPlus*.

Capítulo 3 – Diagnóstico Energético ao Edifício: Caracterizou-se o edifício em estudo, com base na sua localização geográfica, as suas características arquitetónicas e seu perfil de funcionamento.

Além desta caracterização, efetuou-se a contabilidade energética deste edifício, com base nas faturas, referentes aos anos de 2012 e 2013 das fontes de energia utilizadas, que são: a eletricidade e o gás propano. Através desta análise, determinou-se qual era a fonte de energia que era mais utilizada pelas ditas piscinas cobertas.

Com os dados retirados durante a visita às instalações, efetuou-se o possível diagnóstico energético e identificaram-se quais eram os focos onde se consumia mais energia. Na dita visita, também se identificaram algumas falhas técnicas e construtivas no dito edifício.

Capítulo 4 – Modelação Energética: Foi descrita a metodologia da modelação energética adotada, utilizando para tal as seguintes ferramentas informáticas: *Google Sketchup 7.0* em interface com o *OpenStudio 1.0.11*, de modo a que este edifício fosse introduzido no *software* de modelação energética *EnergyPlus 8.1.0*.

Além disso foram analisados os valores dos consumos energéticos obtidos pela simulação efetuada no *EnergyPlus*.

Finalmente estes valores, foram comparados com os valores médios discriminados nas faturas dos anos de 2012 e 2013 e com esta análise, foi possível determinar se é válido ou não o modelo virtual.

Capítulo 5 – Melhorias a Implementar: Foram propostas medidas de redução dos custos e consumos energéticos do edifício em estudo, com base no diagnóstico energético efetuado.

Além disso, foi efetuada uma análise de viabilidade económica a estas medidas sugeridas, de modo a concluir se o município tem vantagens energéticas e económicas com a implementação das ditas propostas.

Capítulo 6 - Conclusões: Nesta secção foram analisadas as principais conclusões deste trabalho e sugestões para o desenvolvimento de trabalho futuro deste caso de estudo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Enquadramento Legal e Normativo

No último ano de 2013, houve uma alteração legislativa no que toca à regulamentação do desempenho energético dos edifícios. Neste último pacote legislativo, além de analisar o desempenho energético dos edifícios e promovendo assim a eficiência energética dos mesmos este vem englobar num único diploma, o Sistema de certificação energética dos edifícios (SCE), o Regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) e o Regulamento do desempenho energético dos edifícios de comércio e de serviços (RECS). Assim sendo este novo pacote legislativo, promove a harmonização conceptual e terminológica e a facilidade de interpretação por parte dos destinatários das normas.

Outra novidade que este novo pacote legislativo traz em relação ao anterior (Decreto-Lei n.º 79/2006) é que este aglutina num só diploma, uma matéria que anteriormente estava regulamentada em três. [2]

Feita esta pequena introdução sobre o enquadramento legal deste trabalho, em seguida apresentam-se sob a forma sintetizada, os decretos-lei que serão abordados ao longo do desenvolvimento deste trabalho prático.

2.1.1. Decreto – Lei n.º 118/2013

Este documento, apresenta de uma forma geral o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços.

Este Decreto – Lei, transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativamente ao desempenho energético dos edifícios.

O organograma abaixo, representa o modo como está especificado o sistema de certificação de energética dos edifícios.

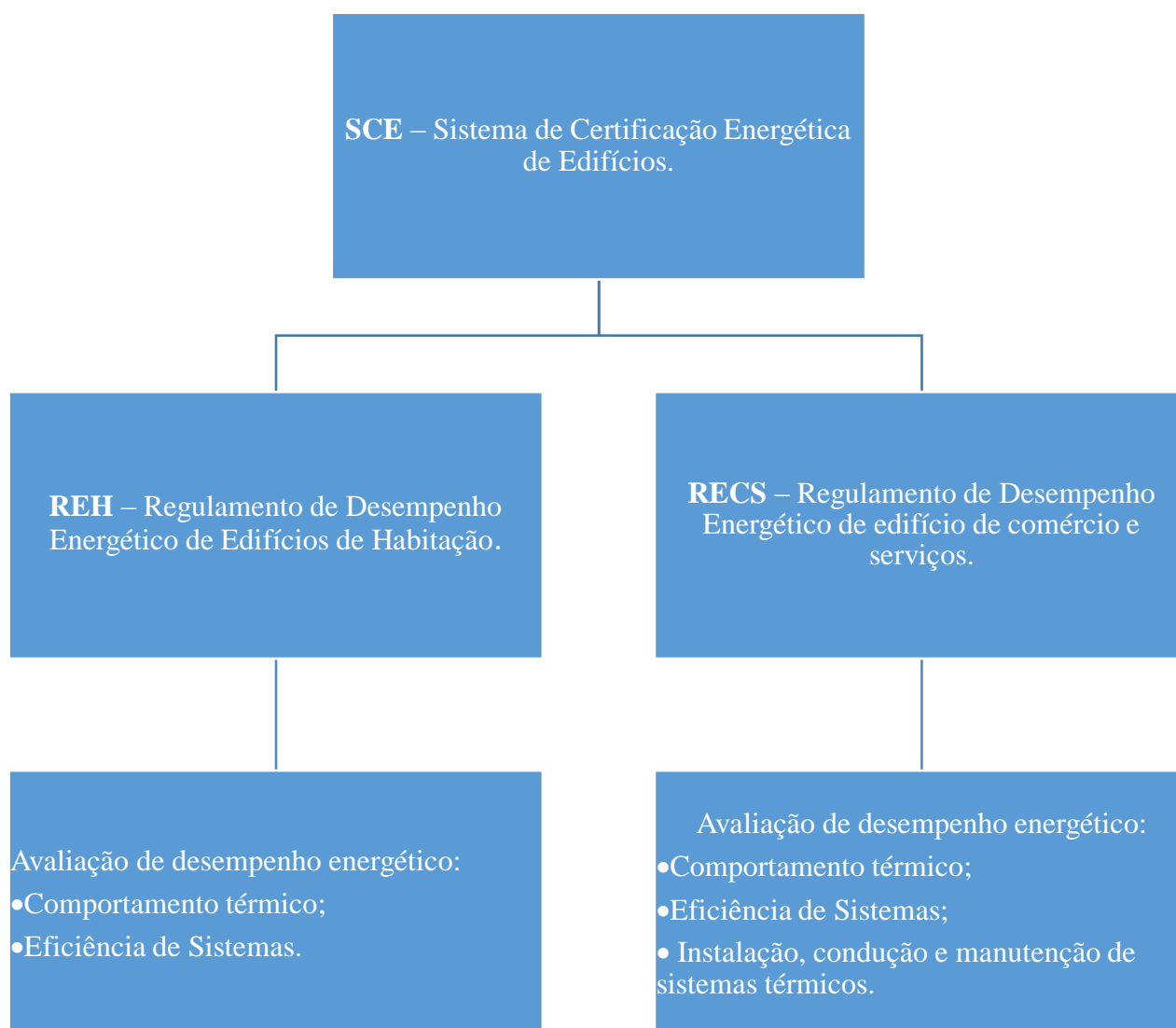


Figura 2: Organograma contendo o modo como é estruturado o SCE.

2.1.2. Portaria n.º 349 – B/2013

Nesta portaria, são estabelecidas regras de metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, para edifícios de habitação (REH), pelo que não será abordado em grande detalhe neste texto, uma vez que o edifício em estudo corresponde a edifícios de comércio e serviços (RECS).

2.1.3. Portaria n.º 349-D/2013 – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções.

Estabelece normas de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes.

Neste texto, apenas vão ser expostos os itens relativos ao desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS).

a) Indicador de Eficiência Energética

O cálculo do indicador de eficiência energética, é o seguinte:

$$IEE = IEE_s + IEE_T - IEE_{ren} \quad (1)$$

Em que IEE_s , representa os consumos de energia que são considerados para efeito de cálculo da classificação energética do edifício; IEE_T , representa os consumos de energia que não são considerados para o cálculo da classificação energética do edifício; IEE_{ren} , representa a produção de energia elétrica ou térmica com base nas energias renováveis.

A expressão que determina os consumos de energia que são considerados para efeito de cálculo da classificação energética do edifício vem exposto na seguinte equação:

$$IEE_s = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{s,i} \times F_{pu,i}) \quad (2)$$

Em que A_p , representa a área útil do pavimento, expresso em m^2 ; $E_{s,i}$, representa o consumo de energia por fonte de energia i , para os usos do tipo s , expresso em kWh/ano; $F_{pu,i}$, representa o fator de conversão.

A equação que representa os consumos de energia que não são considerados para o efeito de cálculo da classificação energética do edifício é o seguinte:

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{T,i} \times F_{pu,i}) \quad (3)$$

O significado dos membros desta expressão numérica, são semelhantes à expressão anterior.

Para a determinação da produção de energia renovável, a equação é a seguinte:

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{ren,i} \times F_{pu,i}) \quad (4)$$

Os membros pertencentes a esta equação tem o mesmo significado que a expressão (2).

Relativamente às parcelas relativas a usos de aquecimento e arrefecimento ambiente, humidificação e desumidificação, aquecimento de águas sanitárias, aquecimento de águas de piscinas, a expressão numérica é a seguinte:

$$E_{s,i} = \sum_{n=ns} \left(\sum_k \frac{f_{n,k} \times Q_n}{\eta_{n,k}} \right) \quad (5)$$

Em que $E_{s,i}$ representa a fonte de energia; $f_{n,k}$, representa a fração das necessidades de energia para o uso n supridas pelo sistema k; Q_n , representa as necessidades de energia para o uso n; $\eta_{n,k}$, representa a eficiência do sistema k, servindo o uso n.

As necessidades de energia relativa à preparação da água quente e sanitária, vem expressa na seguinte equação:

$$Q_a = \frac{(C_{aqs} \times 4,187 \times \Delta T)}{3600} \quad (6)$$

Em que Q_a , representa a energia global necessária para a preparação de AQS, expresso em kWh/ano; C_{aqs} , representa o consumo anual de AQS, expresso em l/ano; ΔT , representa o aumento da temperatura necessário à preparação de AQS.

As necessidades de energia relativa à iluminação vem expresso na seguinte equação:

$$E_{si} = \sum_{n=ns} \sum_k f_{n,k} \times W_{n,k} \quad (7)$$

Em que $W_{n,k}$, representa o consumo de energia do equipamento ou sistema k na hora h, expresso em kWh.

Para os edifícios de comércio e serviços (RECS), existem três tipos de indicadores de eficiência energética que são:

- **IEE Previsto (IEE_{pr})** – o qual procura traduzir o consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício;
- **IEE Efetivo (IEE_{ef})** – traduz o consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia, e/ou alternativamente considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia;
- **IEE de Referência (IEE_{ref})** – Tenta traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Para determinar os indicadores de eficiência energética previsto (IEE_{pr}) e efetivo (IEE_{ef}), existem três métodos, que são:

- **Método de previsão do IEE_{pr} por simulação dinâmica multizona** – Este método deve ser realizada por programa acreditado pela norma ASHRAE 140, o qual deve ter no mínimo capacidade para modelar: mais do que uma zona térmica; com um incremento horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas; A variação horária das cargas térmicas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos. Neste caso em estudo não foi possível determinar este indicador de eficiência energética;
- **Método de previsão do IEE_{pr} por cálculo dinâmico simplificado** – Deve ser determinado por base num balanço de energia numa base horária, conforme a norma EN ISO 13790, para a estimativa das necessidades de energia em aquecimento e em arrefecimento. Esta estimativa, é feita através de cálculo anual simples;
- **Método de determinação do IEE_{ef} por consumo efetivo** – por este método, o IEE_{ef} é calculado a partir do consumo médio anual da energia final, por fonte de energia, expresso em kWh, e tendo em conta o respetivo fator de conversão para energia primária, e a área interior útil de pavimento.

b) Qualidade térmica da Envolvente

Os valores do coeficiente de transmissão térmica máximas admissíveis para a envolvente opaca, vem expressa na seguinte tabela.

Tabela 1: Coeficiente de transmissão térmica máximas para a envolvente opaca

Elementos da zona corrente da envolvente	Zona Climática		
	I ₁	I ₂	I ₃
Elemento opaco vertical	1,75	1,60	1,46
Elemento opaco horizontal	1,25	1,00	0,90

Para os vãos envidraçados, vem expresso na seguinte tabela.

Tabela 2: Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados

V ₁	V ₂	V ₃
0,56	0,56	0,50

2.1.4. Portaria n.º 353 – A/2013

Nesta portaria, analisa-se os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação.

a) Caudais de ar novo previstos nos RECS

Para a ventilação natural, existem três tipos de métodos de determinação de caudais de ar novo, que são:

- Método Base

- Método Simplificado
- Método Condicional

Para a ventilação mecânica a determinação de caudal de ar novo a introduzir nos espaços, vem expresso na seguinte equação:

$$Q_{AN,f} = \frac{Q_{AN}}{\varepsilon_v} \quad (8)$$

Em que $Q_{AN,f}$, representa o caudal de ar novo corrigido, expresso em m^3/h ; ε_v , representa a eficácia de remoção dos poluentes; Q_{AN} , representa o caudal de ar novo, expresso em m^3/h .

A tabela abaixo representa os valores da eficácia para diferentes métodos de ventilação.

Tabela 3: Eficácia de remoção de poluentes

Configuração da distribuição de ar na zona	ε_v
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8m/s e alcance até 1,4m do pavimento (nota: para velocidades mais baixas, $\varepsilon_v = 0,8$)	1
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8m/s, tenha um alcance de 1,4m ou mais, em relação ao pavimento.	1
Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

2.1.5. Despacho (extrato) n.º 15793- D/2013

Neste regulamento, estabelece os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades anuais de energia primária.

Os fatores de conversão entre energia final e energia primária a utilizar na determinação das necessidades anuais de energia primária de edifícios de habitação e do indicador de eficiência energética (IEE) de edifícios de serviços são:

- $F_{pu} = 2,5 \text{ kW}_{hep}/\text{kWh}$ para eletricidade, independente da origem;
- $F_{pu} = 1 \text{ kW}_{hep}/\text{kWh}$ para combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis;
- No caso de energia térmica de origem renovável, o fator F_{pu} toma o valor de $1 \text{ kW}_{hep}/\text{kWh}$;
- Na determinação das emissões de CO_2 associadas ao consumo de energia nos edifícios, os fatores de conversão de energia primária para emissões de CO_2 são expresso na tabela.

Tabela 4: Fator de conversão de energia primária para emissões de CO_2

Fonte de Energia	Fator de Conversão [kgCO_2/kWh]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL (garrafas)	
Renovável	0,0

2.1.6. Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013

Decreta os parâmetros do zoneamento climático e respetivos dados.

O zoneamento climático do país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais (sigla NUTS) de nível III, cuja composição por municípios é baseado no Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 abril de 2008.

No caso em estudo, o concelho de Armamar está inserido no zoneamento climático do Douro.

2.1.7. Despacho (extrato) n.º 15793- I/2013

Regulamenta os métodos de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes e sanitárias (AQS) e necessidades nominais anuais de energia primária.

2.1.8. Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013

Decreta os parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram este despacho.

Os parâmetros térmicos são:

- Coeficiente Global de transferência de calor;
- Coeficiente de Transmissão Térmica superficial;
- Coeficiente de transmissão térmica linear;
- Coeficiente de absorção da radiação solar;
- Fator de utilização de ganhos;
- Quantificação da Inércia térmica;
- Fator solar dos vãos envidraçados;
- Fator de obstrução da radiação solar;

- Fração envidraçada;
- Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados;
- Coeficiente de redução de perdas;
- Taxa de renovação do ar.

2.1.9. Despacho (extrato) n.º 15793- L/2013

Determina o apuramento da viabilidade económica da utilização de uma determinada medida de eficiência energética, prevista no âmbito de um plano de racionalização energética.

Estas medidas que se encontram condicionados 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;
- O período de retorno simples (PRS), seja igual ou inferior a 8 anos.

O PRS, determina-se pela seguinte expressão matemática.

$$PRS = \frac{\text{Custos de Investimento}}{\text{Poupança anual da medida em estudo}} \quad (9)$$

2.1.10. Norma Portuguesa 4448

De acordo com a Norma Portuguesa 4448, que corresponde ao Aquecimento Solar, Instalações Solares Térmicas, Regras de Dimensionamento, Conceção e Instalação de Piscinas, que regulamenta os cálculos das cargas térmicas para todo o tipo de piscinas. [3]

Consequentemente para o cálculo das cargas térmicas para uma piscina, deve conter os seguintes parâmetros a considerar: A temperatura ambiente do ar; velocidade do vento e humidade relativa, sendo estes os parâmetros mais significativos para este cálculo e com

menor importância podem-se considerar os seguintes fatores: turbulência causada pelos nadadores, condução pelo solo e adição de água para compensação de perdas da piscina.

a) Perdas térmicas por evaporação

Para as perdas térmicas por evaporação para piscinas interiores, depende e muito da velocidade do ar na superfície da piscina, pelo que a expressão numérica é:

$$q_e = (5,64 + 5,96 v_s)(P_w - P_{enc}) \quad (10)$$

Em que q_e , corresponde á taxa de evaporação, expresso em MJ/m².dia; v_s , corresponde à velocidade do ar na superfície da piscina, expresso em m/s. Os valores variam entre 0,02 m/s e 0,05 m/s. P_w , corresponde à pressão do vapor saturado, medidos em KPa e P_{enc} , corresponde à pressão de vapor saturado no ar circundante da piscina, medido também em KPa.

Para o cálculo da pressão parcial de vapor saturado no ar circundante, recorre-se à seguinte expressão numérica:

$$P_a = \frac{P_w \times HR}{100} \quad (11)$$

Em que P_a , corresponde á pressão parcial do vapor, expresso em kPa; HR , corresponde à humidade relativa e P_w , corresponde ao valor da pressão do vapor saturado da água, medido em KPa. O valor de P_w , depende da temperatura da água, pelo que pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$P_w = 0,004516 + 0,0007178 T_w - (2,649 \times 10^{-6})T_w^2 + (6,944 \times 10^{-7})T_w^3 \quad (12)$$

Em que T_w , corresponde à temperatura da água, expresso em .°C.

b) Perdas térmicas por radiação

O cálculo das perdas térmicas por radiação pode ser expresso pela seguinte equação:

$$q_r = \frac{24 \times 3600}{10^6} \varepsilon_w \sigma (T_w^4 - T_s^4) = 0,086 \times \varepsilon_w \times h_r (T_w^4 - T_s^4) \quad (13)$$

Em que q_r , corresponde ás perdas térmicas por radiação, expresso em MJ/m².dia; ε_w , corresponde a emitância de grande comprimento de onda de água, que para este caso seja de 0,95; σ , corresponde à constante de Stefan-Boltzman, cujo valor é de $5,67 \times 10^{-8}$ W/(m².K⁴). As temperaturas da água e da superfície, vão ser expresso em Kelvin. O valor de h_r , corresponde o coeficiente de transmissão de calor por radiação, em watts por metro quadrado e grau Kelvin, que se determina através da seguinte expressão numérica:

$$h_r = \sigma(T_w^4 - T_s^4)(T_w - T_s) \cong 0,086 \times \left(\frac{T_w + T_s}{2}\right)^3 \quad (14)$$

Em que T_s , corresponde à temperatura das paredes das piscinas, medidas em graus Kelvin. De notar que no caso de piscinas cobertas, o valor de T_s , é igual a T_{enc} .

c) Perdas térmicas por convecção

A expressão que determina as perdas térmicas por convecção para as piscinas interiores, é a seguinte:

$$q_c = 0,086 \times (3,1 + 4,1 \times v)(T_w - T_a) \quad (15)$$

Em que q_c , corresponde ás perdas térmicas por convecção, expresso em MJ/m².dia; v , corresponde à velocidade do vento a uma altura 0,3 metros acima da superfície da piscina, expresso em m/s; T_w , corresponde à temperatura da água em °C; T_a , corresponde à temperatura do ar em °C.

d) Perdas térmicas pela adição da água para compensação de perdas das piscinas

A expressão que determina as perdas térmica pela adição da água é a seguinte:

$$Q_{mku} = m_{evap}c_p(T_{mku} - T_w) \quad (16)$$

Em que Q_{mku} , corresponde ás perdas térmicas devidas à adição de água, expresso em MJ/m².dia; m_{evap} , corresponde à taxa de evaporação diária, expresso em kg/m².dia; c_p , corresponde ao calor específico da água a pressão constante, expresso em J/kg.°C; T_{mku} , corresponde á temperatura da água injetada, expresso em °C.

A determinação da taxa de evaporação diária, é efetuada pela seguinte equação:

$$m_{evap} = \frac{q_c}{h_{fg}} \quad (17)$$

Em que m_{evap} , corresponde à taxa de evaporação diária, expresso em kg/m².dia, q_c , corresponde às perdas térmicas por convecção, expresso em MJ/m².dia, h_{fg} , representa o calor latente de vaporização, em MJ/kg.

2.2. Consumo Energético em Piscinas Cobertas

De acordo com *Wooley et al.* [4], fornece as bases para a conceção de sistemas de arrefecimento que removem o calor proveniente da envolvente da piscina, sendo baseado num melhor entendimento dos mecanismos que monitorizam o desempenho energético dos sistemas de climatização da dita envolvente. Tendo em conta esta análise, de acordo com estes autores as poupanças energéticas para o sistema de climatização para piscinas cobertas, deviam vir de três mecanismos, que são: [4]

- Melhorar a transferência de calor no condensador, uma vez que a permuta de calor é mais eficaz em água do que em ar;
- Baixar a temperatura da envolvente térmica que engloba a piscina coberta, sendo válido apenas em situação de arrefecimento;
- Redução dos consumos energéticos com o aquecimento da água da piscina.

A chave para adquirir a dita redução dos consumos energéticos, de acordo com estes autores, seria equilibrar a remoção de calor do espaço a ser arrefecido com o aquecimento das águas da piscina, garantindo que a temperatura das águas se mantenha constante.

Segundo *Triantri-Stourna et al* [5]., defende que os consumos dos edifícios desportivos, mais concretamente piscinas cobertas, difere significativamente dependendo dos seguintes fatores: a localização, tipo e utilidade. Para climas continentais, o consumo específico médio das piscinas cobertas está na gama 5200 kWh/m². Já para climas mediterrânicos, onde se

insere Portugal, os consumos específicos de uma piscina coberta está na gama 4300 kWh/m². [5]

Estes autores, referem também que os custos de energia num edifício com esta tipologia ronda os 30% dos custos de manutenção, [5] sendo a sua origem térmica, mais especificamente para o aquecimento da envolvente e da água e elétrica, que é utilizada para o aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e funcionamento dos equipamentos. A distribuição deste mesmo consumo, de acordo com este artigo, é o seguinte:

- 45% para a ventilação da envolvente onde está localizada a piscina coberta;
- 33% para o aquecimento da água da piscina;
- 10% para o aquecimento e ventilação do restante edifício;
- 9 % para a eletricidade para funcionar o equipamento e iluminação;
- 3 % para o abastecimento de água.

As perdas térmicas de um edifício com estas configurações, segundo estes autores, depende da configuração do edifício, características operacionais, do perfil de funcionamento do edifício, o tipo de combustível utilizado para fornecer água quente às piscinas, em conclusão a sua eficiência operacional. [5]

Para melhorar o desempenho energético de piscinas cobertas, seria de acordo com estes autores, baixando a temperatura da envolvente térmica que contém as piscinas, fazendo com que a taxa de evaporação seja mais baixa, reduzindo o consumo de combustível utilizado para aquecer as águas das piscinas, mantendo um caudal de ar de remoção constante. O caudal de remoção recomendado seria na gama dos 10 m³/h.m² da superfície da piscina, fazendo com que haja 5 renovações de ar por hora. [5]

Já *Lazzarin et al.*, diz que grande percentagem dos consumos energéticos de piscinas cobertas públicas se devem ao aquecimento das águas e à desumidificação do espaço, sendo a percentagem destes consumos à volta dos 75%. [6]

Estes autores, sugerem que aumentando a humidade relativa, reduz-se a taxa de evaporação das piscinas, pelo que para diminuir o consumo de combustível que garante o aquecimento destas águas, seria uma medida de melhoria do desempenho energético de um edifício com

esta tipologia, pelo que a gama recomendada de modo a efetuar a dita redução seria entre os 50 e 70%, garantindo na mesma o conforto térmico dos utilizadores. [6]

Outra medida de melhoria de eficiência energética, proposta por estes autores seria que no sistema de ventilação da envolvente térmica das piscinas, este contivesse permutadores de calor entre o ar de exaustão e o ar novo antes da bomba de calor. Outra medida, seria que a temperatura do ar fosse igual à temperatura das águas das piscinas. [6]

A taxa de evaporação das águas das piscinas cobertas, segundo *Asdrubali*, é função de várias variáveis tais como, temperatura da água, temperatura do ar, humidade relativa, a velocidade do ar, assim como o número de ocupantes neste tipo de espaço. [7]

2.3. Modelação Energética em Edifícios

Para o diagnóstico e modelação energética dos edifícios, existem programas de informática de simulação dinâmica de edifícios, dos quais se destacam os mais utilizados nesta área de diagnósticos energéticos de edifícios:

- **Trnsys (Transient System Simulation Tool)** – É um *software* bastante interativo baseado em sistemas transientes. Esta linguagem programática além de efetuar simulações do comportamento térmico e elétrico dos edifícios, tem a vantagem de simular outros sistemas dinâmicos que pertençam ao edifício em estudo. Tendo em conta a vasta atuação deste programa informático, este é de bastante difícil de manusear, pelo que foi excluída para utilização da modelação energética deste edifício em estudo.
- **OpenModelica** – É um *software* que é constantemente desenvolvido pela *The Modelica Association* sendo uma linguagem programática grátis e de código aberto. Este *software*, serve para modelar sistemas complexos: mecânicos, elétricos, hidráulicos, térmicos, controlo dinâmico, entre outros. A razão pela rejeição deste programa para simular este edifício, deveu-se ao facto de os códigos para simulação térmica não terem funcionado corretamente em ambiente Windows 8.0.
- **EnergyPlus** - é um *software* informático, que foi criado a partir dos softwares *BLAST* e *DOE-2* e que é distribuído pelo departamento de energia dos Estados Unidos. Este

programa computacional, foi concebido de modo a poder simular as cargas térmicas e posterior análise energética dos edifícios e dos seus sistemas integrados. Para o desenvolvimento deste projeto, este foi o programa escolhido, uma vez que é bastante utilizado nesta área dos diagnósticos energéticos e também reproduz resultados bastante similares com os consumos energéticos dos edifícios a serem simulados.

Em seguida vai-se falar com mais detalhe sobre o programa escolhido para simular o comportamento energético das Piscinas Municipais de Armamar.

2.3.1. *EnergyPlus*

As vantagens do *EnergyPlus*, relativamente aos outros programas informáticos de simulação dinâmica são os seguintes: [8]

- Solução simultânea e integrada em que a resposta do edifício e os seus sistemas primário e secundário estão acoplados;
- Intervalos de tempo definidos pelo utilizador;
- Ficheiros de entrada, saída e climática que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias e os relatórios padrões reajustáveis pelo utilizador, de modo a poder analisar apenas os dados energéticos essenciais à análise que se quer fazer;
- As soluções são baseadas nos balanços energéticos de cada zona a considerar na simulação, o que permite determinar simultaneamente os efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, em cada intervalo de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos de cada zona térmica tais como paredes, tetos, pisos, etc., utilizando funções de transferência, modelos de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bolbo seco, humidade;
- Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janelas, controlo da luz do dia, assim como determina a iluminância interior, etc.

Além disto, o *EnergyPlus* integra vários módulos que trabalham em simultâneo para determinar a energia requerida para aquecer ou arrefecer um determinado edifício utilizando uma variedade de sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A

base da simulação está no modelo do edifício que utiliza os princípios fundamentais de um balanço energético.

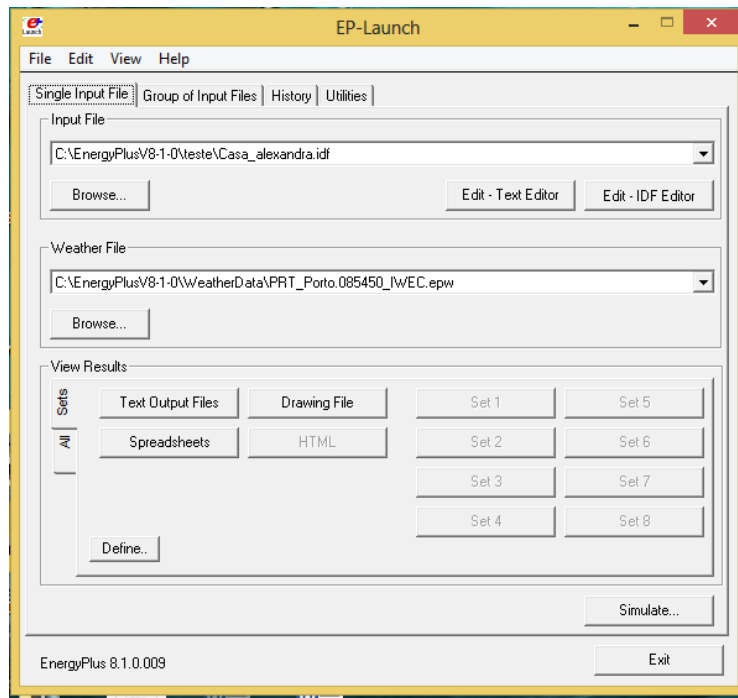


Figura 3: Janela de Entrada do *EnergyPlus* 8.1

A versão utilizada para efetuar as simulações energéticas deste edifício é a versão 8.1.

a) Fundamentos Teóricos por detrás do *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é uma ferramenta informática que consiste numa compilação de vários programas informáticos, que trabalham em conjunto de modo a determinar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. Além disso, esta ferramenta informática determina estas mesmas necessidades através de uma simulação do edifício associado às condições ambientais em que este está inserido.

Na figura 4 é apresentado o modo como este *software* associa os diferentes programas informáticos de modo a podermos efetuar a simulação do edifício e consequentemente as necessidades de aquecimento e de arrefecimento deste.

Descrição da figura, o que faz cada módulo, pode ser uma lista com os módulos e para o que serve cada um.

