

Eliseu Manuel Artilheiro Ribeiro

## Avaliação e controlo integrado de processos energéticos em piscinas interiores numa perspectiva de optimização

Dissertação de Doutoramento na área científica de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, especialidade em Sistemas de Energia, Orientada pelo Senhor Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e pelo Senhor Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela e apresentada ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

**“ Avaliação e controlo integrado de processos  
energéticos em piscinas interiores numa  
perspectiva de optimização “**

Eliseu Manuel Artilheiro Ribeiro

Dissertação apresentada no âmbito do curso de Doutoramento  
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
na área de especialização em Sistemas de Energia

Trabalho realizado sob orientação de:

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge,  
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Coimbra, Agosto de 2014



## **ABSTRACT**

The energy consumption of the European Union has undergone sustained growth over the last two decades, with a relative balance concerning the various sectors. However, the Portuguese case has no analogous behaviour, registering a growth very asymmetric at the sector level, and verifying that it is the service sector that has been most outstanding this increase in the order of 217%.

Within the services sector can find a variety of buildings and activities with different energy consumption profiles.

By study conducted to date it is clear that the indoor swimming pools have high energy consumption.

In terms of Portugal, there has been a significant increase in the number of indoor swimming pools, which evaluated from 116 in 1998 to 357 in 2003 and more recently to 410 in 2012.

The energy optimization of indoor swimming pools through building energy management systems is not current practice, as well as the implementation of control models adapted to the particularities of each installation.

This study develops models that optimize energy control procedures. For the HVAC system, started from the building energy performance simulation of in order to study the environmental conditions that ensure the recommended levels of thermal comfort of users.

For the recirculating water system was formulated theoretical models control, in conjunction with variable frequency drivers, which produce substantial reductions of consumption of electric power. For other processes models were defined leading to the current state of the investigation.

**Keywords:** Indoor Swimming Pools; Energy Optimization; HVAC; Building Energy Performance Simulation; Pumping System, Variable frequency driver; Building Energy Management Systems.



## RESUMO

O consumo energético da União Europeia tem sofrido um crescimento sustentável ao longo das duas últimas décadas, com um relativo equilíbrio em relação aos vários sectores de actividade. Contudo, o caso português não tem um comportamento análogo, registando-se um crescimento bastante assimétrico ao nível sectorial, verificando-se que é no sector dos serviços que este incremento mais se destacou, na ordem dos 217%.

No sector dos serviços pode-se encontrar uma diversidade de edifícios e actividades com perfis distintos de consumo energético.

Perante os estudos efectuados até ao momento é possível constatar que os complexos desportivos com piscina(s) interiores têm um elevado consumo energético.

Ao nível de Portugal, tem-se verificado um incremento significativo do número de complexos desportivos com piscina(s) interiores, que evoluiu de 116 em 1998 para 357 em 2003 e mais recentemente para 410 em 2012.

A optimização energética dos complexos desportivos com piscina(s) interiores através dos sistemas de gestão técnica não é uma prática corrente, assim como a implementação de modelos de controlo adaptados às particularidades de cada instalação.

Este estudo desenvolve modelos de controlo que optimizam energeticamente os processos. Para o sistema de climatização, partiu-se da simulação dinâmica dos edifícios tendo em vista o estudo das condições ambientais que garantem os níveis recomendados de conforto térmico dos utilizadores. Para o sistema de recirculação da água foram formulados modelos teóricos de controlo que, em conjugação com variadores electrónicos de velocidade, permitem obter reduções substanciais de consumo de energia eléctrica. Para os outros processos foram definidos modelos conducentes com o estado actual de investigação.

Palavras-Chave: Piscinas Interiores; Optimização Energética; AVAC; Simulação Dinâmica de Edifícios; Sistema de Bombagem; Variadores Electrónicos de Velocidade; Sistemas de Gestão Técnica.



## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho só foi possível com uma expressiva contribuição dos orientadores na parte científica, com alertas dos pontos menos positivos ao longo do desenrolar do trabalho.

O meu muito obrigado ao meu amigo Luís Neves pelo desafio e ao Professor António Gomes Martins pelos caminhos que me proporcionou em 2006.