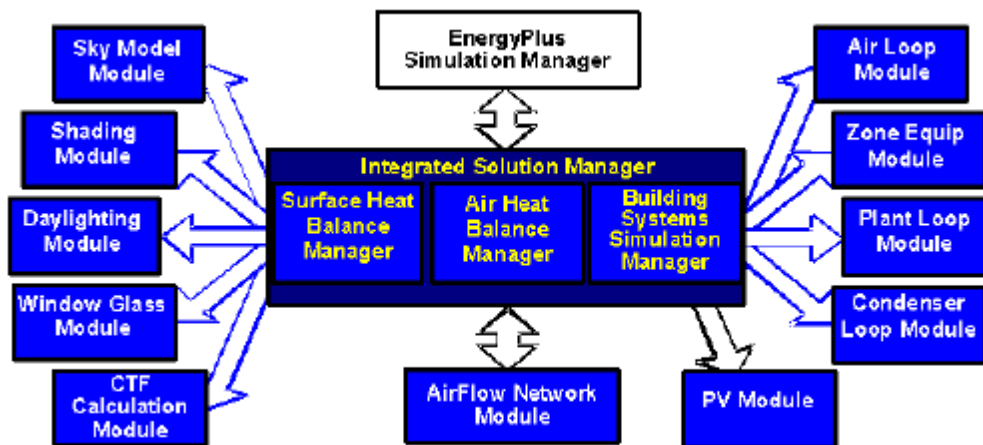


Figura 4: Esquema de funcionamento do *EnergyPlus*. [8]

Mas como todas as ferramentas informáticas, esta também tem por detrás equações matemáticas de modo a que estas simulações sejam efetuadas.

Para as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um determinado edifício, esta ferramenta informática utiliza um processo iterativo, de modo a que os cálculos estejam mais próximos da realidade (isto é, que tenham o mínimo de erros possíveis comparado com os valores obtidos pelas medições efetuadas no local). A seguir, apresenta-se o método iterativo que esta ferramenta utiliza para o cálculo destas necessidades.

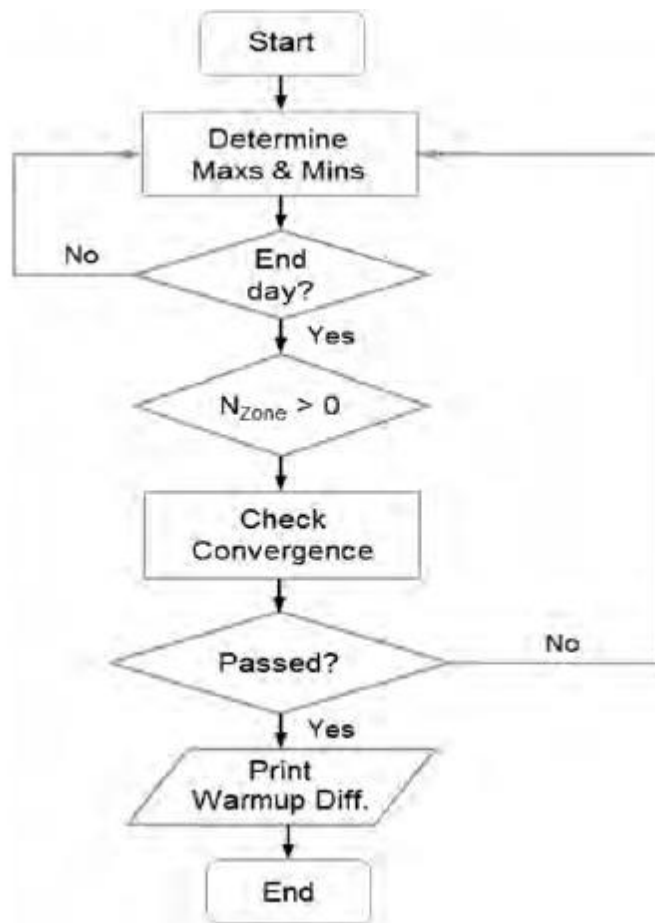


Figura 5: Processo iterativo que o *EnergyPlus* utiliza para determinar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento. [8]

De referir que o *EnergyPlus* é um simulador integrado. Isto significa que as três partes que compõe este simulador, ou seja, o edifício e conceção dos sistemas de AVAC, são simulados em simultâneo. Ferramentas informáticas semelhantes a este não fazem esta simulação integrada, por outras palavras, simulam individualmente estes componentes energéticos de um dado edifício, o que torna este programa uma ferramenta poderosa nos diagnósticos energéticos de um dado edifício.

Esta simulação sequencial, começa com a determinação das necessidades de aquecimento/arrefecimento de um dado edifício durante o intervalo de tempo determinado pelo utilizador. Em seguida, determina as necessidades de ar novo e ventilação do edifício em estudo, mas este cálculo não afeta o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Para que a simulação seja o mais próximo da realidade, os elementos pertencentes a esta simulação tem de estar ligadas devidamente. O programa pode ser representada numa série

de elementos funcionais ligadas através de circuitos onde circula o fluido e estes fazem a interligação de um elemento funcional para o outro, conforme representa na figura abaixo.

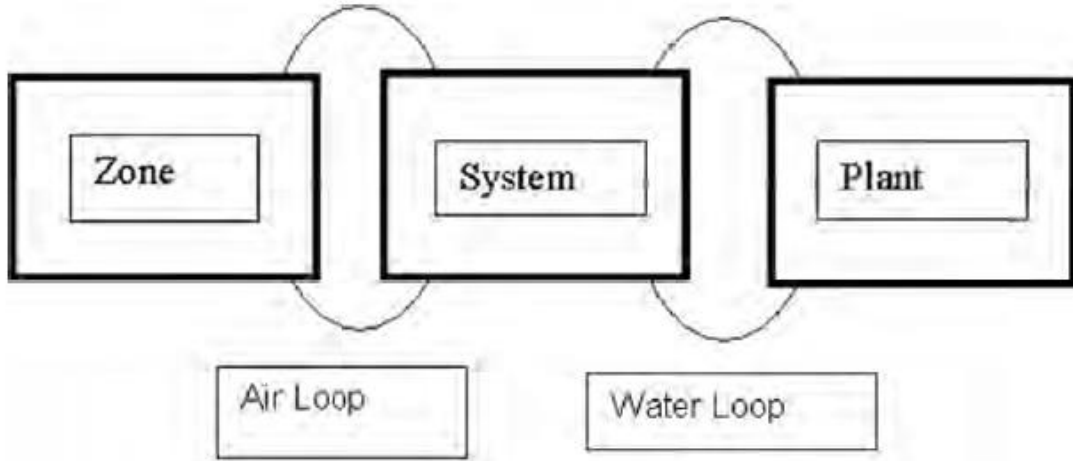


Figura 6: Esquema do funcionamento de uma simulação simultânea. [8]

Em seguida, apresenta-se a expressão numérica que determina os balanços energéticos e mássicos das necessidades de ventilação de uma zona de um determinado edifício. Esta equação é solucionada através do processo iterativo demonstrado na Figura 6.

$$C_z \frac{dT_x}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_s) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_{pi} (T_{si} - T_s) + m_{inf} \dot{C}_p (T_{\infty} - T_s) + Q_{sistema} \quad (18)$$

Em que:

- $C_z \frac{dT_x}{dt}$ - Energia armazenada do ar;
- $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ - Corresponde ao somatório dos ganhos internos por convecção;
- $\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_s)$ - Transferência de calor por convecção nas superfícies de cada zona;
- $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_{pi} (T_{si} - T_s)$ - Transferência de calor da mistura de ar de múltiplas zonas;
- $m_{inf} \dot{C}_p (T_{\infty} - T_s)$ - Transferência de calor do ar exterior;

- $\dot{Q}_{sistema}$ – Saída do ar do sistema.

Determinação do C_z :

$$C_z = \rho_{ar} C_p C_T \quad (19)$$

Em que,

- ρ_{ar} – corresponde à densidade do ar;
- C_p – calor específico do ar;
- C_T – fator de multiplicação do calor sensível.

Para a resolução do método iterativo da simulação dos consumos energéticos de um edifício, o *EnergyPlus* possui três métodos numéricos que são: Método de Euler, resolução de equações diferenciais de 3.ª ordem e Solução analítica. [8]

Para os sistemas AVAC, a equação que esta ferramenta utiliza para simular estes sistemas são:

$$\dot{Q}_{sistema} = \dot{m}_{sistema} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (20)$$

Onde,

- $\dot{m}_{sistema}$ – corresponde ao caudal mássico do ar;
- C_p – Calor específico do ar;
- T_{sup} – Temperatura da superfície do sistema a ser simulado;
- T_z - temperatura desejada para cada espaço a ser simulado

Para regular e implementar o sistema AVAC no edifício a ser simulado, o *EnergyPlus*, utiliza a seguinte equação diferencial:

$$\dot{Q}_{ganhos} = \sum_{i=1}^{N_{SL}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) \quad (21)$$

Em que,

- $\sum_{i=1}^{N_{SL}} \dot{Q}_i$ – Corresponde ao somatório dos ganhos internos por convecção;
- $\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_s)$ – Transferência de calor por convecção nas superfícies de cada zona;

- $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_{pi} (T_{si} - T_s)$ – Transferência de calor da mistura de ar de múltiplas zonas;
- $\dot{m}_{inf} \hat{C}_p (T_\infty - T_s)$ – Transferência de calor do ar exterior.

De referir que T_z , é a temperatura desejada para cada espaço a ser simulado. Também se assume que nesta modelação matemática, que as renovações de ar devem ser especificadas para cada zona, de modo a satisfazer os requisitos da mesma (ou seja, $Q_{sistema} = Q_{ganhos}$). Este método é conhecido como sendo o balanço energético previsto para cada zona. De referir que este método não é o rigoroso para determinar as necessidades de ar para um dado espaço. Neste programa existem imensos modelos matemáticos para simular os diferentes parâmetros energéticos de um determinado edifício, mas como se pode verificar nesta pequena amostra, todas as modelações dinâmicas foram baseadas em equações fundamentais da Termodinâmica e de Transferência de Massa. **[8]**

3. Diagnóstico Energético ao Edifício

Nesta secção vai ser efetuado um diagnóstico energético às Piscinas Municipais de Armamar e detetar os principais elementos consumidores de energia deste edifício.

3.1. Caracterização do Edifício

As piscinas municipais de Armamar, pertencem à empresa Armamar Investe Mais E.M. e foi inaugurado no ano de 2009. O surgimento deste complexo de piscinas, deveu-se sobretudo aos fundos europeus FEDER de modo a que os municípios pudessem ter infraestruturas de modo a que incentivassem a população local a praticar desporto.

Este edifício localiza-se em Armamar na Rua Dr. Fausto José, concelho de Armamar, a uma altitude de 570 m e a uma distância à costa cerca de 150 km, inserido na seguinte zona climática, de acordo com o decreto-lei n.º 118/2013 [2]:

- Zona Climática: I2, V3
- Número de Graus Dia: 1764
- Duração da estação de aquecimento: 6,9 meses
- Temperatura média exterior na estação de arrefecimento: 22,7 ° C (dados do LNEG)



Figura 7: Imagem Satélite das Piscinas Municipais de Armamar

3.1.1. Descrição Arquitetónica

As piscinas cobertas de Armamar estão localizadas em apenas num único edifício. Além das piscinas, este edifício alberga uma cafetaria e cozinha que não estão em funcionamento no momento da visita às instalações.

Este edifício possui seis fachadas, sendo duas orientadas a nordeste, duas orientadas a sudeste, duas orientadas a sudoeste e duas orientadas a noroeste.

Possui dois tanques cobertos e aquecidos, durante todo o ano o que permite a iniciação, a aprendizagem e a prática de natação. A estrutura interna destas instalações permite a articulação de diferentes áreas de apoio, distinguindo a circulação de atletas ou banhistas de pé calçado ou descalço.

Este edifício possui três pisos: piso 0, o piso -1 e o piso -2.

O acesso às instalações situa-se no piso 0, onde se encontra o átrio e receção deste espaço. Além disto, possui a circulação para os restantes pisos deste edifício, uma cozinha, uma cafetaria, as bancadas para o público, os vestiários para os funcionários e para o público, uma dispensa/armazém e também os escritórios para a direção administrativa e uma sala para os professores.

No piso -1, localizam-se os dois tanques para a prática da natação, os acessos aos restantes pisos, o lava-pés, os balneários e vestiários para os monitores e para os utentes, a sala dos monitores e de primeiros socorros, as instalações sanitárias e a saída de emergência.

No piso -2, existe a circulação para os diferentes circuitos, o acesso ao piso -1, as áreas técnicas, os vestiários dos funcionários deste edifício e os tanques de compensação.

Relativamente às áreas técnicas, que como foi mencionado no parágrafo anterior, estão localizados no piso -2 do edifício em estudo. Nestas áreas, estão localizados a central térmica e o tratamento de águas.

A central térmica é constituída por 2 caldeiras alimentadas a gás propano, cujo objetivo é aquecer as águas da piscina. Nesta central, está localizada todo o circuito de fornecimento e aquecimento da água proveniente da rede a alimentar os vários componentes deste edifício. É de referir que também neste edifício possui todo o equipamento proveniente dos coletores solares, cujo propósito serve para a aquecer as águas para as instalações sanitárias.

A zona técnica que contém o tratamento de águas, possui filtros que removem as partículas provenientes da água fornecida pela rede, bombas para fornecer a água aos dois tanques, sendo os circuitos de fornecimento de água independentes. Além das bombas e dos filtros, na zona de tratamento de águas existem tanques agitadores contendo o cloro, o regulador de pH e floculante que são fornecidos aos dois tanques através de um painel de controlo. Além destes componentes, nesta zona existem um sistema de segurança de sucção, dois tanques de compensação para cada um dos tanques e um dispositivo contendo radiação ultravioleta e permutadores de calor que fazem ligação à central térmica.

3.1.2. Funcionamento e Ocupação do Edifício

O edifício em estudo, possui a seguinte divisão:

- Cafetaria;
- Ginásio;
- Nave das Piscinas;
- Gabinetes Administrativos.

O horário de funcionamento destas instalações é o seguinte:

- Segunda à Sexta: 10 às 21 horas.

- Sábados: 9 às 12 horas.

De salientar que este edifício não se encontra em atividade nos meses de Julho, Agosto e Setembro.

3.1.3. Visita às Instalações

Para proceder a um diagnóstico de avaliação das condições de utilização de energia, foi necessário efetuar uma visita às instalações que decorreram no dia 5 de junho de 2014, com o objetivo de medir os consumos energéticos deste edifício.



Figura 9: Vista Lateral das Piscinas Municipais de Armamar (continuação).



Figura 8: Vista Lateral das Piscinas Municipais de Armamar.

Em primeiro lugar, mediram-se os consumos energéticos dos equipamentos localizados na área técnica deste edifício que está localizada no piso -2. Nesta divisão, encontram-se as duas caldeiras que fornecem o gás propano para o aquecimento das águas das piscinas, dois depósitos que contêm água aquecida pelos painéis solares que servirão as águas quentes e sanitárias e as bombas que fornecem a água quente para os diferentes compartimentos deste edifício.

Uma das primeiras observações que se efetuaram logo ao entrar no edifício é que as paredes possuem bastante humidade.



Figura 10: Humidade Existente nas paredes do edifício.

Outra observação que se efetuou logo ao entrar na zona técnica é que as caldeiras funcionam intermitentemente. Por outras palavras durante um curto período de tempo, mais concretamente num espaço temporal de 15 minutos, arrancava uma caldeira e em seguida arrancava a outra. Uma das caldeiras possuía pouca pressão, pelo que se colocou a questão ao técnico a razão pela qual a origem deste problema, ao que este respondeu que as caldeiras nunca foram limpas nem nunca fizeram uma manutenção adequada a estes equipamentos. Além disso, uma das caldeiras já esteve avariada, sendo substituída apenas a peça que impedia o funcionamento normal desta caldeira, sendo esta a única operação de manutenção conhecida até então a estes equipamentos.

Relativamente às bombas que fornecem as águas quentes para os diversos compartimentos deste edifício, não possuíam manómetros para ler a pressão manométrica de cada uma. Apenas possuíam termostatos que mediam as temperaturas das águas que circulavam nestes circuitos. O único manómetro que este circuito possuía era à saída das caldeiras.

De referir que o contador que lia os consumos de gás propano, se encontrava na altura lacrado.

Uma última observação relativamente à visita à área técnica destas piscinas em estudo, é que os filtros da piscina de competição e o sistema de desinfeção das águas das ditas piscinas estão avariados.



Figura 11: Leitores de Temperatura de uma das bombas que fornece águas quentes ao edifício em estudo.

Outra constatação que se verificou após esta visita, era que o sistema de climatização apenas funcionava nas zonas dos balneários e na nave das piscinas, sendo que o sistema de climatização que fornece as restantes divisões deste edifício se encontrava na altura fechado.

Relativamente ao sistema elétrico as lâmpadas que garantem a iluminação do edifício são: lâmpadas fluorescentes com balastro eletrónico e na nave das piscinas, possui lâmpadas de sódio arranque normal.

No quadro elétrico principal deste edifício, verificou-se que este município já tomou medidas de poupança de consumos energéticos no que toca ao consumo de eletricidade.

3.2. Consumos Energéticos

Para este edifício, apenas se fez uma análise aos consumos energéticos referentes aos anos de 2012 e de 2013. As suas necessidades energéticas são apenas garantidas por duas fontes energéticas: gás propano e eletricidade.

3.2.1. Consumos Energéticos Anuais

Nas tabelas abaixo, apresentam-se os consumos e custos energéticos anuais dos anos de 2012 e 2013, assim como o consumo e custo energético médio destes dois anos. De salientar que o valor do fator de conversão de kWh para tep, de acordo com o despacho n.º 17313/2008

[18], para a eletricidade é de $2,16 \times 10^{-6}$ e para o gás propano, utilizou-se a seguinte expressão numérica:

$$PCI\left(\frac{tep}{t}\right) = \frac{PCI\left(\frac{MJ}{kg}\right)}{41,868} \quad (22)$$

Onde PCI , corresponde ao poder calorífico inferior do combustível, expresso em tep/t; PCI , corresponde ao poder calorífico inferior do gás, expresso em MJ/kg. Para o gás propano o valor do PCI é de 46,33 MJ/kg. Efetuando o cálculo acima mencionado, o valor de PCI é de 1,106 tep/t. O fator de conversão de m^3 para kWh, para o gás propano é cerca de 33,44.

A tabela 5, apresentam os consumos e custos energéticos referentes ao ano de 2012.

Tabela 5: Consumo e Custos Energéticos referentes ao ano de 2012

Forma de Energia	2012											
	Consumo Anual de Energia						Custo Anual de Energia					Emissões GEE
	Aquisição											
	Quantidade	Unidade	GJ	%	tep	%	€	%	€/unidade	€/GJ	€/tep	tCO ₂ e
Eletricidade	243622	kWh	877,04	21	52,38	45,18	32623	32	0,13	37,20	622,83	32,62
Gás Propano	28073	m ³	3289,05	79	78,57	54,82	68796	68	0,08	20,92	875,57	155,32

Na tabela 6, apresentam os valores dos consumos energéticos referentes ao ano de 2013.

Tabela 6: Consumo e Custos Energéticos referentes ao ano de 2013

Forma de Energia	2013											
	Consumo Anual de Energia						Custo Anual de Energia					Emissões GEE
	Aquisição											
	Quantidade	Unidade	GJ	%	tep	%	€	%	€/unidade	€/GJ	€/tep	tCO ₂ e
Eletricidade	264750	kWh	953,1	24,79	56,92	42,54	37312	36,82	0,14	39,15	655,50	35,08
Gás Propano	24986	m ³	2891,4	75,21	73,82	57,46	64013	63,18	0,08	22,14	926,73	64,01

Na tabela 7, apresentam-se os valores dos consumos energéticos médios dos dois anos analisados.

Tabela 7: Média dos Consumos e Custos Energéticos dos últimos dois anos

Forma de Energia	Média dos 2 anos											
	Consumo Anual de Energia						Custo Anual de Energia					Emissões GEE
	Aquisição											
	Quantidade	Unidade	GJ	%	tep	%	€	%	€/unidade	€/GJ	€/tep	tCO ₂ e
Eletricidade	254186	kWh	1830,64	23	54,65	42,54	34967	34	0,14	19,10	639,84	33,85
Gás Propano	26529,5	m ³	6180,97	77	73,82	57,76	66404	66	0,08	10,74	899,51	109,66

Observando os resultados, verifica-se que há um aumento ligeiro no consumo de eletricidade de 2012 para 2013, assim como há um decréscimo do consumo do gás propano para estes dois anos citados.

Ao efetuarmos esta análise dos consumos energéticos, verifica-se que os consumos médios anuais de energia deste complexo desportivo é de 128,47 tep, pelo que não está ao abrigo do SGCIE.

Na figura 12, apresenta-se um gráfico que mostra a distribuição dos consumos e custos anuais, para os anos em análise.

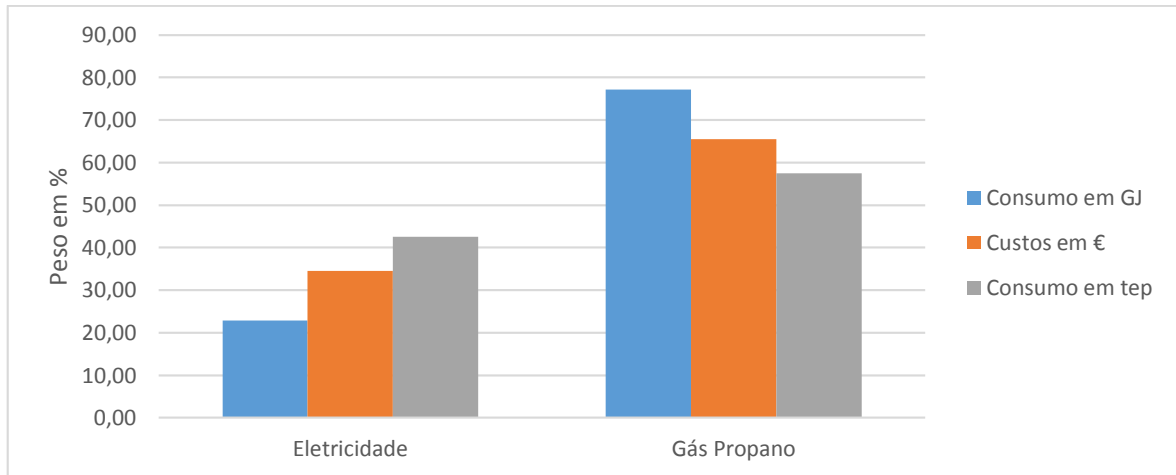


Figura 12: Distribuição dos Consumos e Custos Anuais (GJ, tep, €).

Ao analisar o gráfico acima exposto, pode-se dizer que grande parte dos consumos e custos energéticos se devem ao gás propano.

3.2.2. Consumos mensais por forma de Energia

Nesta secção, vão ser analisados os consumos mensais por forma de energia, referentes aos anos de 2012 e 2013.

Tabela 8: Consumos Mensais por forma de Energia para os anos de 2012 e 2013

Meses	2012				2013			
	Energia Elétrica		Gás Propano		Energia Elétrica		Gás Propano	
	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh
Janeiro	27518	0,115	173583	0,0753	26889	0,104	123822	0,0797
Fevereiro	26800	0,115	132654	0,0753	26914	0,104	112185	0,0797
Março	24137	0,115	82773	0,0753	32053	0,104	85666	0,0797
Abril	24373	0,115	101417	0,0753	29396	0,0932	99874	0,0797
Maio	24454	0,115	45421	0,0753	31409	0,0932	63518	0,0797
Junho	19567	0,115	43299	0,0753	9612	0,0935	16042	0,0797
Julho	3549	0,118	932	0,0753	4212	0,0935	0	0,0797
Agosto	2496	0,118	0	0,0753	2088	0,0935	0	0,0797
Setembro	13375	0,118	37577	0,0797	25329	0,0935	19898	0,0761
Outubro	18760	0,118	86952	0,0797	25329	0,0935	60175	0,0761
Novembro	31795	0,104	103378	0,0797	28539	0,0935	91806	0,0761
Dezembro	26798	0,104	105638	0,0797	22980	0,0935	130186	0,0761
Média/Dia	711	0,004	2503	0,003	725	0,003	2200	0,002
Média/Mês	21637	0,11	76135	0,08	22063	0,0961	66931	0,07
Desvio Médio	5736	0,0034	42241,3	0,002	8379	0,004	40326	0,002
Valor Máximo	31795	0,12	173583	0,0797	32053	0,104	130186	0,0797
Valor Mínimo	2496	0,10	0	0,0753	2088	0,0932	0	0,0761

Ao analisar a Tabela 8, conclui-se que o mês em que há maior consumo de energia elétrica por parte das piscinas municipais é o mês de novembro, para o ano de 2012 e o mês de março, para o ano de 2013. Relativamente ao consumo de gás propano, os meses de maior consumo são para o ano de 2012, o mês de janeiro e para o ano de 2013, é o mês de novembro.

Nas figuras abaixo, estão representadas a distribuição dos custos e consumos de energia mensais e anuais.

Na figura 13, representa a distribuição dos consumos e custos energéticos totais dos dois vetores energéticos utilizados neste edifício, referentes aos anos de 2012, 2013 e a sua média.

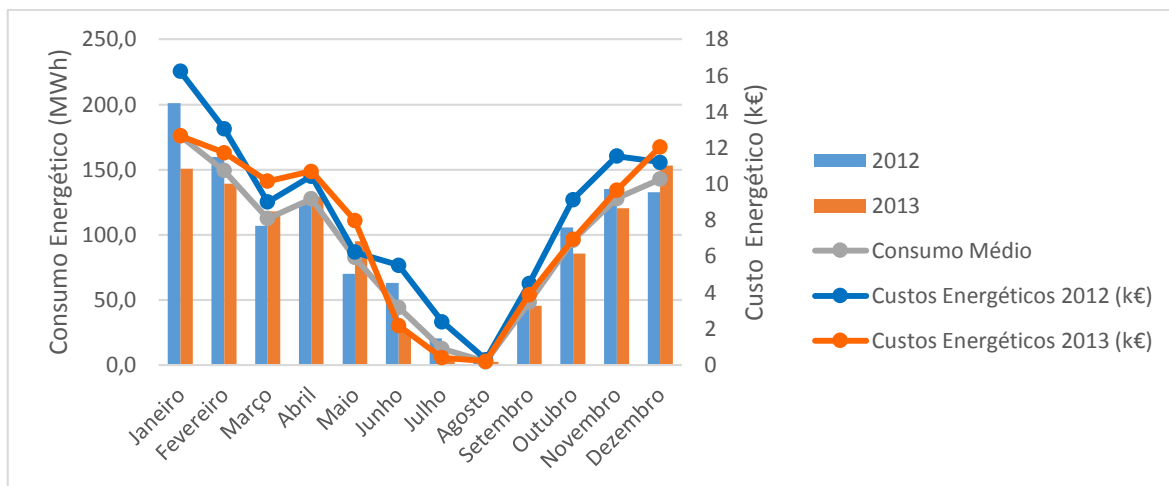


Figura 13: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Anuais

No gráfico representado na figura 13, verifica-se que no ano de 2012, mais especificamente nos meses de janeiro e junho, houve um consumo energético acima da média. Outra observação que se pode retirar da análise deste gráfico é que os custos energéticos deste edifício, no geral, baixam ligeiramente no ano de 2013 em relação ao ano de 2012.

A seguir, apresentam-se as distribuições dos consumos energéticos do gás propano para este edifício, referentes aos anos de 2012 e 2013, assim como a média destes dois anos.

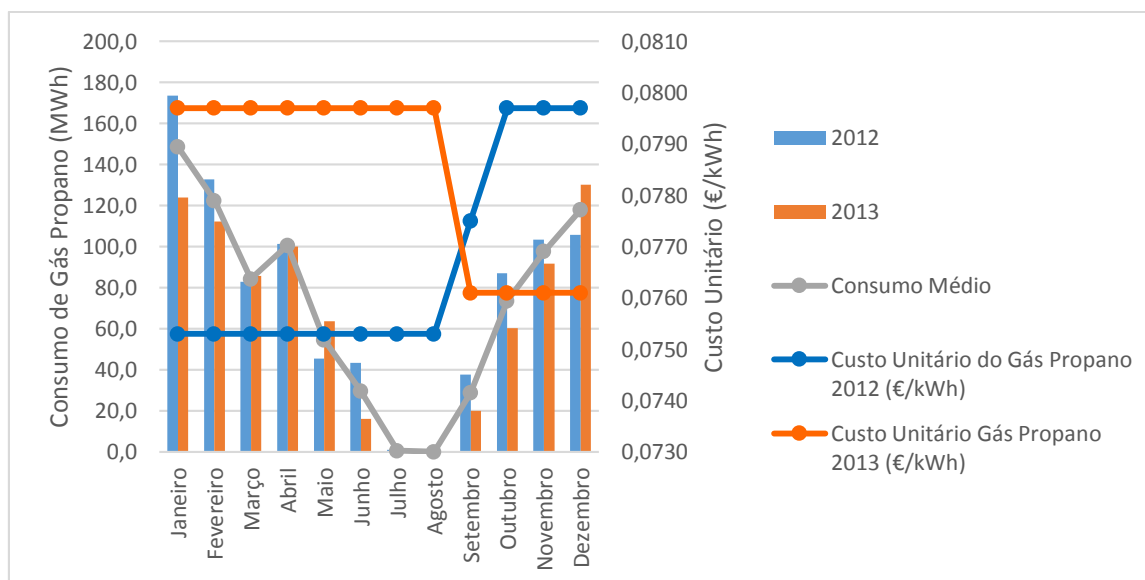


Figura 14: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Unitários do Gás Propano.

No gráfico da figura 14, relaciona os custos e os consumos energéticos do gás propano ao longo dos meses do ano. Ao analisar este gráfico, verifica-se um consumo acima da média, nos meses de janeiro e outubro de 2012.

Também vai ser apresentada uma figura, com os consumos energéticos anuais da energia elétrica para os anos de 2012 e 2013 e a média destes dois anos.

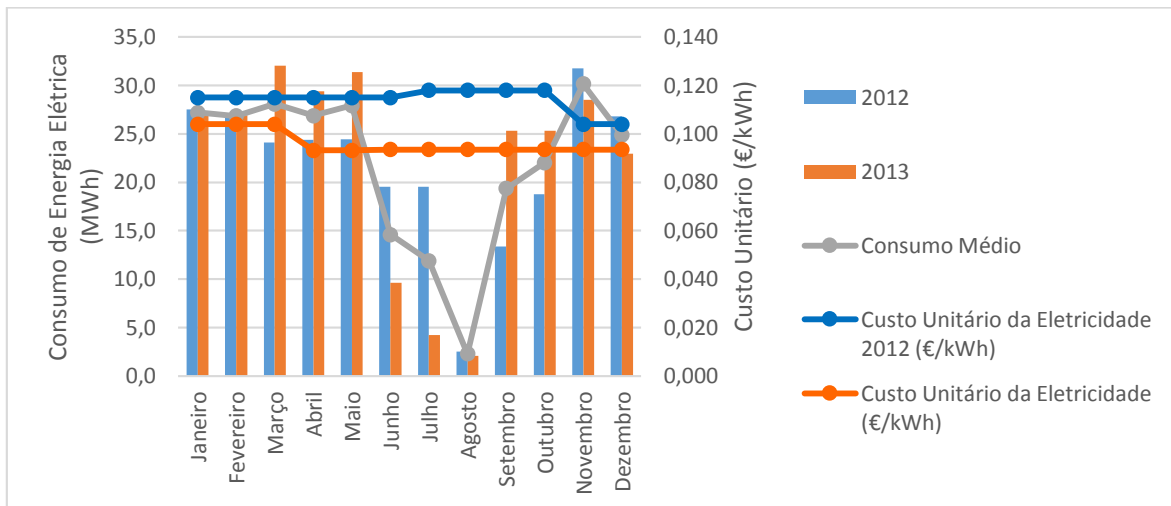


Figura 15: Distribuição dos Consumos e Custos Energéticos Unitários de Eletricidade.

Na figura 15, mostra a evolução do consumo energético e o seu respetivo custo ao longo dos meses do ano. Ao observar a figura acima, denota-se que para os meses de junho e julho de 2012, assim como, os meses de março, maio e setembro de 2013, os consumos estão muito acima da média.

3.2.3. Relação entre o consumo de Energia e a Temperatura Exterior

Nesta secção, vai ser apresentado a relação entre o consumo de energia e a temperatura exterior. Esta análise tem por objetivo analisar qual é a principal fonte dos consumos energéticos deste edifício. Por outras palavras, se os gastos energéticos estão relacionados com a localização da envolvente, se do número de pessoas, se dos ganhos internos (ou seja da utilização dos equipamentos).

Relativamente aos dados climatológicos do município de Armamar, estes foram conseguidos na base de dados da ferramenta informática *Solterm* versão 5.1.

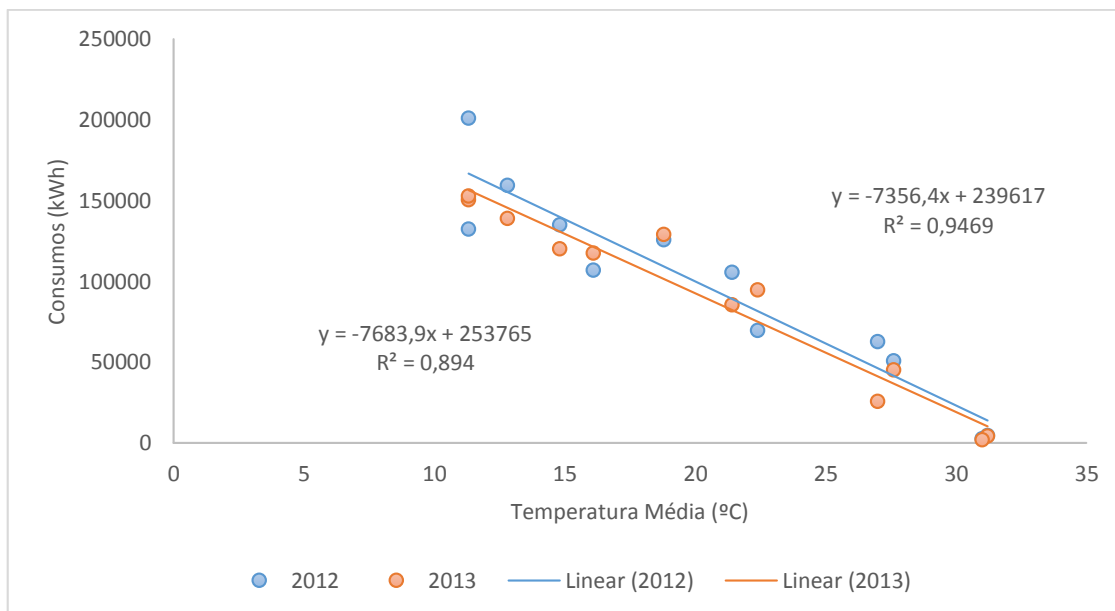


Figura 16: Relação entre os Consumos Energéticos e a Temperatura Média

Ao observar este gráfico representado na figura 16, que avalia a relação entre os consumos energéticos e a temperatura média e chega-se à conclusão de que quanto maior for a temperatura média exterior, menor são as necessidades energéticas deste edifício. Ao observar esta relação, esta está coerente com os valores consumos energéticos registados nas faturas da eletricidade e do gás propano.

Relativamente aos ganhos internos devido à ocupação, a empresa Armamar Investe Mais E.M., fornece a taxa média de ocupação diária semanal e do sábado. No entanto, não nos fornece a variação da taxa de ocupação semanal e do sábado ao longo dos meses de utilização deste edifício, pelo que não foi possível determinar a relação entre os consumos energéticos com a taxa de ocupação de modo a verificar qual era o fator que influenciava mais os consumos energéticos deste edifício, se a influência da temperatura média exterior ou se era a taxa de ocupação.

3.2.4. Indicador de Eficiência Energética Efetivo

De acordo com o método de cálculo exposto na secção 2.1.3 do presente texto, foi determinado o Indicador de Eficiência Energética deste edifício.

De modo a obter este indicador, foi necessário converter os vetores energéticos em unidades de energia primária por metro quadrado de área interior útil de pavimento ($\text{kW}_{\text{EP}}/\text{m}^2$), sendo o fator de conversão de kWh para kW_{EP} para a eletricidade de 2,5 e para o gás propano de 1.

Após essa conversão, tem de se somar estes dois consumos e dividir pela área útil interior de pavimento.

Nas tabelas em baixo apresentam-se os valores dos consumos energéticos da eletricidade e do gás propano e a respetiva conversão, para os anos de 2012 e 2013.

Tabela 9: Consumos Energéticos do gás propano e eletricidade e a respetiva conversão de kWh para kW_{EP} para os anos de 2012 e 2013

2012												
Gás Propano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Quantidade (kWh)	173583	132654	82773	101417	45421	43299	932	0	37577	86952	103378	105638
Quantidade (kW _{EP})	173583	132654	82773	101417	45421	43299	932	0	37577	86952	103378	105638
Eletricidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Quantidade (kWh)	27518	26800	24137	24373	24454	19567	3549	2496	13375	18760	31795	26798
Quantidade (kW _{EP})	68795	67000	60342,5	60932,5	61135	48917,5	8872,5	6240	33473,5	46900	79487,5	66995
2013												
Gás Propano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Quantidade (kWh)	123822	112185	85666	99874	63518	16042	0	0	19898	60175	91806	130186
Quantidade (kW _{EP})	123822	112185	85666	99874	63518	16042	0	0	19898	60175	91806	130186
Eletricidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Quantidade (kWh)	26889	26914	32053	29396	31409	9612	4212	2088	25329	25329	28539	22980
Quantidade (kW _{EP})	67222,5	67285	80132,5	73490	78522,5	24030	10530	5220	63322,5	63322,5	71347,5	57450

Na tabela abaixo, apresentam-se os valores dos indicadores de eficiência energética efetivo para os anos de 2012 e 2013.

Tabela 10: Indicadores de Eficiência Energética Efetivo para os anos de 2012 e 2013

2012	
Consumo Total Energético (kW_{EP})	1522679
Área Útil Interior de Pavimento (m²)	1366,19
IEE_{ef} (kW_{EP}/ m²)	1136,5
2013	
Consumo Total Energético (kW_{EP})	1465047
Área Útil Interior de Pavimento (m²)	1366,19
IEE_{ef} (kW_{EP}/ m²)	1072,4

A área útil de pavimento foi determinada através das somas das áreas interiores das zonas onde os sistemas de climatização atuam.

Ao observar os resultados expostos na tabela 10, verifica-se que no ano de 2013 o indicador de eficiência energética efetivo para este edifício baixou, o que indica que este edifício reduziu os consumos energéticos quer da eletricidade quer do gás propano, sem que no entanto afetasse o conforto dos seus utilizadores.

3.3. Análise de serviços auxiliares

3.3.1. Análise das condições de Alimentação e Distribuição de Energia Elétrica

Como já foi mencionado na secção referente à descrição dos circuitos elétricos, estas piscinas municipais são abastecidas pela empresa EDP, sob o regime de baixa tensão especial (sigla BTE).

A seguir, apresentam-se os consumos da energia ativa dos anos de 2012 e de 2013.

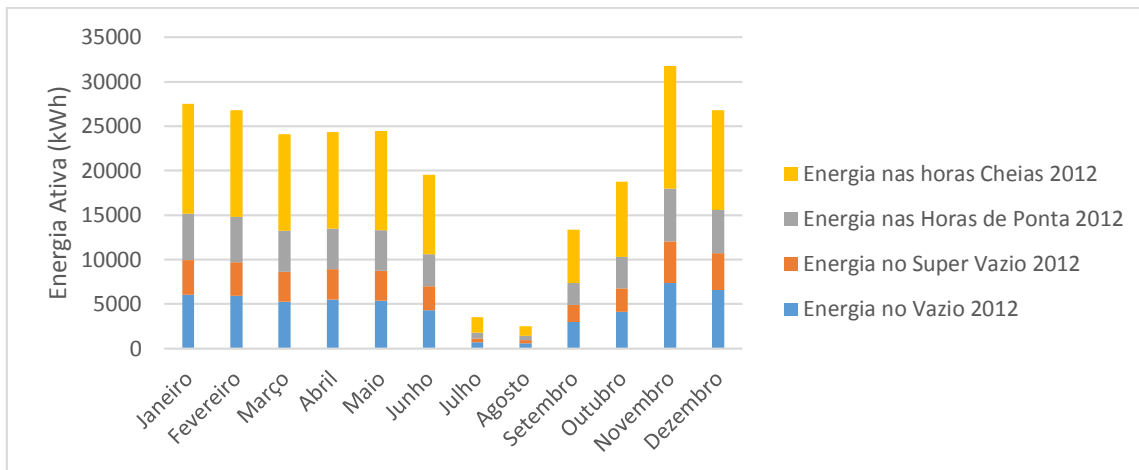


Figura 17: Consumo da Energia Ativa no ano de 2012.

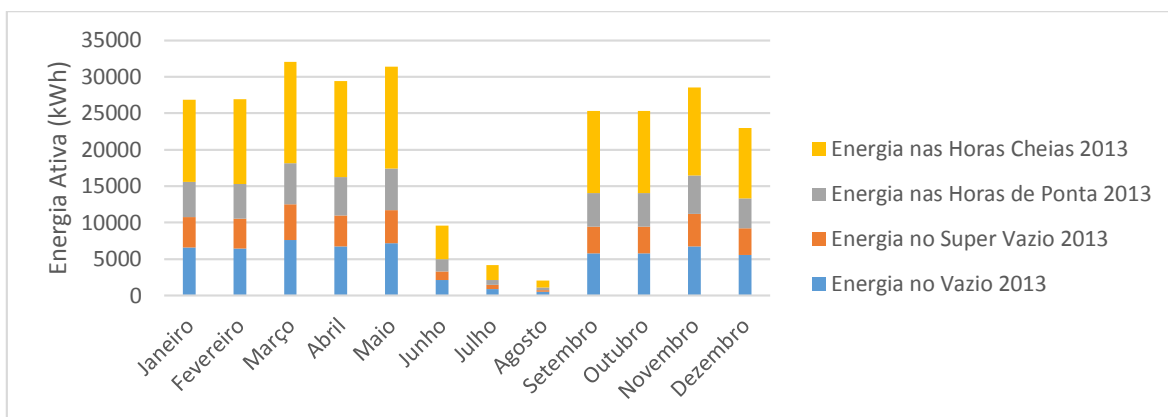


Figura 18: Consumos da Energia Ativa do ano de 2013.

Pode-se verificar que no ano de 2013, houve um aumento do consumo de eletricidade nas horas de vazio e super vazio e houve uma diminuição do consumo nas horas de ponta e de cheias. A razão pela qual desta diminuição destes consumos quer da energia reativa quer das horas cheias e de ponta, se deve ao facto de no quadro geral deste edifício, estar instalada um equipamento, que tem por objetivo reduzir os consumos energéticos, mais concretamente os consumos de eletricidade.

A seguir, apresentam-se o gráfico que relaciona a potência contratada versus potência de horas de ponta para os anos de 2012 e 2013.

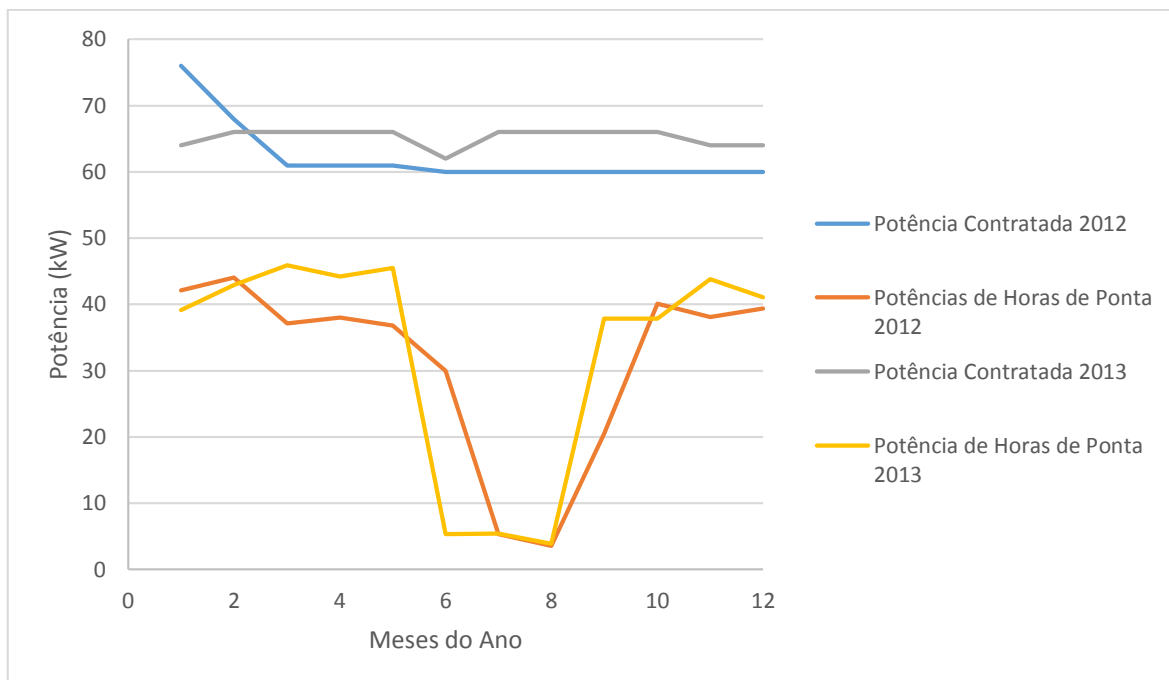


Figura 19: Relação Potência Contratada com a Potência de Ponta no ano de 2012 e 2013.

Pode-se verificar que nos meses em que a piscina que se encontra encerrada e também no período de Verão há uma quebra do consumo da potência em horas de ponta.

Com a análise deste gráfico, pode-se dizer que não é necessário aumentar nem diminuir a potência contratada, uma vez que de acordo com o que está estipulado na ERSE, a potência contratada para o regime de BTE é a potência máxima ativa média em kW, registada em qualquer intervalo interrupto de 15 minutos, durante os últimos 12 meses de consumo de energia elétrica. [19]

3.3.2. Análise das Condições da Utilização da Iluminação

Neste edifício, a iluminação interior engloba a iluminação de gabinetes, circulações internas, átrio, bar, instalações sanitárias, balneários, vestiários, ginásio e nave, sendo obtida através da combinação de luz natural difundida através dos envidraçados e luz artificial a partir das luminárias existentes.

Esta é garantida essencialmente por lâmpadas fluorescentes e de sódio arranque normal, de cor branca e amarela, cujas características destas luminárias estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 11: Características das Luminárias Presentes no Piso -2

Tipo de Luminária	N.º de Luminárias	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	N.º de horas ligado	E_{anual} (kWh)	Custo (€)
Phillips 1×TL-58 W	49	58	1,05	7	3236,45	4	2641	369,74

Tabela 12: Características das Luminárias Presentes no Piso -1

Tipo de Luminária	N.º de Luminárias	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	N.º de horas ligado	E_{anual} (kWh)	Custo (€)
Phillips Pacific 2×PL- C/2P18W	28	18	1,05	7	729	4	595,19	83,33
Phillips Pacific 1×TL-D 58W	46	58	1,05	7	3038	4	2479,3	347,1
Phillips Pacific 2×TL-D 58W	28	58	1,05	7	1849	4	1509,11	211,28
Phillips Indolight 2×TL-D 58W	6	58	1,05	7	396	4	323,38	45,27
Phillips Fugato Compact 1×PL- C/4P26W	11	26	1,05	7	375	4	305,63	42,79

Tabela 13: Características das Luminárias Presentes no Piso 0

Tipo de Luminária	N.º de Luminárias	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	N.º de horas ligado	E_{annual} (kWh)	Custo (€)
Phillips Pacific 2×PL-C/2P18W	6	18	1,05	7	729	4	127,54	17,86
Phillips Pacific 1×TL-D 58W	40	58	1,05	7	3038	4	2155,87	301,82
Phillips Pacific 2×TL-D 58W	22	58	1,05	7	1849	4	1185,73	166,00
Phillips Indolight 2×TL-D 58W	4	58	1,05	7	396	4	323,38	30,18
Phillips Fugato Compact 1×PL-C/4P26W	49	26	1,05	7	1668,45	4	1361,46	190,60
Phillips Garnera MPK 630 P-315×1 CDM T/70W/83260	6	70	1,05	7	546,35	4	445,82	53,50
Phillips Optiflood MVP 506 1×HPI-T250W	7	250	1,25	35	2004	4	1635,06	228,91
Phillips Optiflood MVP 506 1×HPI-T400W	9	400	1,25	35	3926	4	3023,82	448,53

No Anexo G, encontram-se os cálculos mais detalhados sobre os consumos destas luminárias. É de salientar que estes consumos não foram medidos no edifício em questão.

Na tabela abaixo, apresentam-se os somatórios dos consumos e custos anuais estimados das luminárias.

Tabela 14: Estimativa dos consumos e custos energéticos das luminárias existentes no edifício

Energia Consumida Anual (kWh)	18121
Custos Anuais (€)	2536,90

3.3.3. Análise das Condições, Produção e Distribuição de Água Quente

O aquecimento das águas das piscinas é efetuado por duas caldeiras que estão localizados numa zona técnica do piso -2 deste complexo desportivo. Para a distribuição da água quente na piscina, existe uma rede de bombas, válvulas e permutadores de calor, cuja planta deste circuito está exposta no Anexo B.

Assim sendo a água que sai das caldeiras vai ser distribuída por diferentes circuitos que são alimentadas pelas bombas que são as seguintes:

- Bomba das Piscinas;
- Bomba da UTA;
- Bomba das Águas Quentes e Sanitárias;
- Bomba Ar Piscinas;
- Bomba Salão.

A bomba que fornece águas quentes para as piscinas, vai ser separada em dois ramais de modo a fornecer água quente para a piscina de competição e para a piscina de aprendizagem. Em cada um dos ramais, existe um permutador de calor.

Quando a água quente passa pelo permutador de calor, vai fornecer água quente a cada uma das piscinas e para que estas mantenham a temperatura da água constante.

Quando a água das piscinas é removida, parte do caudal vai para um tanque de compensação e outra parte vai para o sistema de tratamento de águas.

As restantes bombas fornecem água quente para cada um dos sistemas de climatização instalados neste edifício, nomeadamente a UTA que fornece ar à piscina e desumidifica a envolvente, a UTA dos balneários e o complexo de radiadores existentes neste edifício e para a Unidade de tratamento de ar novo.

É importante salientar que o sistema de águas quentes sanitárias, parte do circuito é fornecido pelo complexo de painéis solares, existentes na cobertura deste edifício e parte é fornecido pela caldeira.

3.3.4. Produção de Águas Quentes Caldeira

Relativamente às caldeiras que estão em funcionamento, os seus dados técnicos e as suas pressões e temperaturas de operação, estão explícitos na tabela abaixo.

Tabela 15: Dados de operação das caldeiras das piscinas Municipais de Armamar

	Caldeira 1	Caldeira 2
Marca	Ferroli	Ferroli
Potência (kW)	180	180
Pressão (bar)	2	1,50
Temperatura (°C)	85	85

Com a medição dos gases de exaustão que saem da chaminé de cada uma das caldeiras, foi possível adquirir os seguintes dados. De referir, que os dados técnicos deste equipamento que mediu os gases de exaustão estão expostos no Anexo H.

Tabela 16: Dados retirados pelos analisadores de gases.

	Caldeira 1	Caldeira 2	Incerteza
T_{ar} (°C)	29	29	±1.°C
T_{gás} (°C)	126	251,5	±1.°C
Excesso de Ar	1,33	1,26	
O₂ (%)	5,2	4,25	±2,5%
CO (ppm)	0	3,5	
NO (ppm)	47	52	
NO_x (ppm)	49	55	
CO₂ (%)	10,5	11,2	±2,5%
η_{combustão} (%)	95,3	89,85	±2,5%

Não foi possível realizar um balanço energético completo às caldeiras devido aos seguintes fatores:

- O acesso ao depósito e contador de gás estava interdito, pelo que sem estes dados não se pode efetuar uma contabilização energética minimamente realista;
- A instalação não possuía equipamento que permitisse a medição dos caudais do gás propano que passavam nas caldeiras e o equipamento móvel que foi levado para efetuar o diagnóstico energético no local, não possuía a capacidade para medir os ditos caudais.

3.3.5. Produção Águas Quentes com os Painéis Solares

Para o aquecimento das águas quentes e sanitárias, existem uma rede de 40 painéis solares que estão localizados no teto do edifício e para o armazenamento das águas quentes, existe na área técnica do edifício dois depósitos contendo cada um o volume de 2000 l. A seguir, apresentam-se as imagens que mostram esses mesmos equipamentos mencionados em texto.



Figura 20: Painéis Solares e respetivo depósito de água quente

Os painéis solares instalados neste edifício, são da marca Zantia e o seu modelo é o ST-T-40/200 e as suas características técnicas, apresentam-se nas tabelas abaixo.

Tabela 17: Características Técnicas dos Painéis Solares modelo ST – 40/200

Dimensões (mm)	1940×940×100
Temperatura Máxima (°C)	200
Pressão Operativa máxima (bar)	6
Pressão máxima teste (bar)	9
Peso total (kg)	32
Volume máximo de líquido (l)	3
a₁ (W/m²/K)	3,6
a₂ (W/m²/K)	0,014

Tabela 18: Características Técnicas dos Painéis Solares modelo ST – 40/200 (continuação)

Tipo	Alumínio anodizado isento de emendas nos vértices uma única de união
Isolamento	Folha de alumínio de 03 mm
Estanqueidade	Borracha EPDM
Juntas de Fixação	Borracha EPDM
Cobertura	Vidro Temperado 4 mm
Fixação Painel traseira à carcaça	Soldadura por pontos
Ligação da tubagem ao exterior	¾’’
Diâmetro dos tubos Adutores	28 mm
Diâmetros dos tubos Ascensores	12 mm
Folha Absorsora	012 mm Cobre pintado a negro malte
Área Absorsor (m²)	171
Área Abertura (m²)	165
Área Total (m²)	188
Peso Líquido (kg)	32
Capacidade fluido (litros)	3
Pressão teste (bar)	9
Máxima Pressão de Serviço	6

Os dados retirados referentes ao sistema solar instalado no edifício, estão expostos na tabela 19.

Tabela 19: Dados retirados referentes ao sistema solar

Temperatura Operativa do Depósito 1 (°C)	61
Volume do Depósito 1 (l)	2000
Pressão Operativa do Depósito 1 (bar)	6
Pressão máxima do Depósito 1 (bar)	10
Temperatura Operativa do Depósito 2 (°C)	52
Volume do Depósito 2 (l)	2000
Pressão Operativa do Depósito 2 (bar)	6
Pressão Máxima do Depósito 2 (bar)	10
Temperatura de entrada da bomba que fornece água aos depósitos (°C)	86
Temperatura de saída da bomba que fornece água aos depósitos (°C)	79

Para além destes equipamentos expostos na tabela 19, existe um permutador de calor, uma bomba que provém do sistema de painéis solares e uma bomba que sai dos depósitos de água quente para o sistema AQS.

3.3.6. Análise das condições de Circulação de água no circuito principal das Piscinas

Como foi referido anteriormente, as águas quentes fornecem a piscina de competição, provém das caldeiras, instaladas na área técnica deste edifício.

No circuito de água quente deste edifício, após as caldeiras existem 5 bombas, que fornecem água quente para os diversos sistemas deste edifício. Ao efetuar a visita ao local, deparou-se que as ditas bombas, ao contrário do que estava exposto no projeto de central técnica, não possuíam manómetros, de modo a poder ser possível determinar o caudal de água quente que passava em cada bomba.

Se esse equipamento estivesse instalado nas bombas, seria possível registar os caudais mássicos de água quente que passavam em cada uma. Com esses dados registados, seria possível definir a sua curva característica para determinar o seu caudal.

Para contornar o problema, foi necessário efetuar medições dos consumos elétricos das bombas das piscinas deste edifício, utilizando para tal o diagrama de carga.

Na figura 21, está exposto o diagrama de carga referente à circulação da permuta das piscinas, que mede a variação de energia consumida ao longo do tempo. Este diagrama de carga foi obtido através da medição dos consumos energéticos no quadro das piscinas, no período de tempo entre 12 a 17 de junho de 2014, utilizando para tal pinças amperimétricas.

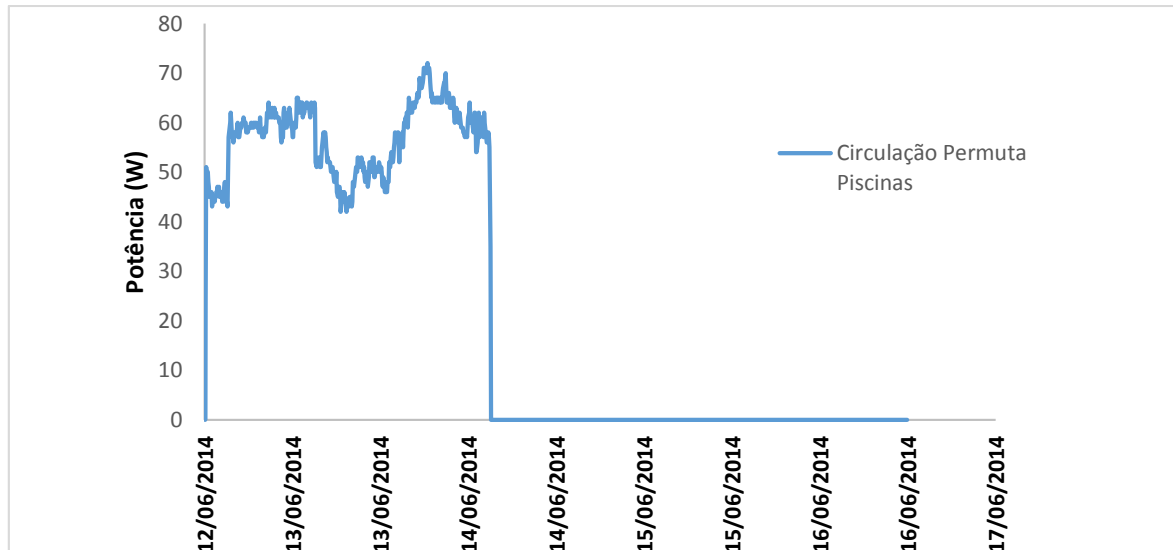


Figura 21: Diagrama de Carga para a Circulação da Permuta das Piscinas.

Ao observar o gráfico da figura 21, verifica-se que não houve grandes variações de consumos de energia na circulação da permuta das piscinas, entre os dias 12 e 14 de junho de 2014.

A partir do dia 15 de junho, não houve consumo de energia por parte das bombas que fornecem água quente às piscinas, uma vez que a partir deste dia este edifício se encontrava encerrado ao público.

Outra observação que se pode retirar deste gráfico, é que no dia 12 de junho, houve uma pequena quebra na medição dos consumos energéticos.

Para determinar o caudal mássico de água quente que passa na bomba que fornece as piscinas de competição e de aprendizagem, foi necessário requerer os dados técnicos dessa bomba e da sua curva da instalação de modo a ser possível relacionar a potência absorvida com o caudal.

Na tabela 20 está exposto os dados técnicos da bomba que fornece água quente às piscinas.

Tabela 20: Dados técnicos da bomba que fornece água quente às piscinas

Marca	Modelo	Velocidade de rotação (rpm)	Caudal nominal (m ³ /h)	Altura manométrica nominal (m)	Temperatura máxima (°C)	Pressão Máxima (bar)
Grundfos	96401967	2850	10,8	7,8	40	10

Com estes dados técnicos expostos na tabela 20, obteve-se a respetiva curva de instalação que está exposto no Anexo D.

Na tabela 21, está exposto o valor da potência absorvida da bomba que fornece as piscinas.