Ao meu amigo Paulo Gata, onde quer que esteja, por me ter desafiado a entrar nesta aventura da energia nos edifícios...

À FCT pela bolsa concedida ao abrigo do programa de apoio à formação avançada de docentes do Ensino Superior Politécnico com a referência: SFRH/PROTEC/49814/2009.

Ao INESC Coimbra por todo o apoio concedido.

Aos meus pais pelo apoio que me deram.

Aos familiares mais próximos por me manterem com uma boa disposição nos encontros que tivemos nos últimos anos.

Uma última referência, mas por ventura a mais importante: um agradecimento muito especial à Rosarinho que sempre esteve do meu lado e que sempre soube escolher as palavras apropriadas para me moralizar.

À minha caloira Ana pelo apoio, calado, que tem dado ao longo deste tempo.

Ao meu filho Francisco que, enquanto estava nas aulas de natação, me permitia ganhar inspiração.

Mas as minhas desculpas a todos pelo tempo que não consegui acompanhar-vos, pelo tempo que, apesar de estar presencialmente convosco, estive demasiado ocupado mentalmente com outros assuntos.





## ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1. Perfil do consumo de energia.....	1
1.2. Complexo desportivo com piscina(s) interior.....	2
1.3. Objetivos.....	4
2. Estado da Arte .....	7
2.1. Legislação e Normas.....	8
2.1.1. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios.....	8
2.1.1.1. Edifícios existentes.....	8
2.1.1.2. Edifícios novos .....	9
2.1.2. Directiva CNQ N.º 23/93 .....	9
2.1.2.1. Requisitos de qualidade e tratamento da água.....	10
2.1.2.2. Requisitos térmicos e de ventilação .....	12
2.1.2.3. Requisitos de iluminação.....	13
2.1.3. Norma NP 4448:2007 .....	13
2.1.4. Norma NP EN 15288-1:2009.....	13
2.1.4.1. Iluminação e prevenção de encandeamento .....	13
2.1.4.2. Directrizes para o aquecimento e ventilação ambiente .....	14
2.1.4.3. Cobertura para piscinas/tanques.....	14
2.1.5. Norma NP EN 15288-2:2009.....	15
2.2. Complexo desportivos com piscinas interiores .....	15
2.2.1. Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado.....	16
2.2.2. Sistema hidráulico da piscina.....	19
2.2.3. Sistema produção de AQS .....	21
2.2.4. Sistema de Iluminação .....	21
2.3. Simulação energética de edifícios.....	22
2.3.1. Esp-r.....	23
2.3.2. TRNSYS .....	23
2.3.3. EnergyPlus .....	24
2.3.4. DOE .....	24
3. Modelo de controlo.....	27
3.1. Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.....	27

3.1.1. Enquadramento para o modelo .....	27
3.1.1.1. Energia consumida pelo edifício .....	27
3.1.1.2. Energia consumida pelo tanque.....	29
3.1.1.3. Energia consumida pelo edifício e tanque.....	33
3.1.1.4. As variáveis ambientais.....	34
3.1.1.5. Cálculo da componente IEE da responsabilidade do AVAC.....	38
3.1.1.6. Cálculo do CE de responsabilidade do AVAC.....	39
3.1.2. Formulação do modelo.....	40
3.2. Sistema de Bombagem.....	40
3.2.1. Enquadramento para o modelo .....	41
3.2.1.1. Bombas hidráulicas .....	41
3.2.1.2. Curva característica da instalação .....	42
3.2.1.3. Potência hidráulica de uma bomba.....	43
3.2.1.4. Potência eléctrica solicitada pelo conjunto motor-bomba.....	44
3.2.1.5. Lei da afinidade das bombas centrífugas.....	45
3.2.2. Formulação do modelo.....	47
3.3. Sistema de Produção de Água Quente Sanitária.....	54
3.4. Sistema de Iluminação .....	55
4. Caso de estudo .....	57
4.1. Os processos .....	58
4.1.1. Sistema de climatização.....	58
4.1.2. Sistema de bombagem .....	61
4.2. O sistema de gestão técnica .....	65
5. Simulação e resultados .....	67
5.1. Sistema de AVAC.....	67
5.1.1. Simulação energética do edifício .....	67
5.1.1.1. Modelo de controlo.....	68
5.1.1.2. Oportunidade de racionalização de consumos .....	69
5.1.2. Resultados e análise da simulação .....	72
5.1.2.1. Evolução da energia sensível e latente do edifício.....	72
5.1.2.2. Valores anuais de energia consumida.....	76
5.1.2.3. Índice de Eficiência Energética .....	78
5.1.2.4. Custo Energético .....	84