Tabela 21: Potência Absorvida da bomba que fornece água quente às piscinas

U _{médio das medições (V)}	238,2
I _{médio das medições (A)}	0,90
P _{absorvida (W)}	215

Recorrendo á curva de instalação, obteve-se o caudal mássico que passava na bomba das piscinas e cujo valor está exposto na tabela 22.

Tabela 22: Caudal mássico da bomba que fornece água quente ás piscinas

Caudal mássico (m ³ /h)	Densidade da água (kg/m ³)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)
4,2	971,8	4081,6	1,13

Com estes dados pode-se determinar a potência térmica da tubagem referente ao circuito desta bomba, cujo valor está exposto na tabela 23.

Tabela 23: Potência térmica na tubagem no circuito de água quente das piscinas.

Caudal mássico (kg/s)	Calor Específico da água [9] (kJ/kg.°C)	T _{ida} (°C)	T _{retorno} (°C)	Q (kW)
1,13	4,196	81	79	9,5

Não foi possível determinar os caudais de água quente que passam nas piscinas de competição e de aprendizagem, uma vez que não se encontraram condições no local para efetuar as ditas medições.

A seguir, apresentam-se os dados técnicos relativos aos permutadores instalados no circuito de água quente de cada uma das piscinas.

Tabela 24: Dados técnicos dos permutadores instalados nos circuitos de água quente da piscina de competição e de aprendizagem.

Marca	Cipriani
Série	478
Aspeto Placas	47
Pressão máxima de serviço (bar)	16
Temperatura de Serviço (°C)	126
Área de Permuta (m²)	0,482

Não foi possível determinar a eficácia e a potência térmica dos permutadores que estão instalados em ambas as piscinas. A razão pelo qual este cálculo não foi possível, deveu-se ao facto do desconhecimento dos caudais mássicos de entrada e de saída que passam em cada um dos permutadores aliado ao facto de se desconhecerem as temperaturas nos ditos permutadores, uma vez que ao efetuar a visita às instalações, estes equipamentos não possuíam termómetros, contrariando o que estava exposto na planta AVAC do edifício em estudo.

3.3.7. Análise das condições de Circulação de água na UTA Desumidificação

A metodologia de determinação do caudal mássico que passa no circuito de água quente na UTA, é igual à metodologia apresentada na secção anterior.

Na figura 22, apresenta-se o diagrama de carga para o circuito na UTA, que relaciona a energia consumida ao longo do tempo de medição. A obtenção deste diagrama de carga foi obtida, utilizando a mesma metodologia descrita na secção **3.3.6** do presente texto.

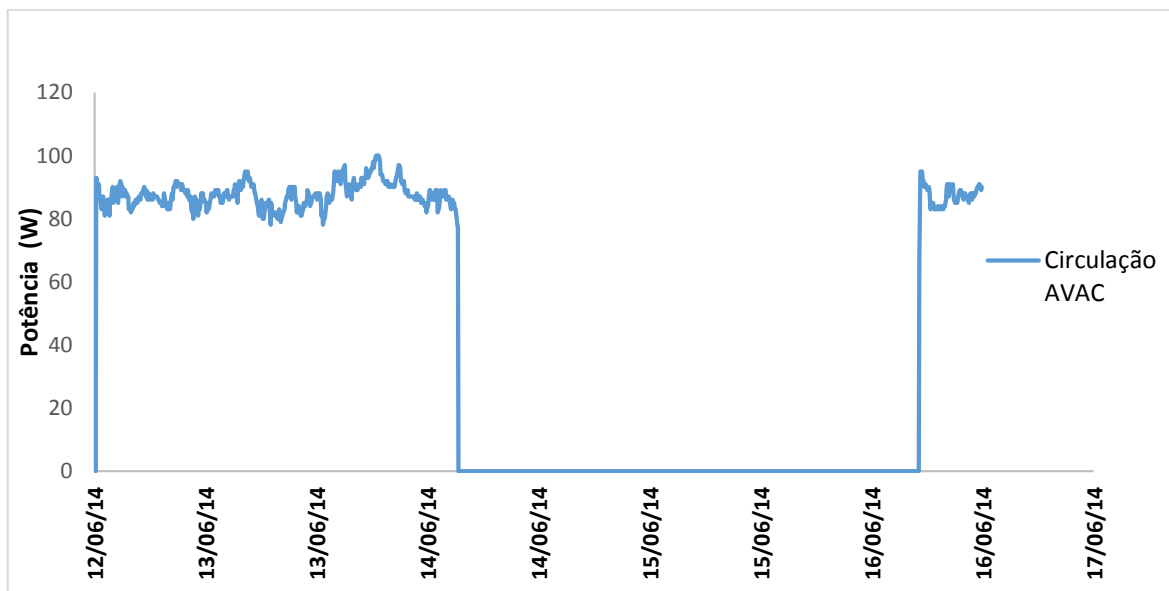


Figura 22: Diagrama de Carga para a UTA.

Com os dados registados no gráfico da figura 22, verifica-se que não houve grandes variações do consumo de energia por parte desta bomba, entre os dias 12, 13 e 14 de junho de 2014.

Tal como na bomba que fornece água quente às piscinas, no dia 15 de junho não houve consumo de energia, uma vez que as piscinas se encontravam encerradas na altura para o público.

No entanto, no dia 16 de junho, apesar deste edifício se encontrar encerrado ao público, houve consumo energético desta bomba, o que indica que houve a necessidade de desumidificar a zona da nave das piscinas.

Outra observação que se pode retirar deste gráfico, é que no dia 12 de junho, houve uma pequena quebra na medição dos consumos energéticos.

Na tabela 25, apresentam-se os dados técnicos da bomba que fornece água quente á UTA.

Tabela 25: Potência térmicas na tubagem no circuito de água quente das piscinas.

Marca	Modelo	Velocidade de rotação (rpm)	Caudal nominal (m ³ /h)	Altura manométrica nominal (m)	Temperatura máxima (°C)	Pressão Máxima (bar)
Grundfos	96401860	2890	7,5	7,5	40	10

A respetiva curva de instalação, está exposta no Anexo D.

Na tabela 26, está exposta o valor da potência absorvida pela bomba que fornece água quente ao circuito da UTA.

Tabela 26: Potência absorvida pela bomba que fornece água quente ao circuito da UTA.

U_{médio} das medições (V)	237
I_{médio} das medições (A)	0,797
P_{absorvida} (W)	189

Na tabela 27, está exposto o valor do caudal mássico de água quente que passa no circuito da bomba da UTA.

Tabela 27: Caudal mássico da bomba que fornece água quente ao circuito da UTA

Caudal mássico (m³/h)	Densidade da água (kg/m³)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)
3,1	971,8	3012,58	0,84

Com estes dados pode-se determinar a potência térmica da tubagem no circuito desta bomba, cujo valor está exposto na tabela 28.

Tabela 28: Potência térmica na tubagem no circuito da UTA

Caudal mássico (kg/s)	Calor Específico da água [9] (kJ/kg.°C)	T_{ida} (.°C)	T_{retorno} (.°C)	Q (kW)
0,84	4,178	35	32	10,5

3.3.8. Análise das Condições de Tratamento de Ar

Relativamente à ventilação, este edifício possui três equipamentos para garantir o conforto térmico do mesmo:

- UTA, que garante a climatização/desumidificação da zona onde se localizam as piscinas;
- UTA, que garante a climatização dos balneários e sanitários deste edifício;
- *Chiller*, que garante a climatização do ginásio.

A seguir, apresentam-se as tabelas que contém informações técnicas dos equipamentos de ventilação. As imagens destes equipamentos estão expostos no Anexo C.

Tabela 29: Dados técnicos do desumidificador instalado na UTA da piscina.

Marca	Ett
Tipo de Aparelho	Desumidificador 225 VF DF 2000
N.º de Série	8405-01
Caudal de Ar (m³/h)	20000
Potência Calorífica (kW)	93+150
Potência Frigorífica (kW)	78
Carga de Fréon R 407 C (kg)	22
Pressão Máxima de Serviço (bar)	27

Tabela 30: Dados técnicos da UTA dos Balneários.

Marca	EVAC
Modelo	UTA 20 st
Referência	UTV

Tabela 31: Dados técnicos do *Chiller*.

Marca	Ciatesa
Modelo	IPF-180
Pressão (bar)	43
Potência Frio (kW)	41,7
Potência Calor (kW)	44,3
Caudal exterior (m³/s)	5,60
Caudal interior (m³/s)	2,50
Fluido Refrigerante	R- 410 A
Peso do fluido (kg)	12,90
Peso do equipamento (kg)	733,2

Relativamente ao modo como estes equipamentos garantem a climatização deste edifício de um modo a que os seus utentes sintam conforto térmico, está em detalhe na planta que contém o projeto AVAC, que estará disponível no Anexo B.

3.3.9. Desumidificação da Nave da Piscina

As grelhas que fornecem o ar novo e que extraem o ar da nave das piscinas deste edifício, estão expostas nas imagens abaixo



Figura 24: Grelhas que fornecem ar à envolvente das piscinas



Figura 23: Grelhas que extraem o ar à envolvente das piscinas

De salientar que não foi possível medir o caudal de ar novo, uma vez que as grelhas de insuflação da nave das piscinas, uma vez que estas se encontravam a uma altura considerável, pelo que se assumiu que o caudal de retorno seria igual ao de ar novo.

Assim sendo, na nave das piscinas, existem 7 grelhas correspondentes ao ar de retorno.

Foi efetuado um balanço energético à envolvente onde se localizam as piscinas de competição e de aprendizagem.

Para tal, foi necessário retirar dados do caudal de ar de retorno, cujas grelhas estão localizadas ao nível da piscina, que no total são sete.

Tabela 32: Medições efetuadas na envolvente que contém as piscinas (Parte 1).

Medições		Incerteza
Temperatura do ar (°C)	27,6	±1.°C
Humidade Relativa do ar (%)	68,8	±0,1%
Temperatura da água da Piscina de Competição (°C)	26,8	±1.°C
Temperatura da água da Piscina de Aprendizagem (°C)	29	±1.°C

Tabela 33: Medições efetuadas na envolvente que contém as piscinas (Parte 2).

Grelha	Velocidade (m/s)	Incerteza	Dimensões (m)	Área (m ²)	Caudal Volúmico (m ³ /s)
1	4,63	±0,1 m/s	0,28×0,88	0,246	1,14
2	4,28				1,05
3	3,64				0,90
4	3,22				0,79
5	3,09				0,76
6	3,03				0,75
7	2,75				0,68

Foi efetuado uma contabilização da quantidade de vapor libertado por cada uma das piscinas. De acordo com Ernani Sartori [11] o caudal mássico de água evaporada, está relacionada de acordo com a seguinte expressão numérica:

$$\dot{m}_{evaporação} = \frac{(0,088 + 0,0783 \times v) \times (P_w - P_a)}{h_w} \quad (23)$$

Em que $\dot{m}_{evaporação}$, corresponde ao caudal mássico de água evaporada da piscina, expresso em kg/m².s; v , é a velocidade média do ar, expresso em m/s; P_w , é a pressão parcial da água no ar, expresso em Pa; P_a , é a pressão no ponto de orvalho da envolvente que rodeia a piscina, expresso em Pa e h_w , corresponde ao calor latente de vaporização à temperatura da água, expresso em kJ/kg.

Para determinar a pressão parcial da água no ar, recorreu-se à definição de humidade relativa.

$$HR = \frac{P_w}{P_{sat}} \quad (24)$$

Em que P_w é a pressão parcial da água no ar, expresso em kPa e P_{sat} , corresponde à pressão de saturação da água à temperatura do ar, expresso também em kPa.

Para determinar o calor latente da água, na gama dos 0 aos 40.°C a expressão numérica é a seguinte:

$$h_w = 2500,8 - 2,36 \times T + 0,0016 \times T^2 - 0,00006 \times T^3 \quad (25)$$

Em que T , corresponde à temperatura da água, expresso em.°C e h_w , corresponde ao calor latente de vaporização, expresso em kJ/kg.

Para determinar o coeficiente global de transferência de calor por convecção da água, h_w , de acordo com Nouanegue et al. [12], este mecanismo ocorre sob a forma de convecção natural e forçada, sendo este coeficiente determinado pelas duas parcelas que contribuem para o fenómeno de convecção nas piscinas cobertas.

Para a parcela da convecção forçada, o cálculo do número de Nusselt, é dado pela seguinte expressão numérica:

Cálculo do Número de *Reynolds*:

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} \quad (26)$$

Onde Re , representa o número de Reynolds; ρ , representa a massa volúmica da água, expresso em kg/m^3 ; v , representa a velocidade do material em m/s ; L , representa o comprimento do material, expresso em m ; μ , representa a viscosidade dinâmica, expresso em $\text{m}^2.\text{s/kg}$

Para $Re_d > 10^5$,

$$Nu_{d,Re} = 0,029 \times Re_d^{0,8} \times G \quad (27)$$

Onde Nu , representa o número de Nusselt; Re , o número de Reynolds; G , um parâmetro.

$$G = \frac{Pr}{\left(\frac{0,029}{Re_d}\right)^{1/2} \times \left\{5Pr + 5 \ln \left[\frac{1 + 5Pr}{6}\right] + 1\right\}} \quad (28)$$

Onde G , é o parâmetro; Pr , representa o número de Prandtl; Re , representa o número de Reynolds.

Para determinar o coeficiente global de transferência de calor por convecção, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$h_{forçada} = \frac{Nu \times k}{L} \quad (29)$$

Em que $h_{forçada}$, corresponde ao coeficiente global de transferência de calor por convecção forçada, expresso em $W/m^2.°C$, Nu , corresponde ao número de Nusselt, k , corresponde ao coeficiente por condução, expresso em $W/m.°C$ e L , o comprimento medido perpendicularmente ao sentido da transferência de calor, expresso em m.

Para além da convecção forçada, também existe a convecção natural, pelo que a metodologia de cálculo para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção natural é a seguinte.

Para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção natural, utiliza-se a seguinte expressão numérica:

$$h_{natural} = \frac{h \times L_C}{k} = C \times (Gr_L \times Pr)^n = CRa_L^n \quad (30)$$

Onde $h_{natural}$, corresponde ao coeficiente global de transferência de calor por convecção, expresso por $W/m^2.°C$; L_C , corresponde ao comprimento característico, expresso em m; k , corresponde ao coeficiente de condução, expresso em $W/m.°C$; C , corresponde a um parâmetro de que depende da geometria da superfície onde ocorre este fenómeno; Gr , corresponde ao número de Grashof; Pr , corresponde ao número de Prandtl; n , corresponde a um parâmetro de que depende da geometria da superfície onde ocorre este fenómeno; Ra , corresponde ao número de Rayleigh. Para o caso em estudo o valor de C foi de 0,54 e o valor de n foi de 0,25. [10]

A expressão para determinar o comprimento característico, é a seguinte:

$$L_C = \frac{A_s}{P} \quad (31)$$

Onde L_C , corresponde ao comprimento característico, expresso em m; A_s , corresponde à área da superfície, expresso em m^2 ; P , corresponde ao perímetro da superfície, expresso em m.

Para determinar o número de Grashof, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Gr = \frac{g \times \beta \times (T_S - T_\infty) L_C^3}{\nu^2} \quad (32)$$

Onde Gr , representa o número de Grashof; g , representa a aceleração gravítica, expresso e m/s^2 ; β , corresponde ao coeficiente de dilatação térmica, expresso em K^{-1} ; T_s , corresponde à temperatura da superfície, expresso em K; T_∞ , corresponde à temperatura no meio infinito, expresso em K; L_C , corresponde ao comprimento característico, expresso em m; ν , corresponde à viscosidade cinemática, expresso em m^2/s .

Para determinar o número de Rayleigh, utiliza-se a seguinte equação numérica

$$Ra = Gr \times Pr \quad (33)$$

;

Onde Ra , corresponde ao número de Rayleigh; Gr , corresponde ao número de Grashof; Pr , corresponde ao número de Prandtl.

A expressão que permite determinar as perdas térmicas por convecção é a seguinte:

$$Q_{convecção} = Q_{convecção\ natural} + Q_{convecção\ forçada} \quad (34)$$

Em que $Q_{convecção}$, corresponde à potência térmica provocada pela convecção, expresso em kW; $Q_{convecção\ natural}$, corresponde à potência térmica provocada pela convecção natural, expresso em kW; $Q_{convecção\ forçada}$, corresponde à potência térmica, provocada pela convecção forçada, expresso em kW

De acordo com o mesmo autor, além das perdas térmicas da água por condução também existem perdas de calor para o [12] solo, por condução e também perdas térmicas por radiação. As expressões numéricas que expõe as ditas perdas, estão expostas abaixo.

Perda térmica para o solo, por condução:

$$Q_{solo} = U_{solo} \times A \times (T_p - T_{solo}) \quad (35)$$

Em que U_{solo} , segundo Nounanegue et al. admite-se o valor de $2,3\ W/m^2.K$ e a temperatura do solo, 5 metros abaixo da superfície como $8,6.^{\circ}C$. [12]

É de salientar que nas piscinas em estudo, as perdas térmicas se devem pelas paredes e pelo chão, pelo que se fez uma pequena adaptação ao modelo proposto pelo autor acima citado. Ao invés de utilizar o U_{solo} , utilizou-se $U_{paredes}$ sendo o seu valor de $0,647\ W/m^2.K$ e

substitui-se T_{solo} por $T_{exterior}$, que corresponde à temperatura do ar no exterior, na altura da visita das instalações, expresso em.°C.

Perdas térmicas por radiação,

$$Q_{radiação} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{água}^4 - T_{\infty}^4) \quad (36)$$

Em que o valor de ε para a água segundo a NP4448 [4], admite-se o valor de 0,95; e T_{∞} admite-se como sendo a temperatura ambiente que envolve a zona térmica das piscinas.

Nas tabelas abaixo, apresentam-se os valores dos caudais mássicos de evaporação para cada uma das piscinas e também a contabilização das suas perdas térmicas.

Tabela 34: Determinação do caudal mássico de evaporação para a Piscina de Competição e de Aprendizagem, segundo o método proposto por Sartori [11].

Piscina de Competição		Piscina de Aprendizagem	
v_{ar} (m/s)	0,05	v_{ar} (m/s)	0,05
HR (%)	68	HR (%)	68
P_{sat} (Pa)	3645,8	P_{sat} (Pa)	4008,9
P_w (Pa)	2384,5	P_w (Pa)	2758,1
P_a (Pa)	2339,2	P_a (Pa)	2339,2
h_w (kJ/kg)	2437,8	h_w (kJ/kg)	2432,2
m_{evap} (kg/m².s)	3,62×10 ⁻⁵	m_{evap} (kg/m².s)	7,1×10 ⁻⁵
A_{piscina} (m²)	344,2	A_{piscina} (m²)	115,67
m_{evap} (kg/s)	0,0124	m_{evap} (kg/s)	0,082

Tabela 35: Perdas Térmicas por evaporação, por condução pelas paredes e por radiação para a Piscina de Competição, de acordo com o método de Sartori e Nouanengue [11], [12].

Dados		Resultados	
$\mu_{\text{água}}$ [9]	0,001003	$\dot{m}_{\text{evaporação}}$ (kg/s)	0,0124
v_{ar} (m/s)	0,05	$Q_{\text{evaporação}}$ (kW)	30,35
Re	$6,52 \times 10^5$	$Q_{\text{convecção natural}}$ (kW)	14,70
Pr	7,19	$Q_{\text{convecção forçada}}$ (kW)	1,94
Nu_{conv. forçada}	47,34	$Q_{\text{convecção total}}$ (kW)	16,60
$h_{\text{conv. forçada}}$ (J/m ² .°C)	6,25	Q_{paredes} (kW)	0,369
Gr	$2,11 \times 10^{12}$	$Q_{\text{radiação}}$ (kW)	1,81
Ra	$1,52 \times 10^{13}$	Total (kW)	49,13
Nu_{conv. natural}	1066,34		
$h_{\text{conv. natural}}$ (J/m ² .°C)	47,34		

Tabela 36: Perdas Térmicas por evaporação, por condução pelas paredes e por radiação para a Piscina de Aprendizagem segundo o método de Sartori e Nouanengue [11], [12].

Dados		Resultados	
$\mu_{\text{água}}$ [9]	0,001003	$\dot{m}_{\text{evaporação}}$ (kg/s)	0,00822
v_{ar} (m/s)	0,05	$Q_{\text{evaporação}}$ (kW)	19,22
Re	$4,38 \times 10^5$	$Q_{\text{convecção natural}}$ (kW)	8,49
Pr	7,19	$Q_{\text{convecção forçada}}$ (kW)	1,10
Nu_{conv. forçada}	102,45	$Q_{\text{convecção total}}$ (kW)	9,59
$h_{\text{conv. forçada}}$	6,76	Q_{paredes} (kW)	0,702
Gr	$6,52 \times 10^{11}$	$Q_{\text{radiação}}$ (kW)	0,960
Ra	$4,69 \times 10^{12}$	Total (kW)	30,47
Nu_{conv. natural}	794,63		
$h_{\text{conv. natural}}$ (J/m ² .°C)	52,46		

A seguir, apresentam-se os gráficos, contendo a distribuição de perdas térmicas das águas da Piscina de Competição e de Aprendizagem, para o método proposto por Sartori e Nouanengue [11], [12].

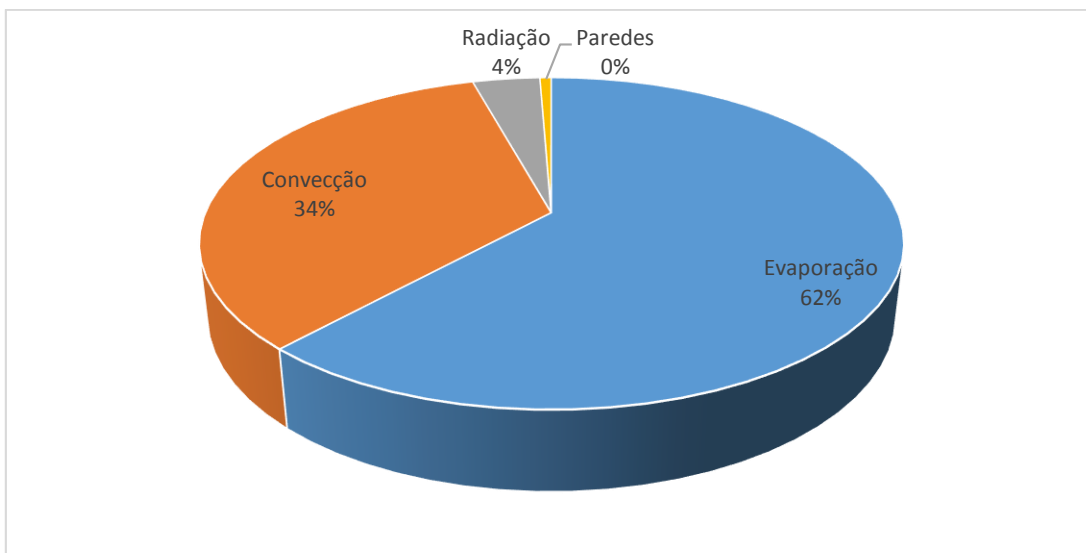


Figura 25: Perdas Térmicas pela água na Piscina de Competição.

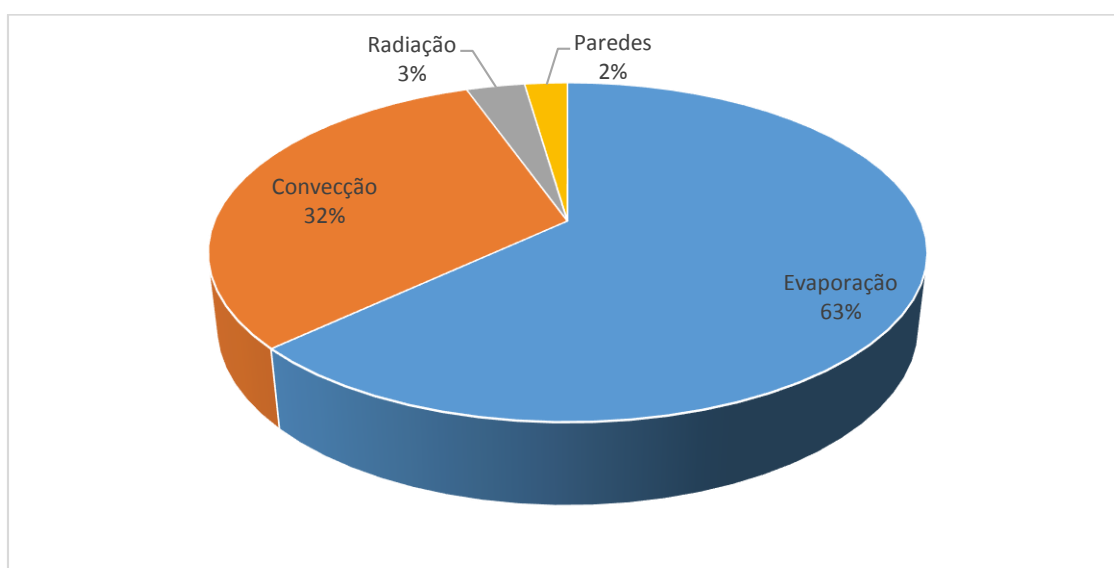


Figura 26: Perdas Térmicas pela água na Piscina de Aprendizagem.

De acordo com Nounanegue et al. [12], a maior parte das perdas se devem sobretudo às perdas por evaporação.

Observando os resultados, de facto comprovam as conclusões efetuadas por este autor, para ambas piscinas

Segundo a Norma Portuguesa 4448 [3], que foi citada neste texto, mais concretamente na secção 2.1.10, os valores da taxa de evaporação das piscinas em análise estão expostos na tabela 37.

Os valores de energia diária para cada uma das piscinas, foram retirados do *software Solterm*.

O modo como estes valores foram obtidos, foi através da introdução de dados referentes à temperatura e a humidade relativa do ar, a temperatura da água e o perfil de utilização diário para cada uma das piscinas. Com estes valores introduzidos, o programa determinou os consumos energéticos diários para as piscinas de competição e de aprendizagem.

Tabela 37: Determinação da taxa de evaporação para as piscinas de competição e de aprendizagem, segundo a NP 4448 [3].

	Piscina de Competição	Piscina de Aprendizagem
E_{diária} (kWh)	1097	297
Q_{evaporação} (kW)	45,71	12,38
h_{fg} (kJ/kg)	2437,8	2432,2
m_{evap} (kg/s)	0,0187	0,00509

Além dos métodos de determinação da taxa de evaporação da água de uma piscina acima mencionados, existe um terceiro método que é o método ASHRAE [16].

Por este método, a taxa de evaporação de uma piscina, pode ser estimada pela seguinte equação:

$$w_p = \frac{A}{Y} \times (p_w - p_a) \times (0,089 + 0,0782 \times v) \quad (37)$$

Onde w_p , representa a taxa de evaporação, expresso em m/s; A , representa a área da piscina, expresso em m²; p_w , representa a pressão de saturação à temperatura da água, expresso em kPa; p_a , representa a pressão de saturação no ponto de orvalho, expresso em kPa; v , representa a velocidade do ar à superfície na piscina, expresso em m/s.

Esta equação é válida para uma piscina com atividades normais, tais como a existência de salpicos e alguma área de superfície da circundante da piscina seca.

No entanto, esta equação pode ser simplificada, utilizando um fator de atividade F_a , de modo a poder ser estimada a taxa de evaporação da água da piscina com base na sua atividade.

Na tabela 38, apresentam-se os valores do fator de atividade para diferentes tipos de piscina.

Tabela 38: Valores do fator de atividade de diferentes tipos de piscina [16].

Tipo de Piscina	Fator de Atividade, F_a
Piscina Desocupada	0,5
Piscina Residencial	0,5
Condomínio	0,65
Termas	0,65
Hotel	0,8
Hidromassagem, Spa	1,0
Públicas, Escolares	1,0
Piscina de Ondas, Aquaparques	1,5 (mínimo)

Para a piscina em estudo, de acordo com a tabela 45, o fator de atividade foi assumido como sendo 1. A expressão numérica que determina a taxa de evaporação, utilizando o fator de atividade é a seguinte:

$$w_p = 4 \times 10^{-5} \times (p_w - p_a) \times F_a \times A \quad (38)$$

Onde w_p , representa a taxa de evaporação, expresso em kg/s; A , representa a área da piscina, expresso em m^2 ; p_w , representa a pressão de saturação à temperatura da água, expresso em kPa; p_a , representa a pressão de saturação no ponto de orvalho, expresso em kPa; F_a , representa o fator de atividade.

Os valores das taxas de evaporação para a piscina de competição e de aprendizagem, estão expressos na tabela 39.

Tabela 39: Taxas de Evaporação para as piscinas de Competição e de Aprendizagem de acordo com o método ASHRAE [16].

	Piscina de Competição	Piscina de Aprendizagem
Área da Piscina (m²)	344,18	115,7
Fator de Atividade	1,0	
Pressão de Saturação à temperatura da água (kPa) [9]	3,4658	4,0089
Pressão de Saturação à temperatura do ponto de orvalho (kPa) [9]	2,3392	
Caudal de Evaporação (kg/s)	0,0155	0,0077

Na tabela 40, apresentam-se os valores dos caudais de evaporação, obtidos pelos 3 métodos analisados neste texto.

Tabela 40: Taxas de evaporação obtidos pelos métodos analisados

Métodos	Caudal de evaporação (kg/s)	
	Piscina de Competição	Piscina de Aprendizagem
Sartori e Nouanengue	0,0124	0,00822
ASHRAE	0,0155	0,0077
NP 4448	0,0187	0,00509

Ao analisar a tabela 40, verifica-se que os valores dos caudais de evaporação obtidos pelos três métodos de cálculo, possuem valores diferentes embora a ordem de grandeza seja a mesma.

Para determinar os valores de calor sensível e latente, de modo a contabilizar as perdas energéticas da envolvente pela ventilação, foram utilizados os seguintes dados expressos na tabela abaixo.

Tabela 41: Dados Termodinâmicos para determinar as perdas energéticas pela ventilação.

Dados	Ventilação
Densidade do ar (kg/m ³) [9]	1,184
Calor específico do ar (kJ/kg.°C) [9]	1,013
Calor latente da água (kJ/kg) [9]	2436

Tabela 42: Perdas Térmicas relativas à ventilação.

Dados	Ventilação
Caudal mássico de ar seco (kg/s)	6,05
Caudal mássico de água no ar (kg/s)	0,0238
Calor Sensível (kW)	40,4
Calor Latente (kW)	57,98
Calor Total (kW)	98,4

Na tabela abaixo, apresentam-se contabilizados as perdas térmicas pela envolvente opaca e dos vãos envidraçados existentes na nave das piscinas.

Tabela 43: Perdas Térmicas devido à envolvente opaca e aos envidraçados.

Dados	Paredes	Envidraçados
Área (m ²)	140,5	144,6
U (W/m ² .°C)	0,647	3,70
ΔT (°C)	6,6	6,6
Q (kW)	0,60	3,53

A seguir, apresenta-se um gráfico que relaciona as perdas pela ventilação, pela envolvente opaca e pelos vãos envidraçados desta zona térmica em análise.

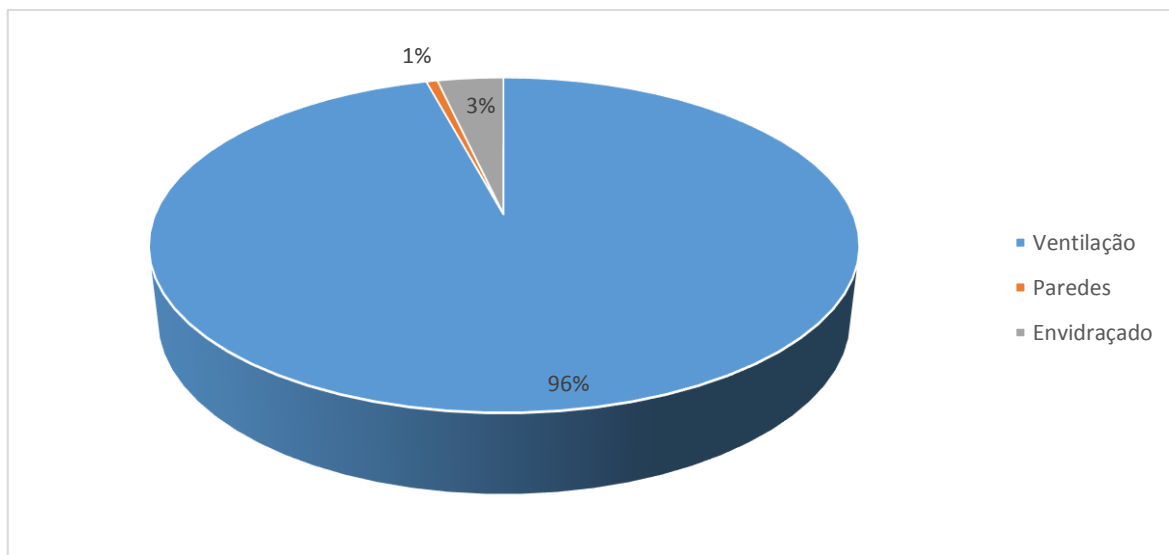


Figura 27: Gráfico que relaciona as perdas pela ventilação, envolvente opaca e vãos envidraçados da zona térmica que contém as Piscinas.

Como se pode verificar, a quase totalidade das perdas deve-se sobretudo à ventilação. Isto seria de esperar, uma vez que o sistema de ventilação contém o desumidificador de modo a extrair a humidade da envolvente que contém as piscinas e portanto é necessário grandes quantidades de ar novo de modo a poder extrair a humidade devido ao facto de existirem 2 piscinas contendo volumes significativos de água e evitar a deterioração do edifício devido à humidade acumulada sobretudo nas paredes e no teto.

4. Modelação Energética

Para a modelação energética deste edifício, foi necessário requerer as plantas de cada piso pertencente às piscinas em estudo de modo a poder ser determinada a suas zonas térmicas. As plantas arquitetónicas que originaram a modelação energética deste edifício estão disponibilizadas no Anexo A.

4.1. Ferramentas Informáticas de Modelação Energética

Para a modelação energética de edifícios, existem no mercado algumas ferramentas de modelação energética, dos quais se pode destacar os seguintes:

- ***DesignBuilder*** – É um interface gráfico com a simulação térmica dinâmica com o *EnergyPlus*, sendo bastante utilizada entre projetistas e peritos certificados. Esta ferramenta, permite construir modelos tridimensionais de edifícios, assim como definir os seus sistemas energéticos e efetuar simulações energéticas, de modo a ser possível testar estratégias de otimização energética.

Além disso, oferece dados do comportamento físico e ambiental do edifício assim como a possibilidade de se obter dados concretos de funcionamento dos edifícios.

A principal desvantagem deste interface é ser um *software* não gratuito.

- ***Google Sketchup em interface com o OpenStudio*** – O *Google Sketchup* é um *software* gratuito para a criação de cenários e elementos tridimensionais para Windows e Macintosh. Com isto é possível criar modelos de diversos tipos, como por exemplo, casas, cidades, etc.

Ao utilizar esta linguagem informática, é possível inserir a terceira dimensão, a partir de desenhos ou esquemas bidimensionais, simplesmente arrastando para a cota desejada.

Com o interface *OpenStudio* incorporado neste *software*, é possível definir zonas térmicas, as suas cargas internas e incorporar o sistema AVAC diretamente para um ficheiro *.idf* (ficheiro pertencente ao programa *EnergyPlus*) e a partir desta plataforma ser possível simular os consumos energéticos de um edifício.

A vantagem deste programa é de existirem versões gratuitas e de ser possível exportar ficheiros *Autocad*.

4.2. Desenvolvimento do modelo do edifício em estudo

Como foi referido anteriormente, para modelarmos este edifício foi necessário adquirir as plantas arquitetónicas de modo a poder ser demarcada as zonas térmicas, cuja designação das ditas zonas estão expostas na secção **3.1.2** do presente texto.

Para efetuar a simulação dinâmica deste edifício, foi necessário delimitar as zonas térmicas, tendo por base as características de cada espaço que constitui o edifício.

De modo a simplificar a geometria e conseqüente delimitação das envolventes térmicas, uniram-se os espaços que possuíam as mesmas características. Na tabela em baixo, apresentam-se todas as zonas térmicas pertencentes a este edifício e a respetiva localização no mesmo.

Tabela 44: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso -2

Zona Térmica	Área (m²)
Área Técnica	688,2
Circular Piscina 1	264,5
Circular Piscina 2	80,36
Circular Piscina 3	87,38
Circular Piscina 4	39,70
Tanque de Compensação 1	16,38
Tanque de Compensação 2	11,13
Piscina Competição Base	344,18
Piscina Aprendizagem Base	115,67
Vestiários Funcionários	14,56
Circular Piso -2	30,97

Tabela 45: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso -1

Zona Térmica	Área (m²)
Circular Piso -1	68,73
Sala Piso -1	14,94
Balneários 1	198,7
Balneários 2	119,8
Saída de Emergência	48,3
Piscina de Competição água	344,2
Piscina de Aprendizagem água	115,7
Terraço	182,2
Piscina Circundante 1	408,2
Arrumos	155,7

Tabela 46: Zonas Térmicas pertencentes ao Piso 0

Zona Térmica	Área (m ²)
Circular Piso 0	71,9
Recepção	61,95
Ginásio	239
Espaço Aberto	953,8
Piscina Circundante 2	408,2
Sanitários Piso 0	38,80

Após a delimitação destas zonas térmicas foi necessário construir um modelo de modo a poder ser possível efetuar a simulação dos consumos energéticos deste edifício.

A seguir apresentam-se as imagens deste edifício modelado com o auxílio desta ferramenta informática. É importante referir que esta plataforma, contém uma interligação com o *EnergyPlus* (o *OpenStudio*), de modo a ser mais fácil e expedito a introdução dos dados de entrada na referida ferramenta informática de modelação energética.

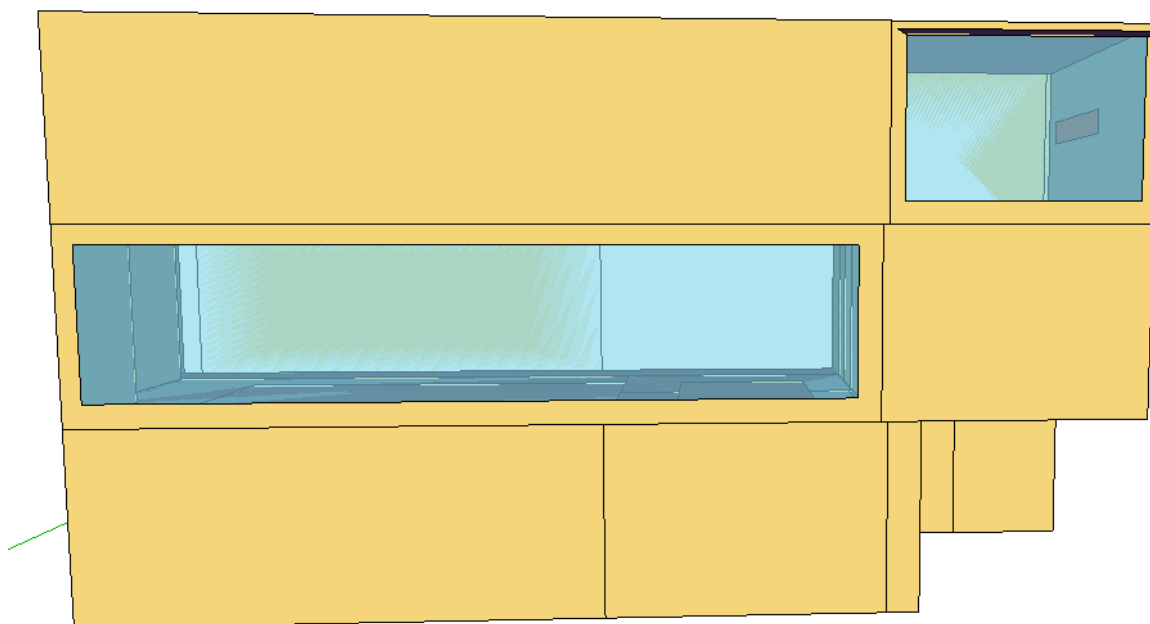


Figura 28: Imagem das Piscinas Municipais de Armamar simuladas na ferramenta *EnergyPlus* (vista de frente).



Figura 29: Imagem das Piscinas Municipais de Armamar simuladas na ferramenta *EnergyPlus* (vista de trás).

Para que a modelação energética e posterior simulação, é necessário que todas as faces destes elementos construtivos estejam devidamente colineares, de modo a que as envolventes térmicas exteriores e interiores sejam devidamente bem definidas e a simulação seja bem sucedida.

Para verificar se todas as envolventes estão bem definidas, recorre-se a um *plug-in* do Google Sketchup: O *Openstudio*. Este *plug-in*, faz a interface entre o *Sketchup* e o *EnergyPlus*, de modo a que ao desenharmos este modelo no *Google Sketchup*, este seja introduzido no *EnergyPlus*.

Assim sendo, recorrendo a este *plugin* e introduzindo a opção *Surface Matching* (de referir que com esta ferramenta, permite que o *EnergyPlus* defina quais as superfícies estão em contacto com o exterior e quais as que estão em contacto com o interior), procedeu-se à modelação energética deste edifício em estudo.

A seguir, apresenta uma imagem das envolventes exteriores (que estão de cor azul) e interiores (verdes).

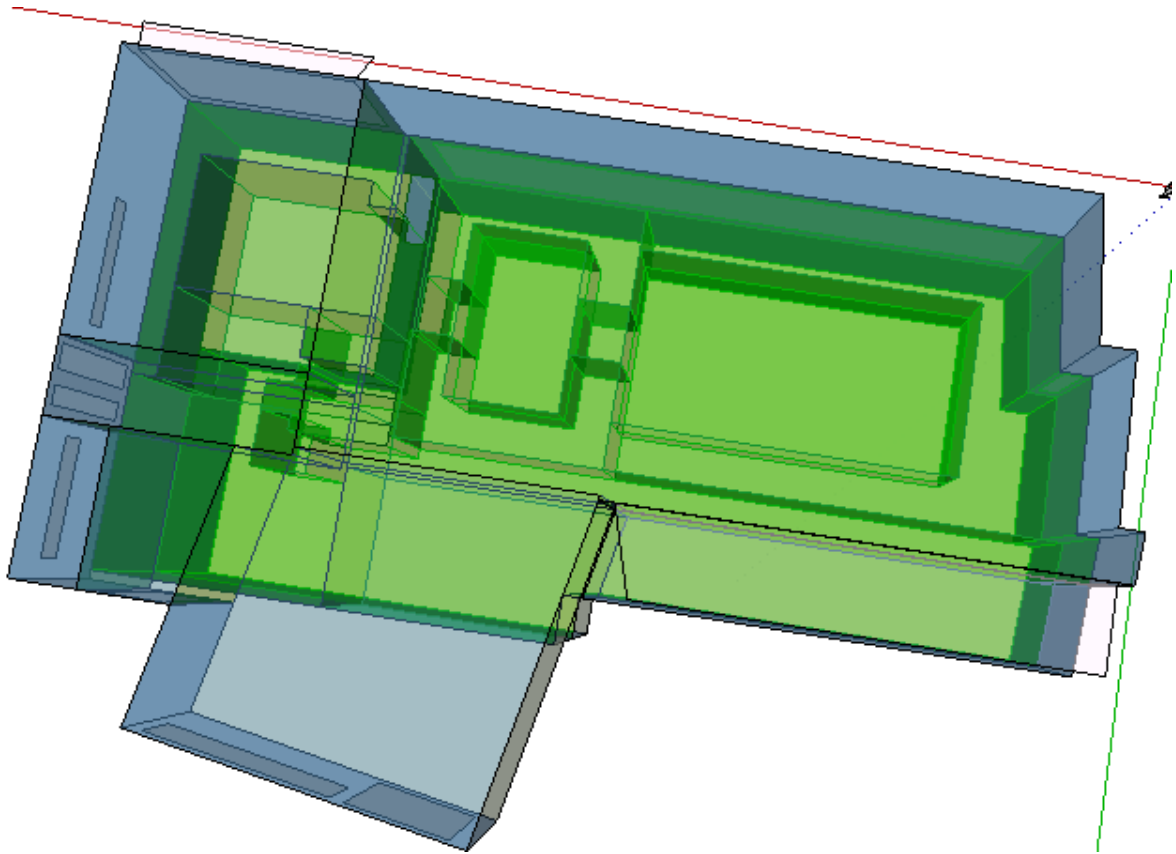


Figura 30: Modelação Energética das Piscinas Municipais de Armamar com as envolventes interiores e exteriores definidas (vista de cima).

De referir, que este processo de modelação energética é um processo bastante moroso, uma vez que a geometria de cada superfície que esteja no interior da mesma tem de coincidir com a superfície adjacente a esta. É vital que todas as superfícies esteja colineares umas com as outras, de modo que os passos seguintes que conduzam à simulação energética.

Para que o modelo energético desenvolvido pela ferramenta informática *EnergyPlus*, é necessário haver um termo de comparação. Utilizou-se como tal, as faturas energéticas dos dois combustíveis utilizados pelo edifício em análise (gás propano e eletricidade) dos anos de 2012 e 2013.

4.3. Resultados Obtidos pela Simulação Energética

4.3.1. Dados de entrada para o *EnergyPlus*

Nesta etapa, nesta ferramenta informática, existem uma infinidade de dados de entrada, de modo a poder caracterizar com o máximo de rigor o edifício que se quer simular.

Assim sendo e tendo em conta os objetivos propostos por esta dissertação os dados de entrada necessários são:

- Localização do edifício (indicando as coordenadas geográficas e a sua orientação);
- O material de construção;
- O número de zonas térmicas a serem simuladas e as suas respetivas cargas térmicas internas;
- O consumo específico dos equipamentos elétricos e de iluminação;
- O sistema de AVAC;
- O sistema de águas quentes e sanitárias.

Como foi referenciado anteriormente, os dados referentes ao material de construção assim como as cargas internas e os consumos específicos dos equipamentos elétricos e de iluminação, foram introduzidos através da ferramenta *Google Sketchup 7* com o auxílio da plataforma *OpenStudio*.

Relativamente aos sistemas AVAC e das águas quentes e sanitárias, esses tem de ser introduzidos diretamente no *EnergyPlus*, cujos dados de entrada se encontram disponíveis no Anexo I, do presente texto.

4.3.2. Consumos Energéticos Obtidos pelo *EnergyPlus*

Nesta secção, vão ser apresentados os consumos energéticos obtidos pelo *EnergyPlus*.

Estes resultados foram baseado nos dados obtidos pela visita ao local onde se encontram as instalações.

Relativamente aos outros dados de entrada, de modo a que ocorra a simulação dinâmica deste edifício, estão expostos nas seguintes tabelas.

Tabela 47: Dados Meteorológicos do município de Armamar.

Estação	Temperatura máxima Bolbo Seco (°C)	ΔT (°C)	Temperatura do ponto de orvalho (°C)	Controlo do tipo de Humidade	Velocidade do vento (m/s)
Inverno	10	0	-17,3	Bolbo Húmido	4,9
Verão	31,5	10	23	Bolbo Húmido	5,3

A fonte destes dados meteorológicos, que estão expostos na Tabela 47, foi a base de dados do LNEG, sendo possível converter esta dita base em ficheiro *.epw*, sendo legível no *EnergyPlus*.

Tabela 48: Coeficientes de transferência de calor da envolvente opaca.

Envolvente Exterior	U com filme (W/m ² .K)	U sem filme (W/m ² .K)
Paredes	0,647	0,717
Chão	0,510	0,556
Tecto	0,532	0,574

Tabela 49: Coeficientes de transferência de calor dos vãos envidraçados.

	U (W/m ² .K)
Vãos Envidraçados	3,70

Relativamente aos dados de entrada expostos nas Tabelas 48 e 49, deste presente texto foram determinados utilizando a seguinte metodologia.

Para determinar os coeficientes globais de transferência de calor quer das paredes exteriores, quer dos vãos envidraçados, recorreram-se às tabelas publicadas pelo ITE 50 [14], publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Para determinar o coeficiente global de transferência de calor das paredes exteriores, recorreu-se à seguinte expressão matemática:

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_{si}} \quad (39)$$

Em que R_{si} , corresponde à resistência térmica de cada material construtivo pertencente às paredes exteriores, expresso em $m^2 \cdot ^\circ C/W$. Estas resistências, também são determinadas, utilizando a seguinte equação:

$$R_{si} = \frac{e}{\lambda} \quad (40)$$

Em que e , corresponde à espessura do material, expresso em m e λ , corresponde à condutividade térmica do material, expresso em $W/m \cdot ^\circ C$.

Na tabela 50, encontram-se os valores das espessuras e das condutividades térmicas de cada material constituinte da parede exterior.

Tabela 50: Materiais constituintes das paredes exteriores.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.°C)
Tijolo furado	0,150	0,89
Caixa de ar	0,06	0,15
Poliestireno Expandido	0,03	0,038
Tijolo furado	0,150	0,89
Placa de gesso	0,019	0,16

Com estes dados, determinou-se que o coeficiente global de transferência de calor, para as paredes exteriores tem o valor de $0,647 W/m^2 \cdot ^\circ C$. De notar que este valor não tem em conta os valores das Resistências exteriores e interiores do edifício.

Relativamente ao valor do coeficiente global de transferência de calor dos vãos envidraçados apresentado nos dados de entrada do simulador, assumiu-se que os vãos envidraçados possuem caixilharia de alumínio, são duplos com uma espessura de lâmina de ar de 16 mm, pelo que se assume o valor de $3,7 W/m^2 \cdot ^\circ C$, em que o valor esta exposto no Quadro III.3, da publicação ITE 50 [14].

Relativamente aos dados da densidade de iluminação presentes em cada zona térmica, o método de cálculo está exposto na seguinte equação:

$$\text{Densidade de Iluminação } \left(\frac{W}{m^2}\right) = \frac{\text{Potência de Iluminação (W)}}{\text{Área da zona térmica (m}^2\text{)}} \quad (41)$$

Os valores referentes à densidade de iluminação, estão expostos na Tabela 51.

Tabela 51: Densidade de Iluminação do edifício.

Zonas Térmicas	Potência de Iluminação (W)	Área (m²)	Densidade de Iluminação (W/m²)
Área Técnica	290	688,2	0,42
Circular Piso -2	290	30,97	9,36
Vesteários Funcionários	116	14,56	7,97
Circular Piscina 1	1276	264,5	4,82
Circular Piscina 2	348	80,36	4,33
Circular Piscina 3	348	87,38	3,98
Circular Piscina 4	290	39,7	7,30
Arrumos	696	155,7	4,47
Balneários 1	1314	198,7	6,61
Balneários 2	830	119,8	6,93
Sala Piso -1	464	14,94	31,06
Circular Piso -1	640	68,73	9,31
Saída de Emergência	290	48,3	6,00
Espaço Aberto	3408	953,8	3,57
Piscina Circundante 2	5350	408,2	13,10
Recepção	420	61,95	6,78
Sanitários Piso 0	366	38,8	9,43
Ginásio	1160	239	4,85
Circular Piso 0	536	71,9	7,45

Também foi contabilizado o número de equipamentos e a respetiva potência, cujos valores estão expostos na Tabela 52.

Tabela 52: Potência Elétrica dos Equipamentos existentes no edifício.

<i>Zona Térmica</i>	Equipamentos	Potência Elétrica (W)	N.º de Equipamentos	Potência Total (W)
Ginásio	Passadeira Elétrica	1500	2	3000
Balneários 1	Secador de Cabelo	750	8	6000
	Secador de Mãos	140	5	700
Vestiários Funcionários	Secador de Mãos	140	1	140
Balneários 2	Secador de Cabelo	750	7	5250
	Secador de Mãos	140	4	560
Espaço Aberto	Computadores	350	10	3500
	Máquina de Bebidas	120	1	120
Sanitários Piso 0	Secador de Mãos	140	6	840
Sala Piso -1	Computadores	350	1	350
Recepção	Computadores	350	2	700
Área Técnica	Bombas Hidráulicas	---	7	5930

Os resultados da simulação dinâmica, estão expostos na Tabela 53.

Tabela 53: Resultados obtidos pela simulação dinâmica.

	Eletricidade [kWh/ano]	Gás Natural [kWh/ano]	Gás Propano [kWh/ano]	Arrefecimento Localizado [kWh/ano]	Aquecimento Localizado [kWh/ano]	Água [m³/ano]
Aquecimento	362,71	0	2130,53	0	0	0
Arrefecimento	13218,17	0	0	0	0	0
Iluminação Interior	3052,84	0	0	0	0	0
Iluminação Exterior	0	0	0	0	0	0
Equipamentos Interiores	149204,01	0	0	0	0	0
Equipamentos Exteriores	0	0	0	0	0	0
Ventilação	42218,00	0	0	0	0	0
Bombas	20997,65	0	0	0	0	0
Extração de Calor	0	0	0	0	0	0
Humidificação	0	0	0	0	0	0
Recuperação de Calor	0	0	0	0	0	0
Sistemas de Água	0	0	790248,54	0	0	11836,60
Refrigeração	0	0	0	0	0	0
Geradores	0	0	0	0	0	0
Total	229053,28	0	792379,03	0	0	11836,60

Comparando com os dados referidos nas faturas existe diferenças, mais discrepantes nos consumos de eletricidade. Isto se deve ao facto de se tratar de um simulador e como tal avalia as condições ditas “ideais” em que o edifício funciona e como tal há diferenças entre os consumos que realmente este efetua e os que supostamente devia consumir.

Relativamente ao elevado consumo energético dos equipamentos deste edifício, se deve ao facto de se incluir para além dos equipamentos instalados neste edifício, incluem-se as bombas que estão instaladas no piso -2 do referido edifício exceto as bombas que fornecem água quente às piscinas e águas quentes e sanitárias.

A seguir, apresenta-se uma tabela comparando os valores dos consumos dos dois combustíveis com o valor obtido pelo simulador. Também apresenta-se o erro em percentagem entre estes valores. De notar que se utilizou um valor médio dos consumos energéticos dos anos 2012 e 2013.

Tabela 54: Comparação entre os valores energéticos obtidos pelas faturas e pelo simulador e o erro associado.

	Faturas	Simulador	erro (%)
Quantidade (kWh)	1112584	1021432,45	8,19

Como se pode observar o erro entre estes dois métodos de contabilização energéticos, ronda os 8,2 %, o que se considera aceitável para uma simulação dinâmica, no entanto não podemos validar este modelo virtual, uma vez que faltam alguns dados provenientes de alguns equipamentos deste edifício, pelo que fica como trabalho futuro validar este modelo.

A seguir, apresenta-se o vetor energético obtido pela simulação dinâmica.

Tabela 55: Vetor Energético obtido pela simulação dinâmica.

		Peso de cada componente (%)
Eletricidade (kWh)	229053,28	22,4
Gás Propano (kWh)	792379,03	77,6
Total (kWh)	1021432,45	

Comparando com o vetor energético obtido pelas faturas, os valores do vetor energético são semelhantes, embora o modelo virtual não seja válido.

Nas figuras 31 e 32, são comparadas a média de cada consumo médio energético mensal, referentes aos anos de 2012 e 2013 com os resultados obtidos pela simulação com o *EnergyPlus*.

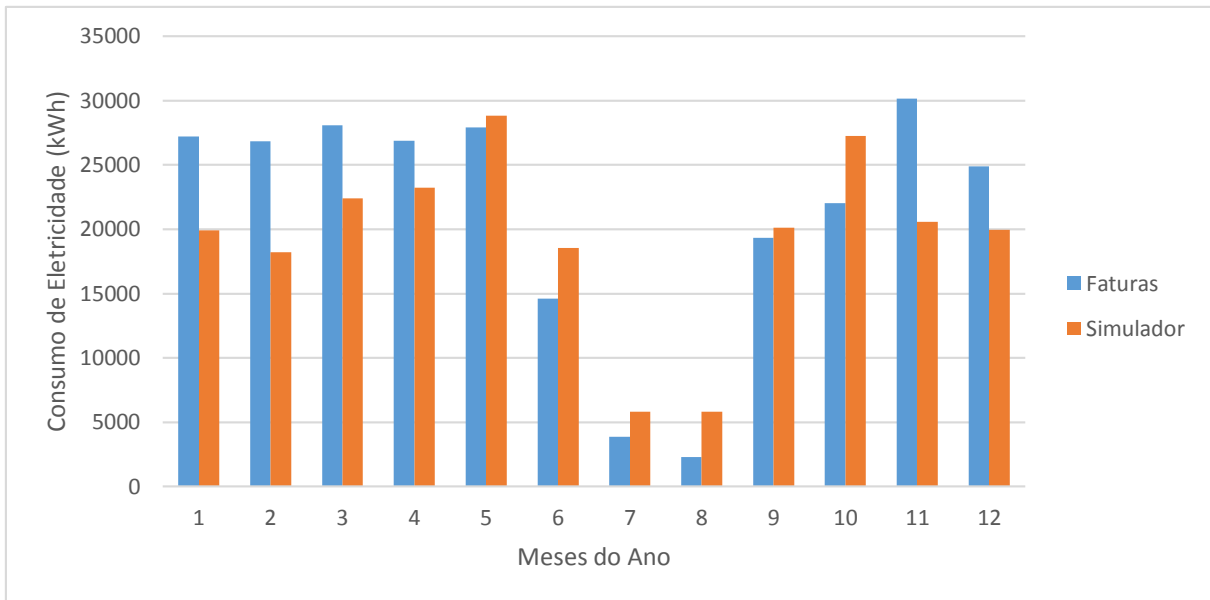


Figura 31: Comparação do consumo energético da eletricidade entre os valores das faturas com o simulador.

Na figura 31, relaciona os consumos energéticos referentes ao vetor eletricidade com os meses do ano. Pode-se verificar, no que toca a este vetor energético, uma discrepância nos consumos entre as faturas e o simulador, em todos os meses do ano, exceto o mês de maio.

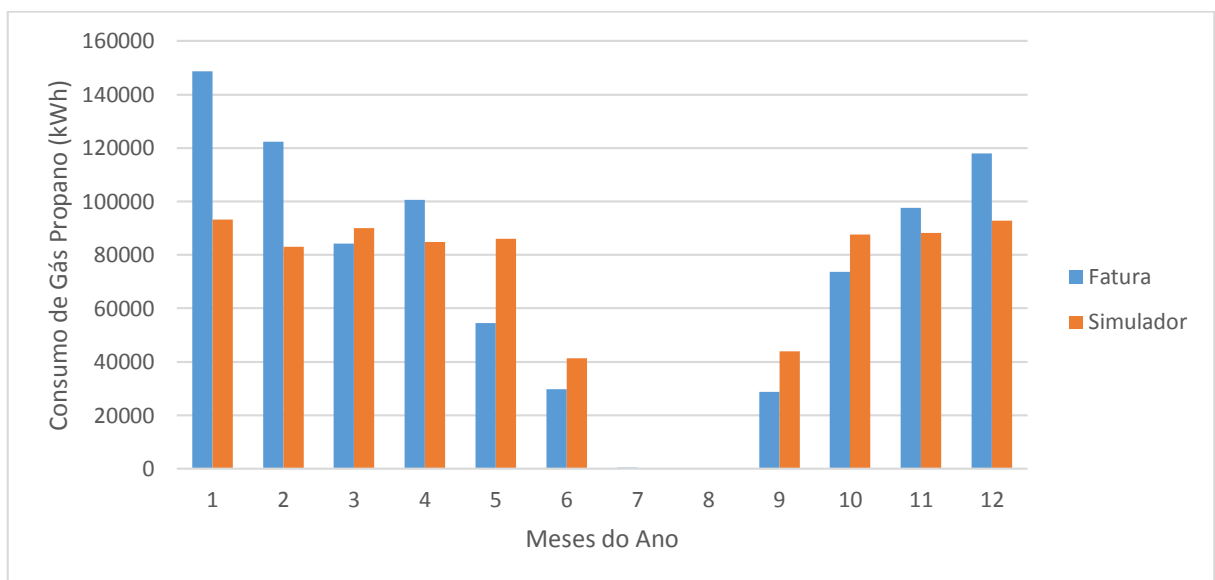


Figura 32: Comparação do consumo energético do gás propano entre os valores das faturas com o simulador.