5.1.2.5. Impacto das ORC .....	95
5.2. Sistema de bombagem de recirculação .....	99
5.2.1. Validação do modelo de controlo .....	99
5.2.2. Resultados e análise do modelo de controlo .....	100
5.2.2.1. Componente IEE da responsabilidade do SB .....	100
5.2.2.2. CE da responsabilidade do SB .....	100
5.2.2.3. Aplicação do modelo de controlo .....	101
6. Sistema de gestão técnica .....	109
6.1. Estrutura Física do SGTCP .....	109
6.1.1. Monitorização dos consumos globais .....	109
6.1.2. Sistema AVAC .....	110
6.1.3. Sistema de Bombagem .....	111
6.1.4. Sistema de Iluminação .....	113
6.1.5. Sistema de AQS .....	114
6.2. Controlo e monitorização dos processos .....	115
6.2.1. Monitorização dos consumos globais .....	115
6.2.2. Sistema de AVAC .....	116
6.2.3. Sistema de Bombagem .....	119
6.2.4. Sistema de Iluminação .....	122
6.2.5. Sistema de Produção de AQS .....	123
7. Conclusões e perspectivas futuras .....	125
8. Referências .....	129
Anexo A - Perfis de consumo .....	141
Anexo B - Complexos desportivos com piscina existentes em Portugal .....	143
Anexo C – Dados obtidos por simulação para o AVAC .....	155
Anexo D - Aplicação do modelo de controlo ao SB .....	193
Anexo E – Sistema de Gestão Técnica Genérico .....	201
Anexo F – Previsão do Comportamento Térmico de um Complexo de Piscinas Interiores em esp-r .....	243

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Taxa de variação do consumo de energia final em duas décadas em UE e Portugal (EC, 2012).....	2
Figura 1.2 – Estimativa de número de CPI em Portugal no final de 2012 .....	3
Figura 2.1 – Concentração de THM por dia.....	17
Figura 2.2 – Concentração de cloraminas por dia .....	17
Figura 2.3 – Perdas energéticas nas piscinas .....	18
Figura 3.1 – Balanço térmico de um edifício .....	28
Figura 3.2 – Perdas de calor no tanque, para o ambiente interior .....	30
Figura 3.3 – Evolução das varáveis ambientais - $t_{po}$ constante .....	36
Figura 3.4 – Evolução das varáveis ambientais - $t_{bh}$ constante.....	38
Figura 3.5 – Curva típica de Motor de Indução.....	44
Figura 3.6 – Exemplo de curva de afinidade e pontos de operação .....	46
Figura 3.7 – SB genérico .....	48
Figura 3.8 – Cálculo do $Q_{vn}$ .....	48
Figura 3.9 – Cálculo do $\Delta H$ e $\Delta Q$ .....	49
Figura 3.10 – Cálculo do $Q_{vv}$ .....	50
Figura 3.11 – Curva de afinidade .....	52
Figura 4.1 - Esquema da UTA que desumidifica e aquece .....	60
Figura 4.2 – Curva característica da bomba da PO .....	62
Figura 4.3 – Curva característica da bomba da PR.....	63
Figura 4.4 – Curvas características do sistema hidráulico da PO.....	64
Figura 4.5 – Curvas características do sistema hidráulico da PR.....	64
Figura 5.1 – Energia Sensível, totais anuais PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	73
Figura 5.2 – Energia Sensível, totais anuais PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b).....	73
Figura 5.3 – Energia Latente, totais anuais da PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) ...	75
Figura 5.4 – Energia Latente totais anuais da PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	75
Figura 5.5 – Correlação linear do $IEE_{AVAC}$ da PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	80
Figura 5.6 – Correlação linear do $IEE_{AVAC}$ da PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	81
Figura 5.7 – Evolução do $IEE_{AVAC}$ da PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b).....	82