Na figura 32, relaciona os consumos energéticos referentes ao vetor gás propano com os meses do ano. Tal como na figura anterior, também existem discrepâncias mais significativas em todos os meses exceto os meses de março, julho e agosto.

Como foi comprovado anteriormente, este modelo necessita de ser otimizado para os consumos deste edifício.

Como se pode verificar quer pelas faturas, quer pelo simulador informático pode-se concluir que grande parte dos consumos energéticos se devem à fonte de energia gás propano e como esta fonte energética está cada vez mais dispendiosa, é necessário efetuar algumas medidas de redução do consumo desta fonte energética, sendo esta temática desenvolvida no capítulo seguinte.

5. Melhorias a Implementar

Neste capítulo tem como objetivo propor algumas medidas de melhoria de modo a que as Piscinas Municipais de Armamar se tornem mais sustentáveis do ponto de vista económico e ambiental.

5.1. Propostas de Melhoria

Com base no diagnóstico energético efetuado a este edifício, foram propostas as seguintes medidas de melhoria dos consumos e eficiência energética:

- Colocação do isolamento nas paredes exteriores;
- Colocação de lonas de proteção para as piscinas;
- Reparação dos filtros vs renovação da água diária;
- Implementação dos Sistemas solares no aquecimento das piscinas;
- Substituição das luminárias existentes pelas luminárias LED.

5.1.1. Colocação do isolamento nas paredes exteriores

Como foi abordado na secção anterior, um dos problemas que este edifício apresentava era de que nas paredes exteriores possuíam humidade. Na memória descritiva do projeto, as paredes exteriores eram em alvenaria de tijolo furado, dupla de $0,15 \times 0,11$ m uma caixa de ar, onde foi aplicado o isolamento térmico, composto por placas de poliestireno extrudido de 30 mm de espessura. No fundo da caixa de ar, de acordo com esta memória descritiva,

foram colocados tubos de drenagem de modo a que a impermeabilização fosse devidamente ventilada e bem drenada.

Ao observarmos esta dita memória descritiva, não menciona na colocação de isolamento térmico por parte exterior das ditas paredes, informação confirmada no local pelos próprios funcionários deste edifício.

Com o culminar deste questionário efetuado aos funcionários, foi efetuado um estudo de modo a perceber qual era o melhor isolante a colocar neste edifício em estudo, utilizando a técnica *Cappotto*. Este sistema, permite a que este edifício reduza os seus consumos energéticos, garantindo na mesma aos utilizadores dos mesmos o mesmo padrão de conforto térmico a que estavam habituados.

Os isolantes que estão aptos a ser introduzidos por esta técnica, são:

- Placas isolantes de poliestireno expandido;
- Placas isolantes de poliestireno extrudido;
- Placas isolantes de Lã de Rocha, tratadas com um agente termoisolante;
- Placas isolantes de Poliisocianurato ISOETICS.

Para esta dissertação, apenas se efetuou um estudo mais aprofundado para as placas de poliestireno expandido e para as placas isolantes de Lã de Rocha, uma vez que são as opções mais económicas na gama existente do mercado que sejam compatíveis com a técnica de construção acima mencionado.

Estudaram-se as espessuras de 5, 8, 10, 12, 15 e 20 cm, para os dois materiais selecionados previamente.

Para efetuar este estudo no que toca à vantagem ou não da colocação do isolamento na parte exterior das paredes exteriores deste edifício, utilizaram-se os valores dos consumos energéticos obtidos pelo *EnergyPlus*, salientando que este modelo, pelas razões expostas no capítulo anterior do presente texto, não foi válido, no entanto os dados mais detalhados deste estudo estão expostos no Anexo J.

5.1.2. Colocação de Lonas para Proteção de Piscinas

As lonas de proteção para estas piscinas, surgiu como base no estudo sobre as perdas térmicas que este tipo de piscinas possuem. De acordo com a análise às perdas energéticas das águas das piscinas, grande parte dessas perdas, ocorrem por evaporação.

De modo a determinar os consumos e os custos energéticos deste complexo desportivo, sem a colocação das lonas, calculou-se o calor libertado pela evaporação destas duas piscinas, durante o período em que as piscinas não se encontram em atividade.

Para isso, utilizaram-se os valores das taxas de evaporação, determinadas pelo método de Sartori e Nouanengue.

Para determinar o consumo de energia, colocando as lonas de proteção, contabilizaram-se apenas as perdas energéticas das ditas piscinas pelas paredes.

Durante o período de atividade deste complexo, este encontra-se encerrado, no período de tempo entre as 21 e as 10 horas, nos dias úteis da semana e aos sábados encerra às 13 horas e reabre na segunda-feira seguinte às 10 horas.

Portanto o número de horas em que estas lonas de proteção seriam colocadas, seriam 13 horas, nos dias úteis da semana, aos sábados 21 horas e aos domingos 24 horas, durante o período de atividade deste edifício.

A partir do dia 15 de junho até ao início do mês de outubro, o edifício encontra-se encerrado, pois neste período de tempo, as piscinas encontram-se em trabalhos de manutenção não necessitando da colocação das lonas de proteção.

Analisaram-se dois materiais possíveis para a colocação de lonas de proteção, que são o PVC e o PB Poliéster. Os orçamentos encontram-se no sítio redes desportivos online [17].

Nas tabelas em baixo, apresentam-se as reduções do consumo energético assim como o *payback* desta solução.

Tabela 56: Cálculo da Energia consumida pelas piscinas sem a colocação das lonas de proteção.

	Piscina de Competição	Piscina de Aprendizagem
m_{evaporação} (kg/s)	0,0124	0,00822
Calor Latente da água (kJ/kg)	2437,8	2432,2
Energia Consumida Hora (kWh)	30,35	19,22
Energia Consumida dia semana (kWh)	394,55	249,86
Energia Consumida dia sábado (kWh)	698,05	403,62
Energia Consumida dia domingo (kWh)	728,40	461,28
Energia Consumida mês (kWh)	13596,8	8456,8
Energia Consumida ano (kWh)	115572,8	71882,3

Tabela 57: Comparação dos gastos energéticos utilizando ou não a colocação de lonas de proteção nas piscinas.

	Sem Lonas	Com Lonas
Energia Consumida ano (kWh)	187455,6	4005,54
Custos anuais (€)	14115,41	301,62
Poupança anual (€)	13813,79	

Tabela 58: Payback do investimento das Lonas.

	Piscina Competição	Piscina Aprendizagem
Comprimento (m)	26	13,24
Largura (m)	13,24	8,74
Área (m²)	344,24	115,7
Preço Poliester (€/m²)	9	
Preço PVC (€/m²)	10	
Investimento PVC (€)	4599,4	
Investimento Poliéster (€)	4139,46	
Poupança anual (€)	13813,79	
PB Poliéster (anos)	0,27	
PB PVC (anos)	0,34	

Ao observar o *payback* deste investimento, pode-se dizer que é uma solução que se pode implementar uma vez que o retorno do investimento demora pouco tempo, cerca de 3 meses, para o Poliéster e de 4 meses para o PVC, sendo que a poupança do consumo energético (base anual), é significativa.

Apesar da diferença do *payback* entre os dois materiais ser baixo, o material que possui um retorno mais rápido do investimento é o Poliéster, pelo que será o material escolhido para as lonas de proteção.

5.1.3. Reparação dos Filtros vs Renovação da água diária

Durante a realização da visita, deparou-se que os filtros que renovam a água da piscina de competição se encontravam avariados. O técnico de manutenção, informou que para garantir o funcionamento da dita piscina, renova todos os dias entre 30 a 50 m³ de água, assim como despejam diretamente cloro nos tanques de compensação.

Esta solução acarreta um aumento dos custos no aquecimento da água da piscina de competição, uma vez que a água renovada provém da rede pública.

Diariamente, a piscina de competição, perde entre 2 a 5% do seu volume, de acordo com o portal de saúde pública [15], pelo que este tem de ser repostado pela água corrente. Ora como o volume da piscina de competição tem um volume aproximado de 688 m³, então o seu volume de renovação diário, é de 24,1 m³.

Na tabela abaixo, apresentam-se os consumos energéticos com a manutenção da piscina de competição tal como ela está, ou seja, com os filtros avariados.

Tabela 59: Consumos e Custos energéticos com a renovação da água com os filtros avariados.

	Piscina de Competição
Volume de renovação diário (m³)	24,1
Volume de renovação diário compensatório com os filtros avariados (m³)	25,9
Temperatura da água de renovação (°C)	15
$\rho_{\text{água}}$ (kg/m³)	999,13
Massa de água (kg)	25877
Caudal mássico de água (kg/s)	0,30
Calor específico da água (kJ/kg.°C)	4,186
Temperatura água piscina (°C)	26,7
Energia da água Consumida hora (kW)	18,84
Energia da água Consumida mensal (kWh)	10850,1
Custo com o gás propano (€/kWh)	0,0753
Custo mensal (€)	817,01
Custo anual (€)	6944,59

Se mandassem reparar os filtros da piscina de competição, obtinham uma poupança anual com o gás propano de 6944,59€.

5.1.4. Implementação dos Sistemas Solares no Aquecimento das Piscinas

Para analisar esta sugestão, utilizou-se o *software Solterm* (versão 5.0), de modo a efetuar o balanço energético a este sistema e posterior análise económica de modo a concluir se esta opção seria uma hipótese a considerar para o município, de modo a aliviar as faturas relativas ao consumo energético com o gás propano, criando assim um sistema misto de aquecimento.

Neste programa, possui a opção de simular os sistemas térmicos ou os sistemas fotovoltaicos, para que este, consoante o perfil do edifício a ser simulado, efetue uma análise energética e económica de cada opção.

No caso em estudo, analisou-se o sistema térmico instalado no edifício.

No sistema térmico, colocou-se a tipologia e o número de painéis solares instalados no edifício; o número, as características térmicas e o volume dos depósitos existentes na área técnica das piscinas municipais; o gás que alimenta as caldeiras existentes, que no caso concreto é o propano e o perfil de consumo de águas deste complexo desportivo.

De referir, que esta análise é para as piscinas cobertas, pelo que o *Solterm* versão 5, possui uma opção que analisa os consumos diários e as necessidades energéticas anuais de piscinas, pelo que introduziram-se nesta opção, os perfis de ocupação semanais e do dia de sábado para as ditas piscinas. Tomou-se em conta que nos meses de julho, agosto e setembro, o complexo desportivo se encontra encerrado.

Para as piscinas de competição e aprendizagem, os resultados obtidos por este *software*, estão expostos na tabela abaixo, assim como as poupanças económicas.

Tabela 60: Resultados da simulação aos consumos da energia solar, utilizando o Solterm para o aquecimento das piscinas de aprendizagem e de competição.

<i>Piscina de Competição</i>		<i>Piscina de Aprendizagem</i>	
Consumo de Propano com apoio do painel solar (kWh)	189011	Consumo de Propano com apoio do painel solar (kWh)	33425
Custo Gás Propano (€/kWh)	0,0753	Custo Gás Propano (€/kWh)	0,0753
Custos com Gás com apoio do painel solar (€)	14232,53	Custos com Gás com apoio do painel solar (€)	2516,90
Consumo atual de Propano (kWh)	316800	Consumo atual de Propano (kWh)	102600
Custos atuais com o Gás (€)	23855,04	Custos atuais com o Gás (€)	7725,78
Poupança anual (€)	9622,51	Poupança anual (€)	5208,88

Observando estes resultados, pode-se verificar que ao implementar os painéis solares, com o auxílio de gás propano para aquecimento das águas das piscinas, obtém-se uma poupança anual de 9622,51 € para a piscina de competição e de 5208,88 € para a piscina de

aprendizagem, pelo seria uma boa proposta de redução de gastos deste edifício com o consumo de gás propano.

Os resultados mais detalhados destas simulações, encontram-se no Anexo E.

5.1.5. Substituição das Luminárias existentes com luminárias LED.

Uma solução também apresentada de modo a reduzir os consumos quer energéticos, quer económicos de modo a garantir a sustentabilidade deste edifício, seria a substituição das luminárias existentes por luminárias LED.

Para efetuar esta análise económica e energética desta solução, foi necessário pesquisar as luminárias LED que fossem compatíveis com as armaduras já existentes no edifício. Apesar de existirem luminárias LED da marca Phillips, mas no entanto estas são bastante dispendiosas, pelo que se optou pelas luminárias de “marca branca”, disponíveis no sítio da empresa Robert Mauser Lda. [13], contendo o mesmo tipo de luminárias, mas a um preço mais competitivo.

Assim sendo foi efetuado um estudo para analisar qual a poupança energética e económica que esta solução teria em concreto neste edifício e o respetivo *Payback*. Os resultados estão expostos na tabela abaixo.

A análise mais detalhada e a forma como se chegaram a estes resultados estão expostos no Anexo F.

Tabela 61: Poupanças económicas anuais obtidas pela solução LED.

Investimento Total (€)	7880,37
Poupança Anual(€)	1660,82
<i>Payback</i> (anos)	4,74

A seguir, apresenta-se um gráfico que relaciona o consumo de eletricidade por parte das luminárias existentes neste edifício, com o consumo de eletricidade utilizando as lâmpadas LED.[13]

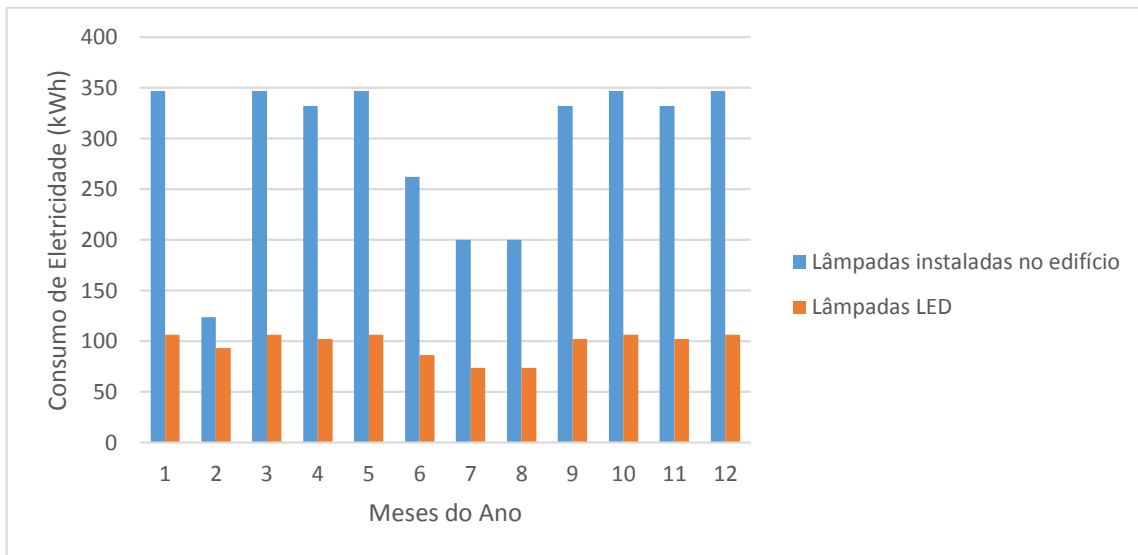


Figura 33: Comparação dos consumos energéticos entre as luminárias instaladas no edifício com as luminárias LED.

A figura 33, relaciona os consumos de eletricidade, expresso em kWh, para as luminárias existentes no edifício conjuntamente com as luminárias LED versus os meses do ano

Ao analisar estes dados, pode-se concluir que a substituição das luminárias existentes por luminárias LED é uma solução bastante vantajosa para o município, com um retorno de investimento relativamente baixo.

6. Conclusões

Com este trabalho, chega-se à conclusão de que os consumos energéticos das Piscinas Municipais de Armamar se devem sobretudo a duas fontes de energia, que são: gás propano e eletricidade.

A distribuição destas mesmas fontes de energia são de 77% para o gás propano e 23% para a eletricidade. A razão para tal distribuição, se deve sobretudo para o aquecimento de duas piscinas cobertas, sendo uma destinada para a aprendizagem e outra para a competição.

Os consumos energéticos médios anuais destes dois vetores energéticos são de 1112584 kWh, o que corresponde a 128,5 tep, pelo que não está abrangido pelo SGCIE. Outra observação que se pode retirar pela análise destes consumos, é que estes decrescem nos meses de verão, mais concretamente nos meses de julho, agosto setembro, uma vez que neste período, este edifício se encontra encerrado.

A visita às piscinas municipais teve como objetivo, efetuar medições dos consumos energéticos deste edifício, de modo a ser possível identificar quais os locais que consomem mais.

No entanto no local, deparou-se com algumas limitações para elaborar o dito diagnóstico, nomeadamente: o contador de gás propano que contabiliza os consumos energéticos estar selado, pelo que não foi possível determinar o rendimento energético da caldeira; Não foi possível registar os caudais de água quente que passava em cada uma das bombas pertencentes ao circuito de água quente; Não foi possível determinar o caudal de água quente e a temperatura a que circulava nos circuitos das piscinas de competição e de aprendizagem e conseqüentemente, não se determinou a eficácia e potência térmica dos permutadores assim como efetuar um balanço energético a esses ramais.

No entanto, apesar de todos estes entraves, foi possível determinar o caudal de água quente que passava no circuito principal das piscinas e no circuito que fornecia água quente à UTA e desumidificador, com o auxílio do diagrama de carga relativo ao quadro das piscinas.

Outras observações que se efetuaram na dita piscina foram que o sistema de filtragem e de desinfecção da piscina de competição se encontrava avariado, pelo que todos os dias os funcionários repunham entre 30 a 50 m³ de água corrente; as paredes exteriores possuíam focos de humidade.

Relativamente á simulação, foi utilizado a ferramenta informática *EnergyPlus*, versão 8.1. A diferença entre os consumos obtidos por esta ferramenta e as faturas, ronda os 8,2%. Contudo este modelo necessita de ser otimizado, uma vez que os consumos energéticos mensais apresentados neste edifício, diferem substancialmente em alguns meses dos consumos energéticos apresentados nas faturas.

Após a visita e a possível análise aos consumos energéticos, propôs-se algumas medidas de melhoria deste edifício em estudo, com vista a reduzir os seus consumos energéticos e garantir os mesmos padrões de qualidade aos seus utilizadores.

A primeira medida analisada de melhoria do desempenho energético deste edifício, foi a avaliação da viabilidade da colocação de isolamento nas paredes exteriores. Apesar de estas paredes possuírem isolamento térmico, conforme o descrito na memória descritiva, contudo, existem focos de humidade nas ditas paredes, pelo que ao introduzir isolamento exterior nestas paredes utilizando a técnica *Cappotto* seria uma hipótese de redução dos ditos focos.

Analisaram-se dois materiais isolantes, em que esta técnica podia ser aplicada: lã de rocha e poliestireno expandido, com diferentes espessuras. Concluiu-se que o material que obteve maiores poupanças nos consumos e custos energéticos, foi o Poliestireno expandido, com a espessura de 12 cm. Contudo, este estudo não pode ser considerado válido, uma vez que foi efetuado através do modelo virtual, concebido no *EnergyPlus*.

A segunda medida analisada, foi a colocação de lonas de proteção para as piscinas de competição e aprendizagem. Esta solução é bastante vantajosa, no que toca à poupança de consumos e custos energéticos, uma vez que o retorno do investimento é rápido, entre 3 a 4 meses e as poupanças energéticas e económicas são significativas.

O material escolhido para estas lonas foi o Poliéster, uma vez que este material possuía um retorno de investimento mais baixo, cerca de 3 meses.

A terceira medida estudada, foi a análise dos consumos e custos energéticos anuais com os filtros da piscina de competição avariados. A poupança económica anual com a reparação

dos filtros é de 6944,59 €, pelo que seria uma medida de reduzir os consumos e os custos com o gás propano.

A quarta medida analisada, foi a análise das poupanças energéticas e anuais da colocação de um sistema misto, com o auxílio dos painéis solares, do aquecimento das águas das piscinas deste complexo desportivo. As principais conclusões deste estudo, é que existem poupanças energéticas anuais de 127789 kWh e 69175 kWh, para as piscinas de competição e de aprendizagem, respetivamente. Quanto às poupanças económicas anuais são da ordem dos 9622,51 € para a piscina de competição e de 5208,88 € para a piscina de aprendizagem, pelo que seria uma solução de medida para reduzir a dependência do gás propano para o aquecimento das ditas piscinas.

Finalmente, foi sugerido o melhoramento da eficiência energética, relativamente ao consumo da eletricidade. Uma solução seria a substituição de todas as luminárias existentes neste edifício por luminárias LED. Ao efetuar um estudo energético e económico desta solução, verificou-se que é uma solução energeticamente e economicamente viável, sendo o retorno do investimento cerca de 4 anos e 9 meses. A poupança anual energética desta solução ronda os 1660,81 €, o que auxilia na redução dos consumos energéticos e também na redução da despesa da utilização desta fonte de energia.

Para trabalho futuro neste projeto, sugere-se que haja uma validação do modelo virtual desenvolvido no *EnergyPlus*.

Para que este modelo seja válido, necessita dos seguintes dados: rendimento energético das caldeiras; potência de ventilação da UTA que serve a nave das piscinas e seu desempenho.

Em última análise, gostaria de salientar que este trabalho resultou num culminar dos conhecimentos que adquiri ao longo deste mestrado, pelo que contribuiu para aprofundar os conhecimentos académicos na área de Energia. As principais limitações deste trabalho, prenderam-se com a realização da simulação e modelação energética deste edifício.

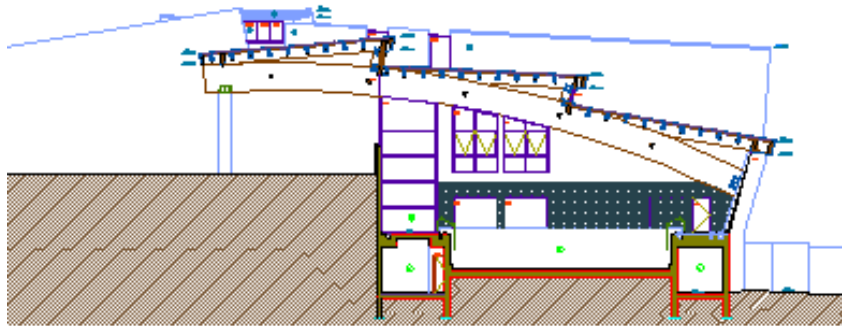
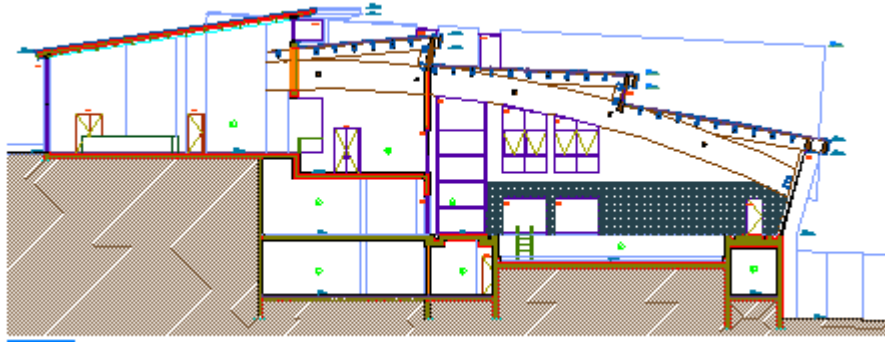
Referências Documentais

- [1] ADENE, <http://www.adene.pt/>
- [2] Decreto – Lei n.º 118/2013
- [3] Norma Portuguesa 4448
- [4] WOOLEY, Jonathan; HARRINGTON, Curtis; MODERA, Mark - *Swimming pools as heat sinks for air conditioner: Model design and experimental validation for natural thermal behaviour of the pool*, Building and Environment Journal, Elsevier, julho de 2010.
- [5] TRIANTRI-STOURNA, E.; SPYROPOULOU, K.; THEOFYLAKTOS, C.; DROUTSA, K.; BALARAS, C. A.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. N.; LAZAROPOULOU, G.; PAPANIKOLAOU, N. - *Energy conservation for sports . centers: Part B, Swimming Pools*, Energy and Buildings Journal, Elsevier, julho de 1997.
- [6] LAZZARIN, Renato M.; LONGO, Giovanni A. – *Comparison of Heat Recovery Systems in Public Indoor Swimming Pools*, Pergamon, setembro de 1995. ISBN 1359 – 4311(95)00059 – 3.
- [7] ASDRUBALI, F. – *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*, Energy and Buildings Journal, Elsevier, outubro de 2008.
- [8] *EnergyPlus Documentation, Version 8.1*, outubro de 2013.
- [9] SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C.; ABBOT, M.M. – *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química 5.ª Edição*, 2000, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- [10] CENGEL, Yunus A. – *Heat Transfer, A Practical Approach 2nd Edition*, McGraw – Hill.
- [11] SARTORI, Ernani – *A Critical Review of Equations Employed for the Calculation of the Evaporation Rate from free water surfaces*, Solar Energy n.º 68, 1999, Elsevier.
- [12] NOUANENGUE, Herve Frank; SANSREGRET, Simon; LE LOSTEC, Brice; DAOUD, Ahmed – *Energy Model Validation of Heated Outdoor Swimming Pools in Cold Water*, Proceeding of Buildings Simulation, novembro de 2011, 12th Conference of International Building Performance Simulation.
- [13] Robert Mauser Lda., <http://www.mauser.pt/catalog/>
- [14] SANTOS, Carlos A. Pina dos; MATIAS, Luís – *Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente dos edifícios, versão atualizada de 2006*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [15] Portal de Saúde Pública, <http://www.saudepublica.web.pt/06-saudeambiental/061-Aguas/piscinas.htm>
- [16] *ASHRAE Handbook – HVAC Applications*, chapter 5, 2011
- [17] Redes Desportivas Online, <http://www.redesdesportivasonline.com/REDES-E-SEGURANCA/Cobertores-para-piscinas>
- [18] Despacho n.º 17313/2008 de 26 de junho

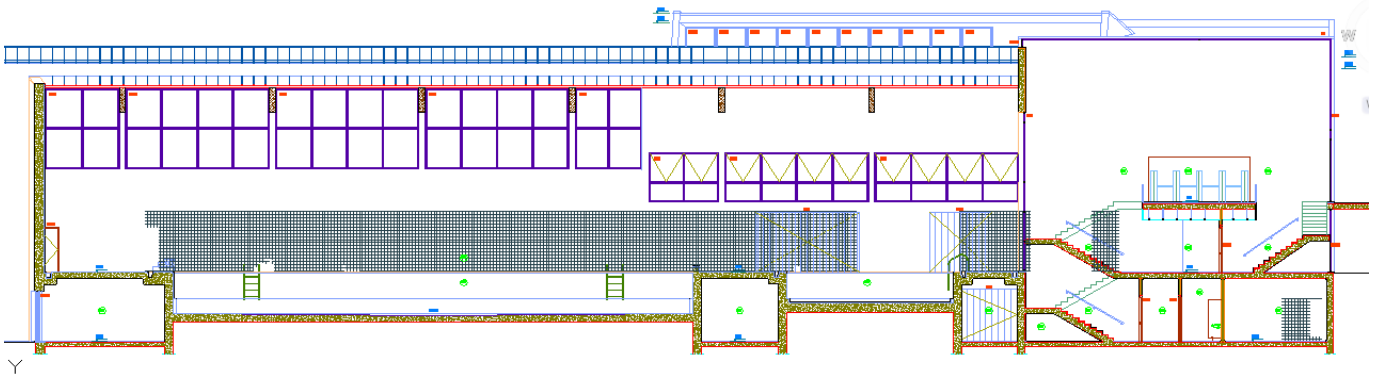
[19] Portal da ERSE, [http:// www.erse.pt](http://www.erse.pt)

Anexo A. Plantas Arquitetônicas das Piscinas Cobertas de Armamar

- **Planta dos Alçados**

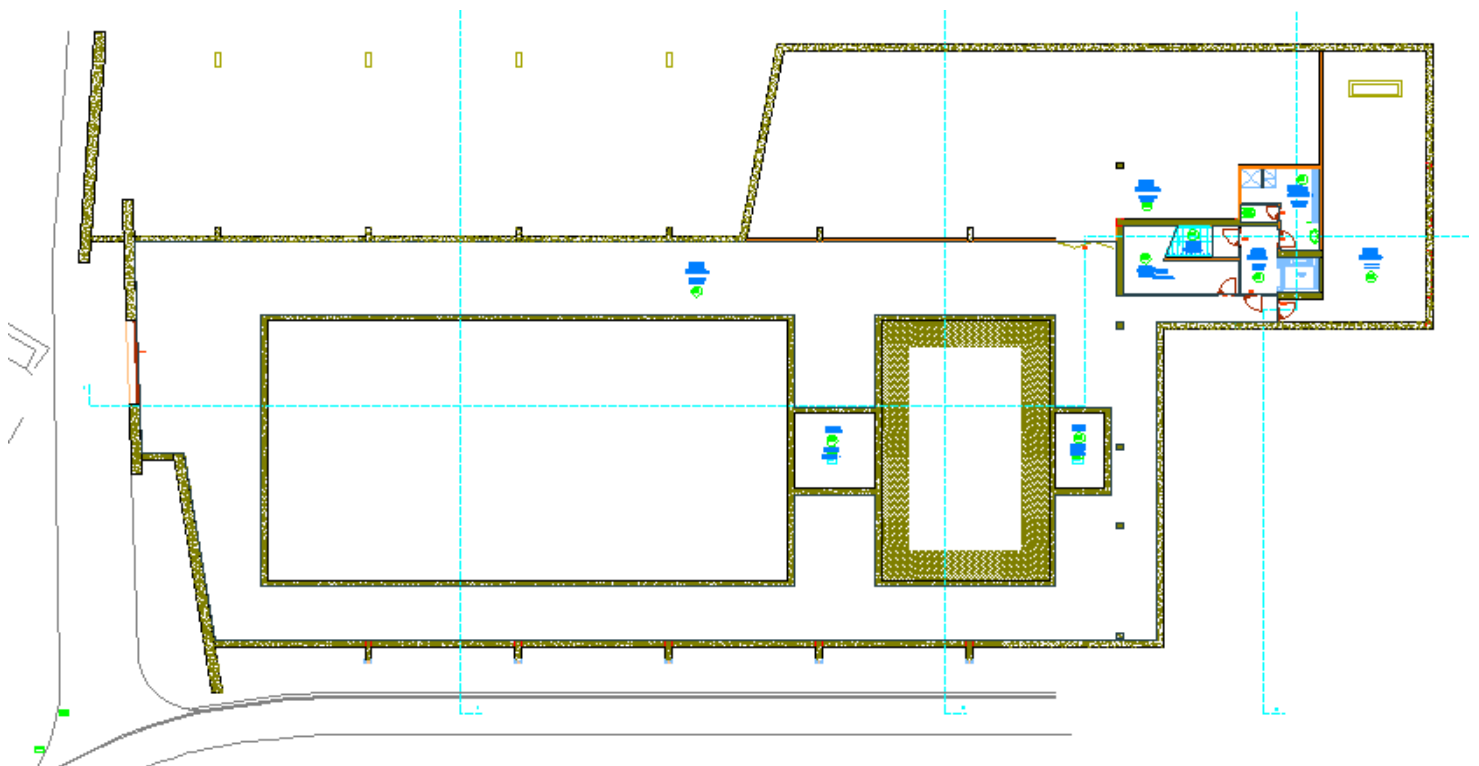


- **Planta das Piscinas Cobertas em corte Longitudinal**

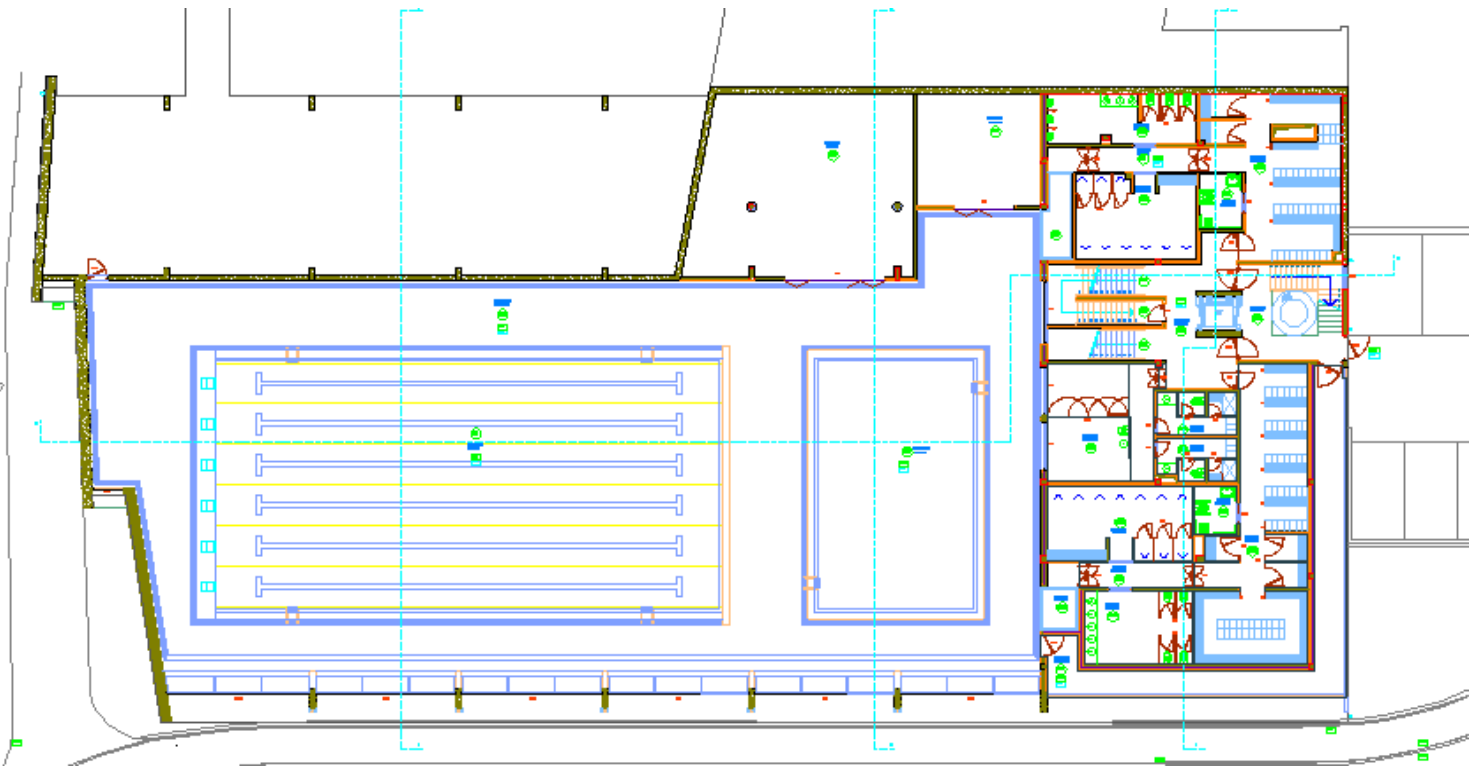


- **Planta dos Pisos das Piscinas Cobertas de Armamar**

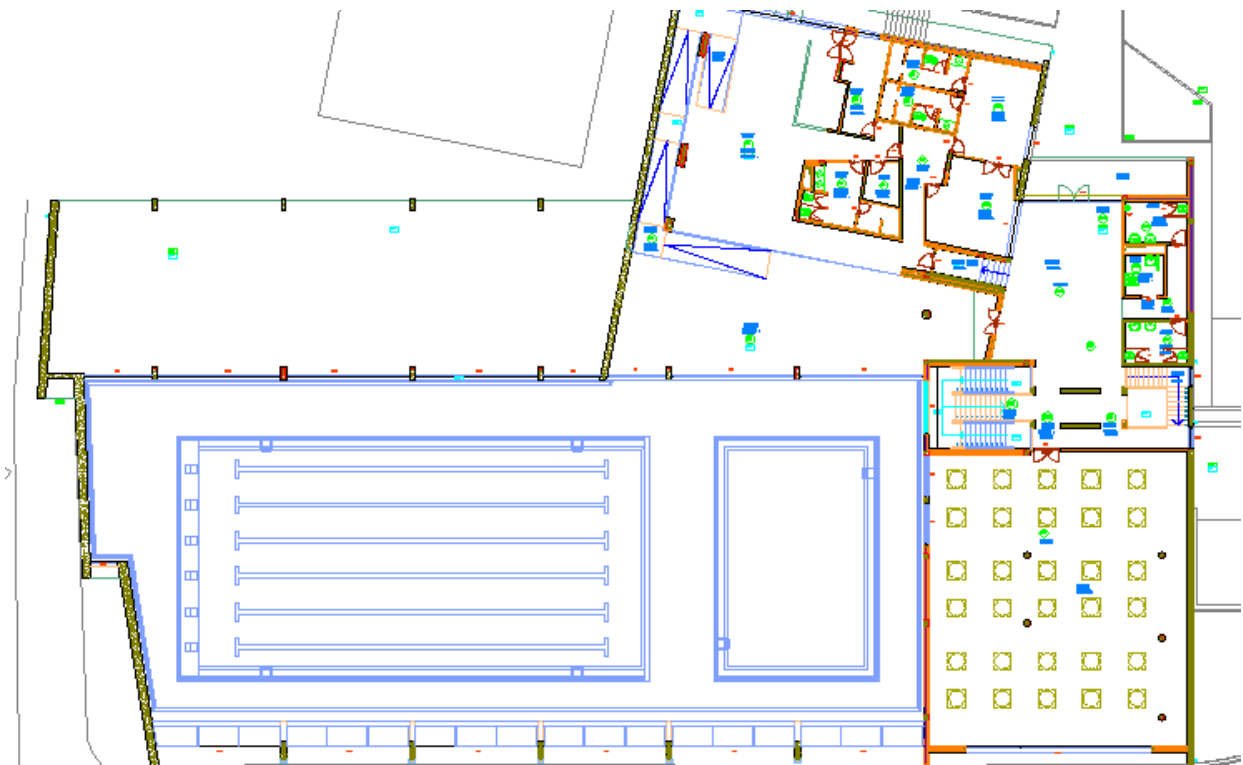
- a) **Piso -2**



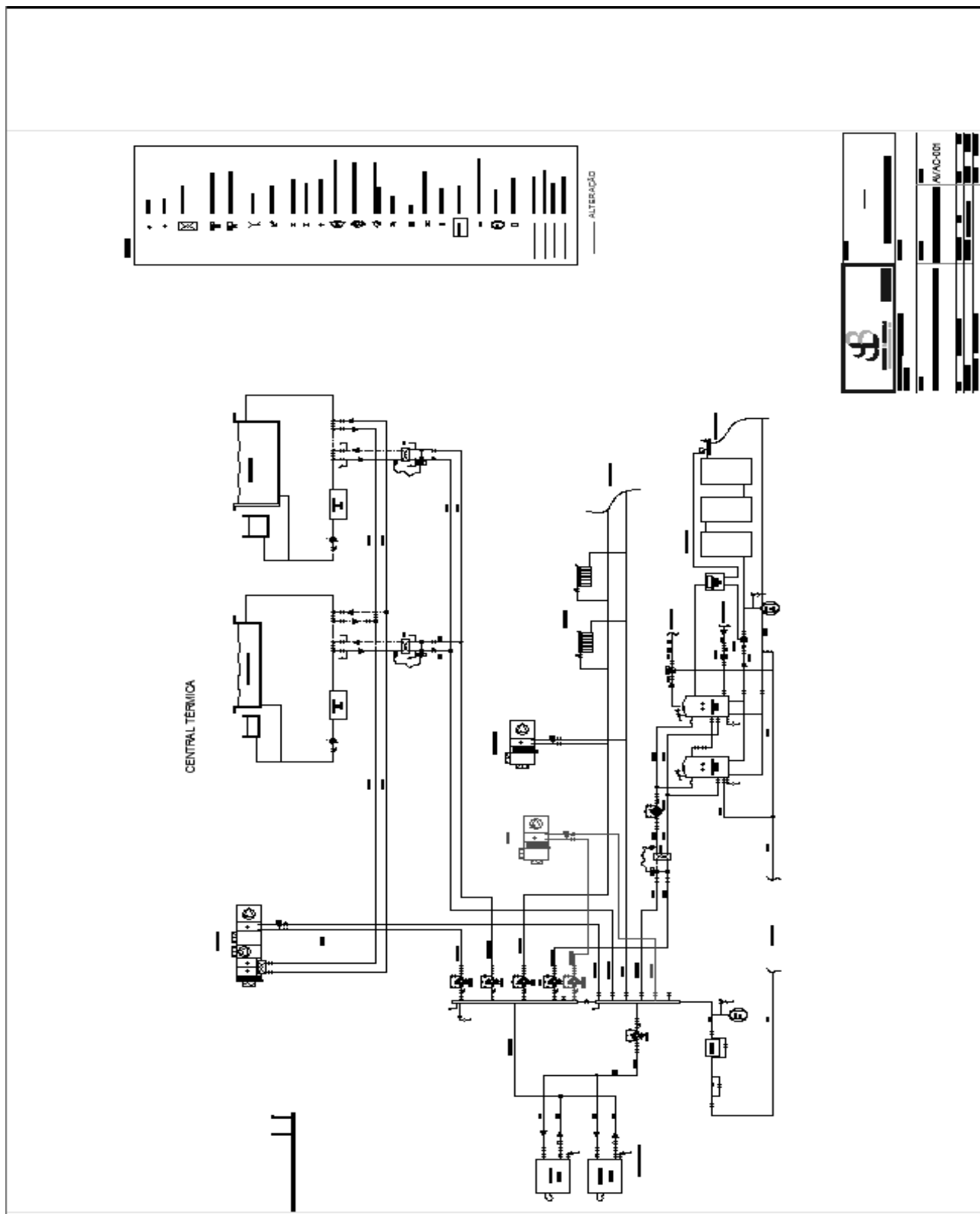
b) Piso -1



c) Piso 0



Anexo B. Planta AVAC Instalada no Edifício



Anexo C. Fichas Técnicas dos Equipamentos AVAC instalados no edifício.

- Ficha Técnica do Chiller que alimenta o Ginásio

> **service and monitoring**

monitored spaces

- > CIAT is an international company with service offices around the world.
- > CIAT's Service division offers maintenance contracts suited to your needs.
- > CIAT offers several communication solutions:
 - remote control centralising all the parameters of each Roof Top unit at a single point,
 - monitoring system that includes a specific software program and PC for checking and changing parameters by remote control,
 - the controller features specific boards for various communications protocols.




> performance specifications* newSPACE - RPF / IPF range

Model	Air Flow (m³/s)	Cooling capacity (kW)	EEER	Heating capacity (kW)	CO2P	Size (mm)
90	4,000	21.9	2.9	22.3	3.5	33
120	4,000	30.3	3.0	30.7	3.4	33
140	6,700	36.4	3.0	36.6	3.3	33
160	9,000	41.7	3.0	44.3	3.4	33
240	10,000	59.4	3.3	62.4	3.4	45 / 72
320	14,300	74.4	3.0	74.3	3.3	55 / 72
340	15,900	83.9	2.9	85.9	3.3	55 / 72
420	16,000	106.6	3.4	107.3	3.4	55 / 145
485	16,300	115.2	3.4	117.3	3.3	55 / 145
540	20,400	125.5	3.2	129.1	3.1	55 / 145
600	26,000	141.8	3.1	142.8	3.4	92 / 145
650	27,900	156.1	3.3	153.9	3.3	92 / 197
720	30,000	166.4	3.2	169.8	3.1	92 / 197
840	32,000	190.4	3.0	204.9	3.1	92 / 197
940	37,000	210.9	3.0	232.2	3.0	92 / 197
1100	40,000	235.2	3.7	241.0	3.0	145 / 197
1200	44,000	236.4	3.4	264.5	2.9	145 / 197

> performance specifications* newSPACE with active recovery unit

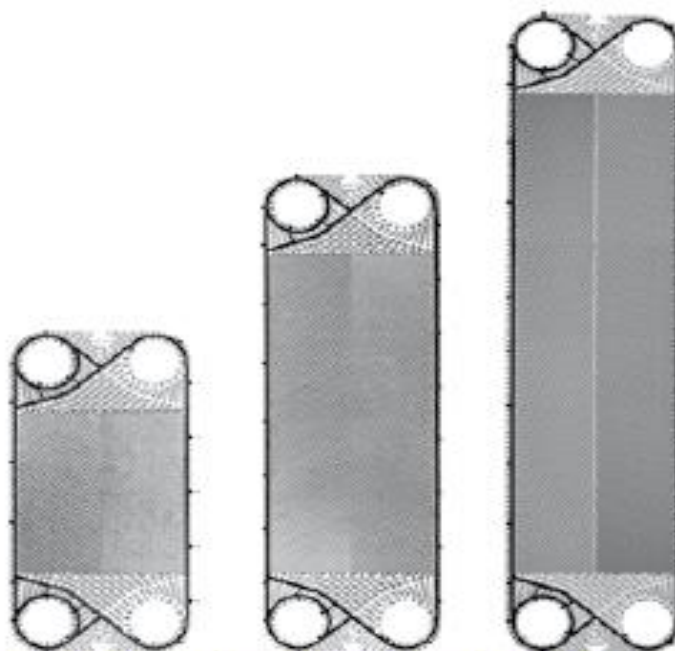
Model	Air Flow (m³/s)	Heating capacity (kW)	EEER	Heating capacity (kW)	CO2P	Size (mm)
240	12,000	93.9	4.2	81.4	3.7	45 / 72
320	14,300	111.7	3.8	95.7	3.4	55 / 72
340	15,900	122.7	3.7	105.2	3.2	55 / 72
420	18,000	148.4	4.5	127.4	3.5	81 / 145
485	18,200	159.4	4.3	134.3	3.4	81 / 145
540	20,400	182.1	4.0	152.1	3.3	81 / 145
600	24,000	198.7	3.9	163.9	3.4	81 / 145
650	27,500	224.7	4.3	190.4	3.5	81 / 197
720	30,000	237.8	4.0	202.5	3.4	81 / 197
840	32,000	273.2	3.8	244.1	3.3	81 / 197
940	37,000	295	3.5	271.4	3.3	81 / 197
1100	42,000	344.5	3.8	311.4	3.2	145 / 197
1200	44,000	387.5	3.4	334.8	3.2	145 / 197

*Cooling mode: rating conditions of 27°C with 50% humidity. Outdoor temperature: 37°C. Heating mode: outdoor temperature of 6°C, indoor air temperature of 22°C.



BP 14 - 01350 CULOZ - FRANCE
Tel. : + 33 (0)4 79 42 42 42
info@ciat.fr - www.ciat.com

- Ficha Técnica dos Permutadores de Calor instalados nas Piscinas Municipais



Product Range	P300+			P450+			P700+	
Exchange area, m ²	0,268			0,482			0,697	
Width, mm	425			425			425	
Height, mm	877			1322			1767	
Connections diameter	DN100 4"			DN100 4"			DN100 4"	
Channel capacity, l	0,766			1,217			1,669	
Tightening measures	3,1 x Np			3,1 x Np			3,1 x Np	
Plate weight (with gasket), Kg	1,42			2,21			3,02	
Thermal length	A/B			A/B			A/B	
Max. water flowrate, m ³ /h	240			240			240	
PS-> Max working pressure, bar	10	16	25	10	16	25	10	16
PT-> Max test pressure, EXEMPT*, bar	15	21	30	15	21	30	15	21
PT-> Max test pressure, PED, bar	16	26	40	16	26	40	16	26

Ex art. 3.3 D.Lgs. 93 of 25/02/2000 in accordance with Directive 97/23.
Announced pressures are referred to AISI 316L plates.



Figura C. 1: Imagem do Chiller instalado nas Piscinas Municipais de Armamar



Figura C. 2: Dados Técnicos da UTA dos Balneários.

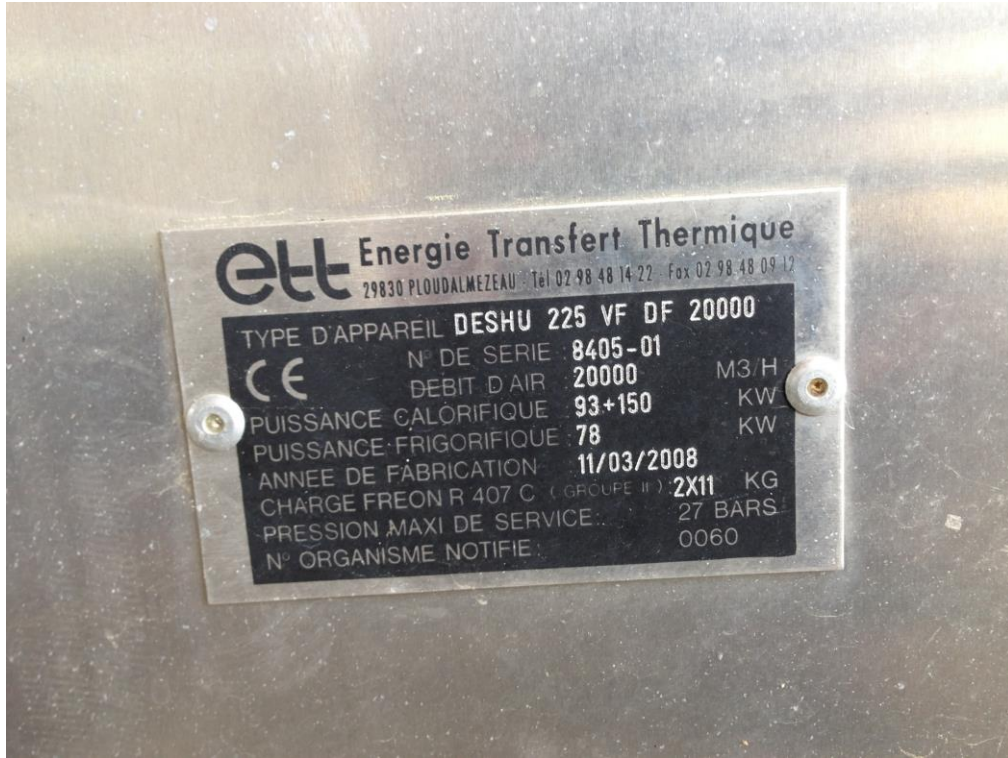


Figura C. 3: Dados Técnicos do Desumidificador instalado na UTA da Piscina

Anexo D. Curvas da instalação das Bombas existentes no Edifício

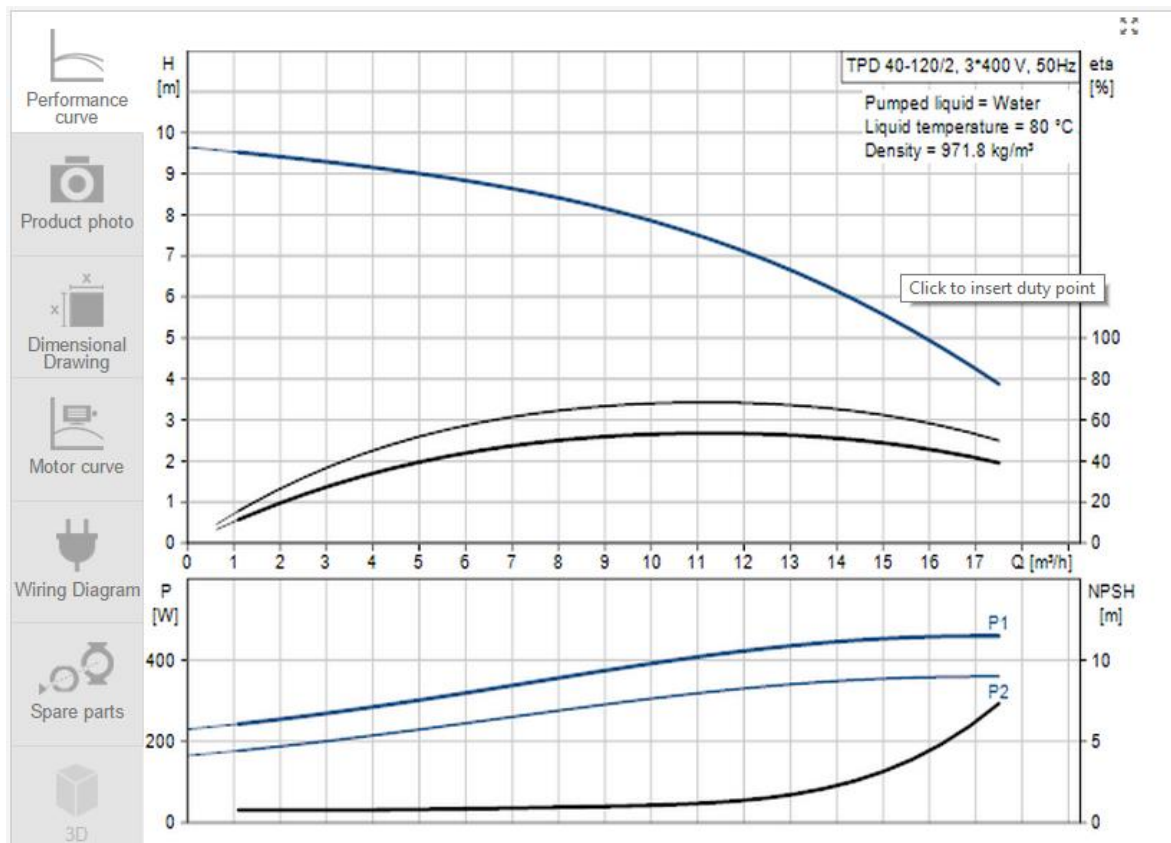


Figura D. 1 – Curvas da instalação da marca Grundfos modelo 96401967.

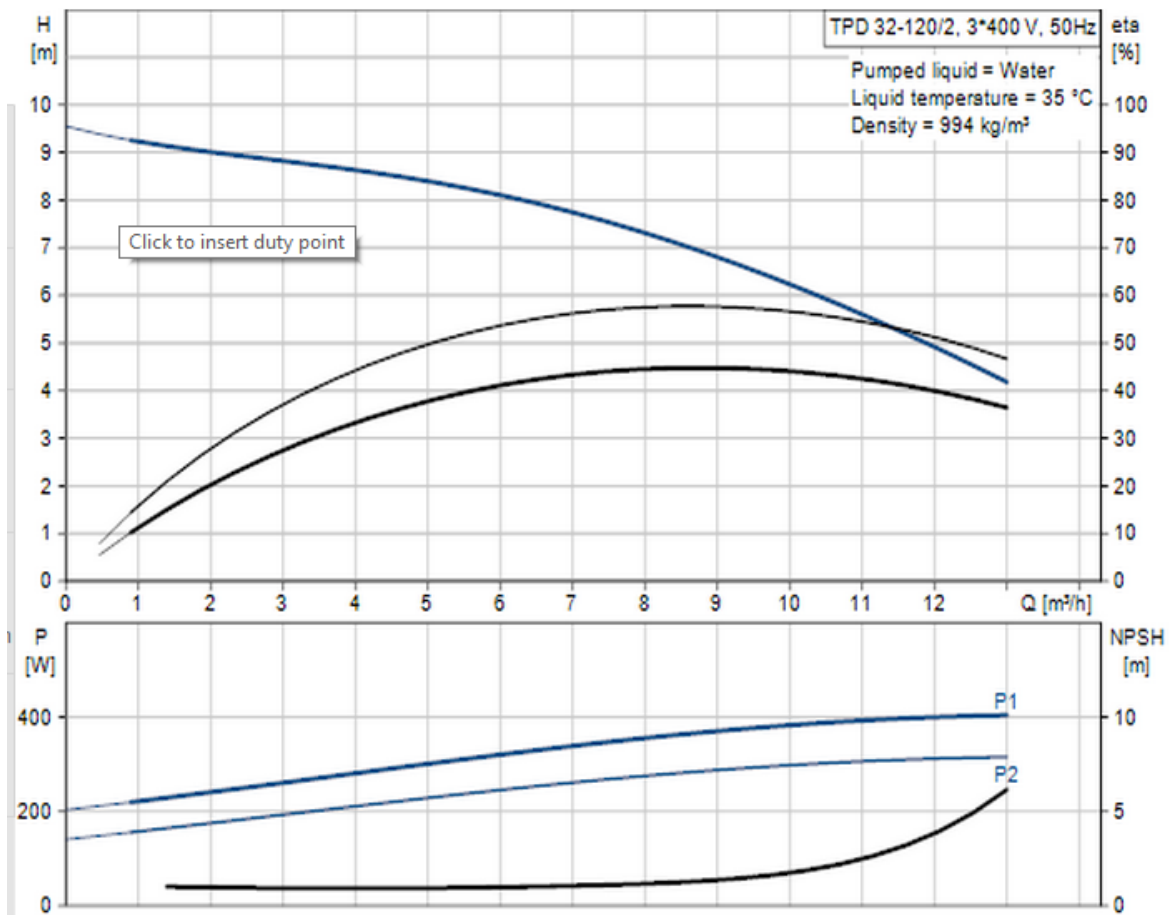


Figura D. 2 – Curvas da instalação da marca Grundfos modelo 96401860.

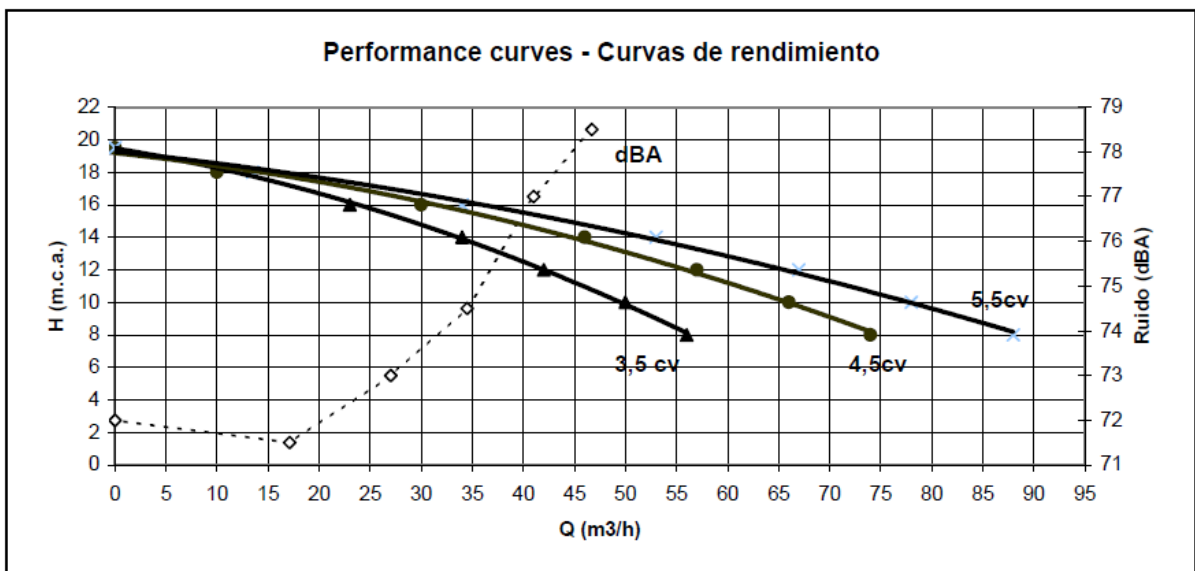


Figura D. 3- Curvas da instalação das bombas marca Doll S.A.