Figura 5.8 – Evolução do $IEE_{AVAC}$ da PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b).....	83
Figura 5.9 – Correlação linear do $CE_{AVAC}$ da PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	86
Figura 5.10 – Correlação linear do $CE_{AVAC}$ da PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) ....	86
Figura 5.11 – Evolução do $CE_{AVAC}$ da PO - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b).....	88
Figura 5.12 – Evolução do $CE_{AVAC}$ da PR - Critério $t_{bh}$ (a) e Critério $t_{po}$ (b) .....	88
Figura 5.13 – $CE_{AVAC}$ para o ano de 2006 - PO (a) e PR (b) .....	91
Figura 5.14 – $CE_{AVAC}$ equivalente para o ano de 2007 - PO (a) e PR (b) .....	91
Figura 5.15 – $CE_{AVAC}$ equivalente para o ano de 2008 - PO (a) e PR (b) .....	92
Figura 5.16 – $CE_{AVAC}$ equivalente para o ano de 2009 - PO (a) e PR (b) .....	93
Figura 5.17 – $CE_{AVAC}$ equivalente para o ano de 2010 - PO (a) e PR (b) .....	93
Figura 5.18 – $CE_{AVAC}$ equivalente para o ano de 2011 - PO (a) e PR (b) .....	94
Figura 5.19 – Impacto da cobertura do plano de água no IEE .....	95
Figura 5.20 – Potencial de poupança da cobertura do plano de água.....	96
Figura 5.21 – Potencial de redução dos consumos em horas de ponta.....	97
Figura 5.22 – Impacto da redução dos consumos em horas de ponta no IEE .....	98
Figura 5.23 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO) .....	103
Figura 5.24 – SB com três bombas em funcionamento (PR) .....	104
Figura 5.25 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO regime teórico).....	105
Figura 5.26 – Impacto do SB no IEE .....	107
Figura 5.27 – Impacto do SB no CE.....	107
Figura 6.1 – Planta de pormenor de localização dos sensores na UTA.....	111
Figura 6.2 – Esquema de princípio do SB .....	112
Figura 6.3 – Esquema de princípio do Sistema de AQS .....	114
Figura 6.4 – Estratégia de controlo do sistema de AVAC.....	117
Figura 6.5 – Estratégia de controlo do SB.....	120
Figura C.1 – Totais mensais de energia sensível da PO - $t_{bh}$ (a) e $t_{po}$ (b) .....	155
Figura C.2 – Totais mensais de energia sensível da PR - $t_{bh}$ (a) e $t_{po}$ (b).....	156
Figura C.3 – Totais mensais de energia latente da PO - $t_{bh}$ (a) e $t_{po}$ (b).....	157
Figura C.4 – Totais mensais de energia latente da PR - $t_{bh}$ (a) e $t_{po}$ (b).....	158
Figura C.5 – Totais diários de energia sensível, $t_{bh}$ - PO.....	162