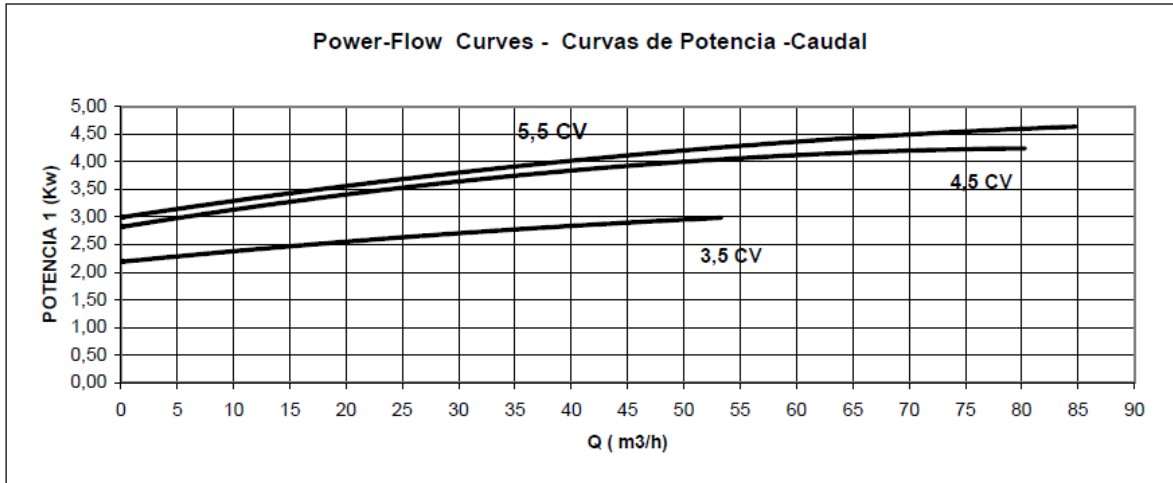


Figura D. 4- Curvas da instalação das bombas marca Doll S.A.

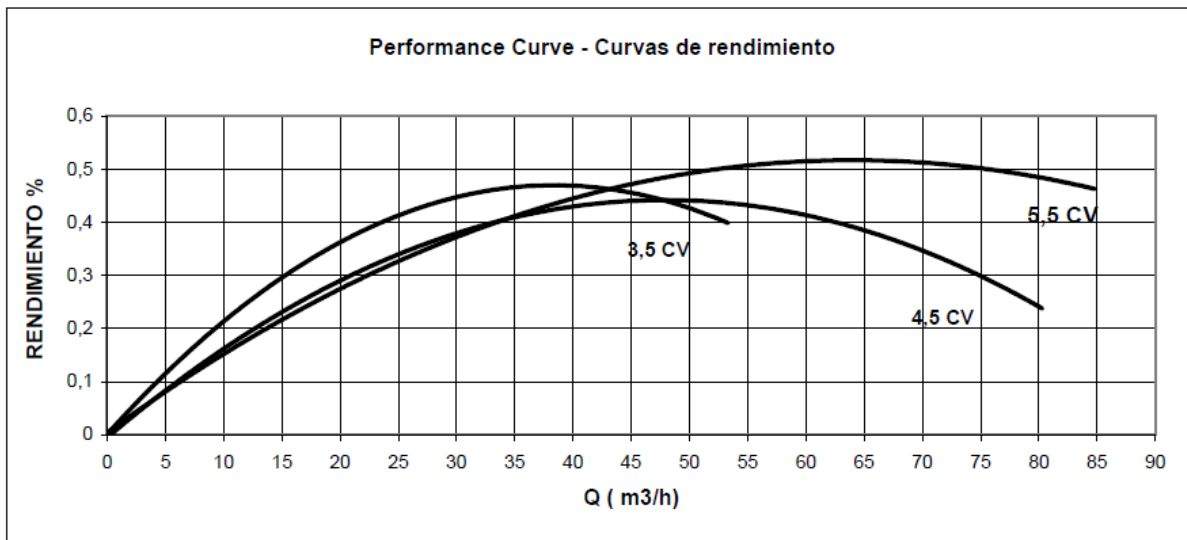


Figura D. 5 – Curvas da instalação das bombas marca Doll S.A.

Anexo E. Resultados Detalhados da Simulação Utilizando a ferramenta informática *Solterm*

Piscina de Competição

SolTerm 5.0

Licenciado a ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: ST_40/200
Tipo: Plano
40 módulos (75,2 m²)
Inclinação 48° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 3,820 W/m²/K a2= 0,010
W/m²/K²

Rendimento óptico: 71,5%

Modificador de ângulo: a	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
40°									
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	
0,95									
	a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
85°	90°								
		0,93	0,90	0,87	0,82	0,75	0,65	0,49	0,14
0,00	0,00								

Permutador

Externo, com eficácia 75%

Caudal no grupo painel/permutador: 41,7 l/m² por hora (=0,87 l/s)

Depósito

Modelo: Depósito 2000 l
Volume: 4000 l
Área externa: 7,06 m²
Material: médio condutor de calor
Posição vertical
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 5,40 W/K

2 conjuntos depósito/permutador.

Tubagens

Comprimento total: 70,0 m
Percurso no exterior: 17,5 m com protecção mecânica
Diâmetro interno: 37,0 mm
Espessura do tubo metálico: 3,0 mm
Espessura do isolamento: 36,0 mm
Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K
Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

Piscina em Armamar_CP_SEMANA

Temperatura nominal de consumo: 37°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
		26	26	26	26	26	26	26	26	26
26	26	26								

Perfis de consumo (l)		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
01		2634	2609	2569	2521	2441	2347			2314
2422	2548	2621								
02		2641	2618	2579	2534	2457	2365			2331
2434	2558	2628								
03		2648	2627	2588	2547	2473	2384			2348
2447	2567	2636								
04		2655	2637	2598	2559	2488	2402			2365
2459	2576	2644								
05		2662	2646	2608	2572	2488	2401			2383
2471	2586	2652								

06		2669	2656	2618	2570	2479	2385		2382
2483	2595	2659							
07		2675	2655	2611	2553	2451	2347		2367
2480	2605	2667							
08		2668	2643	2584	2516	2406	2293		2326
2459	2596	2662							
09		2643	2613	2537	2466	2347	2227		2261
2415	2569	2644							
10		2604	2570	2480	2405	2284	2155		2186
2351	2526	2607							
11		5054	5016	4921	4838	4722	4585		4607
4777	4971	5057							
12		5007	4960	4867	4779	4668	4526		4530
4714	4914	5009							
13		4967	4915	4823	4738	4625	4481		4475
4660	4863	4968							
14		2441	2392	2298	2213	2102	1959		1939
2121	2334	2439							
15		4771	4724	4624	4541	4430	4286		4267
4444	4663	4770							
16		4788	4740	4639	4556	4442	4299		4281
4463	4680	4790							
17		4820	4774	4674	4587	4472	4335		4326
4508	4715	4822							
18		4854	4811	4723	4637	4522	4389		4392
4565	4753	4852							
19		4882	4843	4770	4691	4582	4455		4457
4614	4785	4877							
20		4904	4868	4807	4736	4636	4520		4510
4653	4812	4898							
21		4923	4890	4837	4772	4679	4570		4552
4685	4834	4916							
22		2604	2573	2525	2465	2377	2275		2251
2376	2517	2596							
23		2617	2587	2544	2488	2402	2304		2277
2397	2532	2608							
24		2627	2599	2559	2505	2421	2327		2298
2413	2545	2618							
diário	85758	84966	83383	81789	79394	76617			76425
79811	83644	85640							

Carga térmica: fim-de-semana

Piscina em Armamar_APRENDIZAGEM_FDS

Temperatura nominal de consumo: 37°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								

		28	28	28	28	28	28	28	28	28
28	28	28								

Perfis de consumo (l)		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
hora	Out	Nov	Dez							
01	676	729	765	755	738	718	684	644		
02	681	733	768	759	742	723	691	652		
03	686	737	771	762	746	729	697	660		
04	691	741	774	767	750	734	704	667		
05	696	745	777	771	754	739	704	667		
06	702	749	780	775	759	738	700	660		
07	700	753	783	774	756	731	688	644		
08	691	749	780	769	744	715	669	621		
09	673	738	769	756	725	694	644	593		
10	646	720	752	738	700	669	617	563		
11	1549	1630	1665	1650	1609	1574	1525	1467		
12	1522	1606	1646	1626	1586	1549	1502	1443		
13	1499	1585	1629	1607	1568	1532	1484	1423		
14	549	639	684	663	624	588	541	480		
15	544	636	682	662	620	585	538	477		
16	552	643	689	669	626	591	543	483		
17	571	658	703	683	641	604	556	498		
18	595	675	717	699	662	625	577	521		
19	616	688	729	712	682	648	602	549		
20	632	699	738	723	697	667	625	576		
21	646	708	746	732	710	682	643	597		
22	656	716	753	739	719	694	657	614		
23	665	722	758	746	727	703	667	626		
24	672	728	762	751	734	711	676	636		
diário	18110	19727	20620	20288	19619	18943	17934	16761		
			20571							

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

Piscinas Armamar Competição | 29/10/2014

10:48:21 |

Piscina de Aprendizagem

SolTerm 5.0

Licenciado a ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: ST_40/200

Tipo: Plano

40 módulos (75,2 m²)

Inclinação 48° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 3,820 W/m²/K a2= 0,010
W/m²/K²

Rendimento óptico: 71,5%

Modificador de ângulo: a	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
40°									
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	
0,95									
	a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
85°	90°								
		0,93	0,90	0,87	0,82	0,75	0,65	0,49	0,14
0,00	0,00								

Permutador

Externo, com eficácia 75%

Caudal no grupo painel/permutador: 41,7 l/m² por hora (=0,87 l/s)

Depósito

Modelo: Depósito 2000 l

Volume: 4000 l

Área externa: 7,06 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coeficiente de perdas térmicas: 5,40 W/K

2 conjuntos depósito/permutador.

Tubagens

Comprimento total: 70,0 m
Percurso no exterior: 17,5 m com protecção mecânica
Diâmetro interno: 37,0 mm
Espessura do tubo metálico: 3,0 mm
Espessura do isolamento: 36,0 mm
Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K
Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

Piscina em Armamar_CP_SEMANA

Temperatura nominal de consumo: 37°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
		26	26	26	26	26	26	26	26	26
26	26	26								

Perfis de consumo (l)		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
01		2634	2609	2569	2521	2441	2347			2314
2422	2548	2621								
02		2641	2618	2579	2534	2457	2365			2331
2434	2558	2628								
03		2648	2627	2588	2547	2473	2384			2348
2447	2567	2636								
04		2655	2637	2598	2559	2488	2402			2365
2459	2576	2644								
05		2662	2646	2608	2572	2488	2401			2383
2471	2586	2652								
06		2669	2656	2618	2570	2479	2385			2382
2483	2595	2659								
07		2675	2655	2611	2553	2451	2347			2367
2480	2605	2667								
08		2668	2643	2584	2516	2406	2293			2326
2459	2596	2662								
09		2643	2613	2537	2466	2347	2227			2261
2415	2569	2644								

10		2604	2570	2480	2405	2284	2155		2186
2351	2526	2607							
11		5054	5016	4921	4838	4722	4585		4607
4777	4971	5057							
12		5007	4960	4867	4779	4668	4526		4530
4714	4914	5009							
13		4967	4915	4823	4738	4625	4481		4475
4660	4863	4968							
14		2441	2392	2298	2213	2102	1959		1939
2121	2334	2439							
15		4771	4724	4624	4541	4430	4286		4267
4444	4663	4770							
16		4788	4740	4639	4556	4442	4299		4281
4463	4680	4790							
17		4820	4774	4674	4587	4472	4335		4326
4508	4715	4822							
18		4854	4811	4723	4637	4522	4389		4392
4565	4753	4852							
19		4882	4843	4770	4691	4582	4455		4457
4614	4785	4877							
20		4904	4868	4807	4736	4636	4520		4510
4653	4812	4898							
21		4923	4890	4837	4772	4679	4570		4552
4685	4834	4916							
22		2604	2573	2525	2465	2377	2275		2251
2376	2517	2596							
23		2617	2587	2544	2488	2402	2304		2277
2397	2532	2608							
24		2627	2599	2559	2505	2421	2327		2298
2413	2545	2618							
diário		85758	84966	83383	81789	79394	76617		76425
79811	83644	85640							

Carga térmica: fim-de-semana

Piscina em Armamar_APRENDIZAGEM_FDS

Temperatura nominal de consumo: 37°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
		28	28	28	28	28	28	28	28	28
28	28	28								

Perfis de consumo (l)

hora		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Out	Nov	Dez								
01		765	755	738	718	684	644			
676	729	760								

02		768	759	742	723	691	652
681	733	763					
03		771	762	746	729	697	660
686	737	766					
04		774	767	750	734	704	667
691	741	769					
05		777	771	754	739	704	667
696	745	773					
06		780	775	759	738	700	660
702	749	776					
07		783	774	756	731	688	644
700	753	779					
08		780	769	744	715	669	621
691	749	777					
09		769	756	725	694	644	593
673	738	769					
10		752	738	700	669	617	563
646	720	754					
11		1665	1650	1609	1574	1525	1467
1549	1630	1667					
12		1646	1626	1586	1549	1502	1443
1522	1606	1647					
13		1629	1607	1568	1532	1484	1423
1499	1585	1629					
14		684	663	624	588	541	480
549	639	683					
15		682	662	620	585	538	477
544	636	682					
16		689	669	626	591	543	483
552	643	690					
17		703	683	641	604	556	498
571	658	703					
18		717	699	662	625	577	521
595	675	716					
19		729	712	682	648	602	549
616	688	727					
20		738	723	697	667	625	576
632	699	736					
21		746	732	710	682	643	597
646	708	743					
22		753	739	719	694	657	614
656	716	749					
23		758	746	727	703	667	626
665	722	754					
24		762	751	734	711	676	636
672	728	759					
diário	20620	20288	19619	18943	17934	16761	
18110	19727	20571					

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Vila Nova de Gaia
Coordenadas nominais: 41,1°N, 8,6°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Orientação do painel: inclinação 48° - azimute 0°

Balanço energético mensal e anual

Apoio	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh
kWh					
20420 Janeiro	52	90	,	3010	23430
16410 Fevereiro	69	106	,	3526	19936
16994 Março	105	128	,	4011	21005
15194 Abril	144	150	,	5168	20361
16254 Maio	173	158	,	5293	21547
12893 Junho	185	158	,	5242	18135
0 Julho	205	179	,	0	0
0 Agosto	184	183	,	0	0
11211 Setembro	129	149	135,	4429	15640
16222 Outubro	95	137	,	5448	21670
17252 Novembro	62	106	,	3619	20871
18630 Dezembro	49	91	,	3005	21635
----- Anual	1452	1634	135,	42752	204231
161480					

Fracção solar: 20,9%

Rendimento global anual do sistema: 35%
kWh/[m² colector]

Produtividade: 569

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

Piscinas Armamar Competição | 29/10/2014

10:48:21 |

Anexo F. Análise Energética e Económica à solução LED

- **Piso -2**

-

Luminárias	n.º de lampadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kWh)	Energia mensal (kW)	Energia anual (kWh)	Custos (€)
T8 LED	45	22	1,05	5	1262,25	4	16,67	5,049	121,176	1029,996	144,20
T8 LED	4	22	1,05	5	112,2	4	16,67	0,4488	10,7712	91,5552	12,82

- **Piso -1**

Luminárias	n.º de lâmpadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kW)	Energia mensal (kW)	Energia anual (kWh)	Custos (€)
LED G24	28	6	1,05	5	337,4	4	16,67	1,35	32,39	275	38,54
T8 LED	46	22	1,05	5	1290,3	4	16,67	5,16	123,87	1053	147,40
T8 LED	28	22	1,05	5	785,4	4	16,67	3,14	75,40	641	89,72
T8 LED	6	22	1,05	5	168,3	4	16,67	0,67	16,16	137	19,23
PLC G24	11	7	1,05	5	143,55	4	16,67	0,57	13,78	117	16,40

- **Piso 0**

Luminárias	n.º de lâmpadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kW)	Energia mensal (kW)	Energia anual (kWh)	Custos (€)
LED G24	6	6	1,05	5	72,3	4	16,67	0,29	6,94	59,00	8,26
T8 LED	40	22	1,05	5	1122	4	16,67	4,49	107,71	915,55	128,18
T8 LED	22	22	1,05	5	617,1	4	16,67	2,47	59,24	503,55	70,50
T8 LED	4	22	1,05	5	112,2	4	16,67	0,45	10,77	91,56	12,82
PLC G24	49	7	1,05	5	639,45	4	16,67	2,56	61,39	521,79	73,05
CDM-T 35W/830	6	35	1,05	5	246,3	4	16,67	0,99	23,64	200,98	28,14
LED HP 30 W	7	30	1,25	5	253,75	4	16,67	1,02	24,36	207,06	28,99
LED HP 50 W	9	50	1,25	5	506,25	4	16,67	2,03	48,60	413,10	57,83

Anexo G. Consumos e Custos Anuais das Luminárias existentes nas Piscinas Municipais de Armamar

- **Piso -2**

Luminária	n.º de lâmpadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kWh)	Energia mensal (kWh)	Energia anual (kWh)	Custo anual (€)
Phillips Pacific 1*TL-D58W	45	58	1,05	7	2972	4	16,67	11,9	285,3	2853	399,55
Phillips Pacific 2*TL-D58W	4	58	1,05	7	264	4	16,67	1,06	25,4	254	30,18

- Piso -1

(n.º de lâmpadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kWh)	Energia mensal (kWh)	Energia anual (kWh)	Custo anual (€)
Phillips Pacific 2*PL-C/2P18 W	28	18	1,05	7	729	4	16,67	2,92	70	595	88,33
Phillips Pacific 1*TL-D58W	46	58	1,05	7	3038	4	16,67	12,15	292	2479	347,10
Phillips Pacific 2*TL-D58W	28	58	1,05	7	1849	4	16,67	7,40	178	1509	211,88
Phillips Indolight 2*TL- D58 W	6	58	1,05	7	396	4	16,67	1,59	38	323	45,27
Phillips Fugato Compact 1*PL-C/4P26W	11	26	1,05	7	375	4	16,67	1,50	36	306	42,79

• **Piso 0**

Piso 0	n.º de lâmpadas	Potência (W)	Balastro (W)	Potência Equivalente (W)	Potência Instalada (W)	Horas Ligada	Fator Utilização (%)	Energia diária (kWh)	Energia mensal (kWh)	Energia anual (kWh)	Custo anual (€)
Phillips Pacific 2*PL-C/2P18 W	6	18	1,05	7	156	4	16,67	0,63	15	128	17,86
Phillips Pacific 1*TL- D58W	40	58	1,05	7	2642	4	16,67	10,57	254	2156	301,82
Phillips Pacific 2*TL-D58W	22	58	1,05	7	1453	4	16,67	5,81	139	1186	166,00
Phillips Indolight 2*TL- D58 W	4	58	1,05	7	264	4	16,67	1,06	25	216	30,18
Phillips Fugato Compact 1*PL-C/4P26W	49	26	1,05	7	1668	4	16,67	6,67	160	1361	190,60
Phillips Garnera MPK 630 P-D 315 1*CDM - T 70W/830	6	70	1,05	7	468	4	16,67	1,87	45	382	53,50
Phillips Optiflood MVP 506 1*HPI - T 250 W	7	250	1,25	35	2004	4	16,67	8,02	192	1635	228,91
Phillips Optiflood MVP 506 1*HPI - T 400 W	9	400	1,25	35	3926	4	16,67	15,71	377	3204	448,53

Anexo H. Equipamento de Medição dos Gases de Combustão

Tabela K. 1- Dados técnicos do analisador de gases Ecom-EN2-F

Características do Equipamento	
Possui mais de 4 sensores de gases	Características Técnicas
Medição do diferencial de pressão ± 100 hPa	
Impressora integrada de impressão rápida	
Monitor condensado eletrônico	
Mini condensador de Peltier para preparação de gases profissionais	
Medidor em forma de pistola de 300 mm com tubo de 3 câmaras de 2,6 m	
Tubagem isolada com Teflon para a medição de NO _x e SO ₂	
Mede O ₂ (0 – 21%)	Medições do Equipamento
Mede CO (0 – 4000 ppm)	
Temperatura do Gás (0 – 500.°C)	
Temperatura do ar (0 – 99.°C)	
NO (0 – 5000 ppm)	
NO ₂ (0 – 1000 ppm)	
SO ₂ (0 – 5000 ppm)	
CO gama expandida (0 – 1000 ppm)	
%CO (0 – 63 ppm)	
Diferencial de Temperatura	

Além destas características técnicas, este equipamento tem a capacidade de determinar:

- Percentagem de CO₂;
- Percentagem de O₂;
- Eficiência do rendimento;
- Percentagem de perdas;
- Excesso de Ar.

Anexo I. Dados de Entrada do *EnergyPlus*

- **Localização do Edifício**

Localização	Armamar
Latitude (deg)	41,1
Longitude (deg)	-7,4
Fuso Horário	0 (Fuso horário de Londres)
Altitude (m)	579

- **Característica do Edifício**

Nome	Piscinas Municipais
Rotação em relação ao ponto cardeal norte (deg)	120
Localização	Subúrbios
Margem de erro para os ganhos	0,04
Margem de erro para a diferença de temperatura (.°C)	0,4
Distribuição Solar no edifício	Exclusivamente pelo exterior
Número máximo de dias quentes	25
Número mínimo de dias quentes	6

Anexo J. Colocação do Isolamento nas paredes exteriores

Para efetuar uma análise de modo a selecionar qual o melhor isolante e qual a espessura ideal de modo a ser aplicada neste edifício, recorreu-se ao simulador dinâmico *EnergyPlus*. Assim sendo pode-se comparar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento que este edifício tinha sem isolamento com o isolamento a diferentes espessuras. Estudaram-se as espessuras de 5, 8, 10, 12, 15 e 20 cm, para os dois materiais selecionados previamente.

No gráfico abaixo, mostra a poupança energética com os ganhos para os dois materiais selecionados versus a espessura.

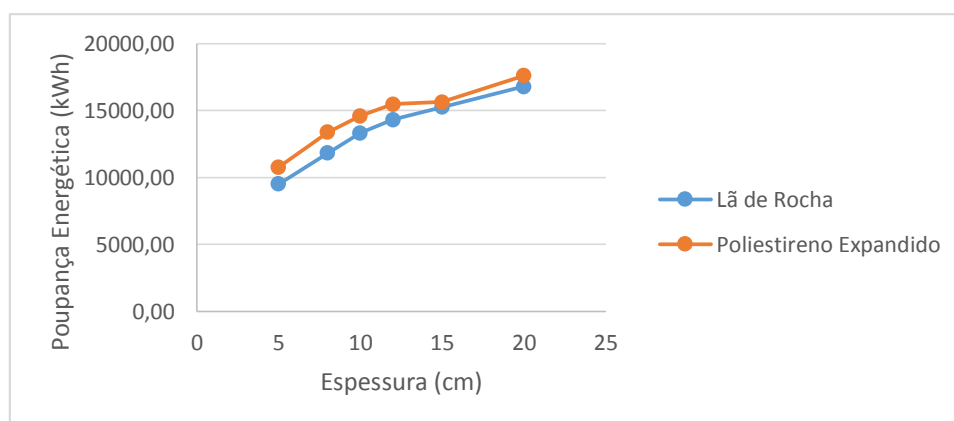


Figura L. 1: Ganhos das Piscinas Municipais versus espessura, utilizando os isolantes selecionados.

O gráfico representado na figura L.1, relaciona a espessura do isolante em cm, com a poupança dos ganhos energéticos anuais do edifício em estudo, expresso em kWh. Com este gráfico, pode-se concluir que, quanto maior a espessura do isolante, maior é a poupança energética

Em seguida, apresenta-se o gráfico que relaciona a poupança económica anual com os consumos energéticos versus a espessura do isolante.

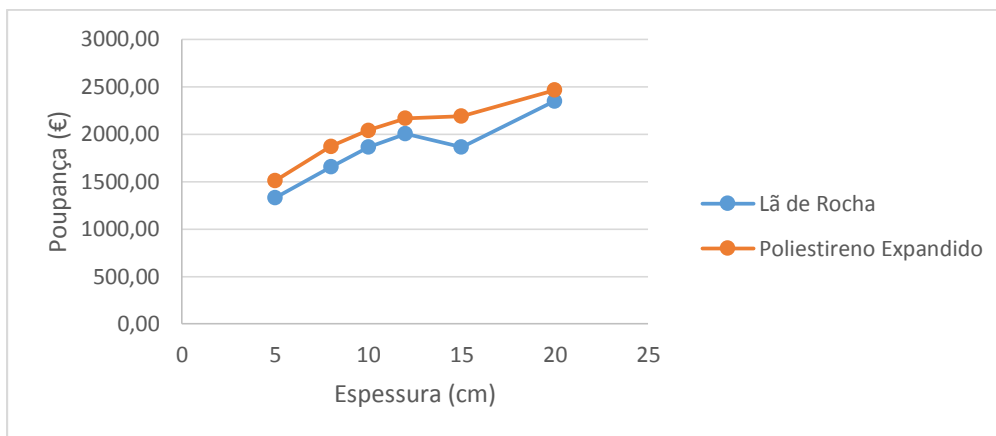


Figura L. 2: Poupança anual dos consumos energéticos versus espessura, utilizando os isolantes selecionados.

No gráfico da figura L.2, relaciona a espessura do isolante, expresso em cm, com a poupança económica nos consumos energéticos anuais, expresso em euros. A principal conclusão em observarmos este gráfico é que quanto maior for a espessura do isolante, maior vai ser a poupança económica com os gastos energéticos neste edifício.

De modo a determinar qual será a espessura de isolante a utilizar dita “ideal”, efetuou-se uma análise ao *payback*, para cada espessura dos materiais analisados, cuja relação está exposta no gráfico da figura 34.

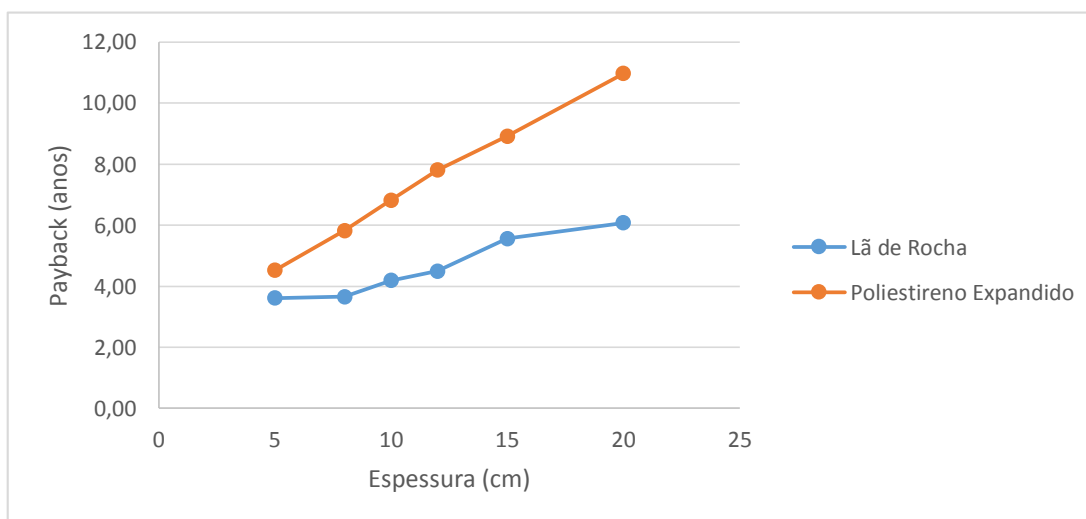


Figura L. 3: Payback versus espessura, utilizando os isolantes selecionados.

Ao verificar o gráfico da figura L.3, que relaciona a espessura do isolante em cm, com o *payback*, expresso em anos. Conclui-se que a lã de rocha, possui um menor retorno de

investimento, do que o poliestireno expandido, mas com a análise deste gráfico, não se pode determinar qual será a espessura ótima.

Assim sendo, o gráfico exposto na figura 35, relaciona a poupança económica e a poupança energética versus a espessura do isolante.

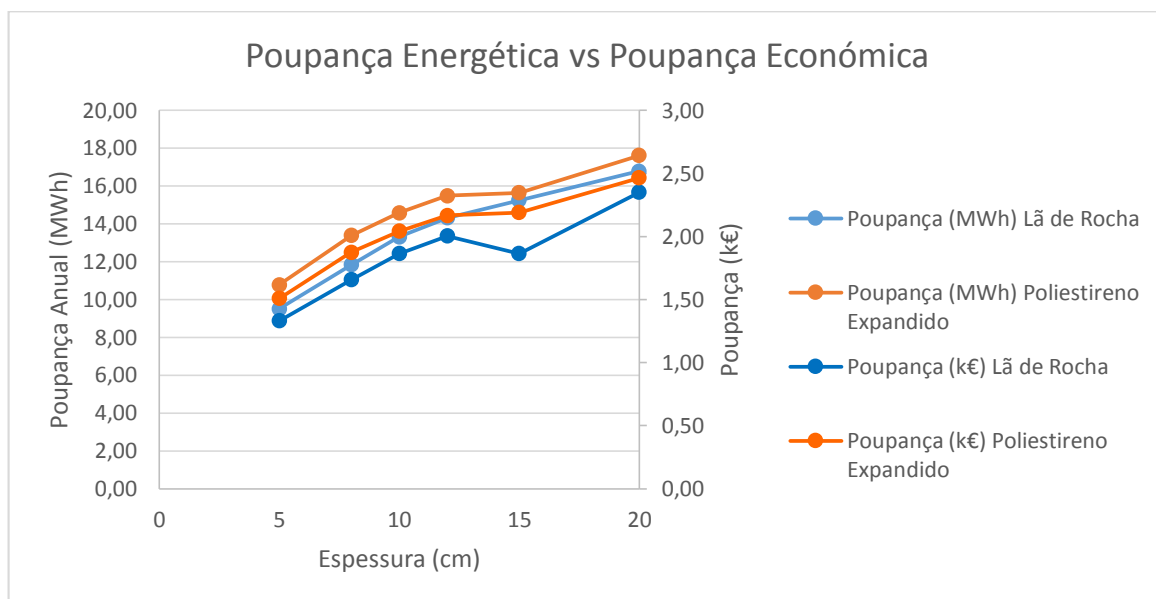


Figura L. 4: Relação entre a poupança económica e energética versus espessura do isolante

Ao observar o gráfico da figura L.4, que relaciona a espessura do isolante, expresso em mm, com a poupança energética, expresso em MWh e a poupança económica, expresso em k€, chega-se à conclusão de que a melhor solução para introduzir isolamento nas paredes exteriores, utilizando a técnica *Cappoto*, será o poliestireno expandido com a espessura de 12 cm.

Apesar deste material, possuir um *payback* superior em relação ao isolante lã de rocha, este possui maiores poupanças energéticas e económicas anuais, pelo que será a melhor solução.