Figura C.6 – Totais diários de energia sensível, $t_{po}$ - PO.....	166
Figura C.7 – Totais diários de energia sensível, $t_{bh}$ - PR.....	170
Figura C.8 – Totais diários de energia sensível, $t_{po}$ - PR.....	174
Figura C.9 – Totais diários de energia latente, $t_{bh}$ - PO.....	178
Figura C.10 – Totais diários de energia latente, $t_{po}$ - PO.....	182
Figura C.11 – Totais diários de energia latente, $t_{bh}$ - PR.....	186
Figura C.12 – Totais diários de energia latente, $t_{po}$ - PR.....	190
Figura D.1 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO).....	193
Figura D.2 – SB com quatro bombas em funcionamento (PO).....	194
Figura D.3 – SB com três bombas em funcionamento (PO).....	195
Figura D.4 – SB com duas bombas em funcionamento (PO).....	195
Figura D.5 – SB com três bombas em funcionamento (PR).....	196
Figura D.6 – SB com duas bombas em funcionamento (PR).....	197
Figura D.7 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO regime teórico).....	198
Figura D.8 – SB com quatro bombas em funcionamento (PO regime teórico).....	198
Figura D.9 – SB com três bombas em funcionamento (PO regime teórico).....	199
Figura D.10 – SB com duas bombas em funcionamento (PO regime teórico).....	199
Figura E.1 – Planta de pormenor de localização dos sensores na UTA.....	204
Figura E.2 – Esquema de princípio do SB.....	208
Figura E.3 – Esquema de princípio do Sistema de AQS.....	211
Figura E.4 – Fluxograma do sistema de climatização da nave da piscina.....	217
Figura E.5 – Algoritmo de aferição da curva característica de uma bomba.....	222
Figura E.6 – Algoritmo de aferição da curva característica do sistema de bombas.....	223
Figura E.7 – Algoritmo de aferição da curva característica da instalação.....	224
Figura E.8 – Algoritmo para determinação dos parâmetros de funcionamento do SB.....	225
Figura E.9 – Algoritmo de cálculo do $IS$ da instalação.....	226
Figura E.10 – Algoritmo de cálculo do $n_f$ função do caudal.....	227
Figura E.11 – Algoritmo de cálculo do par $(n_f, f)$ .....	230
Figura E.12 – Algoritmo de cálculo da velocidade de cada bomba em regime vv.....	232
Figura E.13 – Algoritmo para escalonamento de funcionamento das bombas.....	234
Figura E.14 – Algoritmo para controlo do SB.....	235
Figura E.15 – Algoritmo do SI - sem iluminação natural.....	238

Figura E.16 – Algoritmo do SI - com iluminação natural .....	239
Figura E.17 – Algoritmo do AQS de um chuveiro.....	241
Figura F.1 – Orientação do edifício.....	243

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Temperatura da água dos tanques segundo a sua tipologia.....	12
Tabela 2.2 - Valores de referência de THM .....	16
Tabela 2.3 - Valores de referência de cloraminas, segundo INRS .....	17
Tabela 3.1 – Temperatura ambiente que minimizam as perdas por evaporação.....	32
Tabela 3.2 – Critério da $t_{po}$ constante .....	35
Tabela 3.3 – Critério da temperatura de bolbo húmido constante.....	38
Tabela 4.1 – Condições de funcionamento.....	57
Tabela 4.2 – IEE e valores característicos do Edifício .....	57
Tabela 4.3 – Consumos relativos dos processos dos CPI.....	58
Tabela 4.4 – Características especificadas para as UTA da PO .....	58
Tabela 4.5 – Características especificadas para as UTA da PR .....	59
Tabela 4.6 – Características técnicas da caldeira .....	59
Tabela 4.7 – Características técnicas das UTA instaladas na PO.....	59
Tabela 4.8 – Características técnicas das UTA instaladas na PR.....	60
Tabela 4.9 – Características técnicas do SB .....	61
Tabela 4.10 – Parâmetros do SB da PO .....	63
Tabela 4.11 – Parâmetros do SB da PR.....	64
Tabela 5.1 – Variáveis ambientais da PO, no período noturno, critério $t_{bh}$ .....	68
Tabela 5.2 – Variáveis ambientais da PR, no período noturno, critério $t_{bh}$ .....	68
Tabela 5.3 – Variáveis ambientais da PO, no período noturno, critério $t_{po}$ .....	69
Tabela 5.4 – Variáveis ambientais da PR, no período noturno, critério $t_{po}$ .....	69
Tabela 5.5 – Variáveis ambientais da PO, ORC 1 .....	70
Tabela 5.6 – Variáveis ambientais da PR, ORC 1.....	70
Tabela 5.7 – Variáveis ambientais da PO, ORC 2 .....	71
Tabela 5.8 – Variáveis ambientais da PR, ORC 2.....	71



Tabela 5.9 – Temperatura da água da rede.....	76
Tabela 5.10 – Consumo energético das piscinas (2006) (MWh) .....	77
Tabela 5.11 – Consumo energético das piscinas (2006) critério $t_{bh}$ (tep).....	77
Tabela 5.12 – Consumo energético das piscinas (2006) critério $t_{po}$ (tep).....	78
Tabela 5.13 – IEE e valores característicos do Edifício .....	78
Tabela 5.14 – $IEE_{AVAC}$ desagregado .....	79
Tabela 5.15 – Valores do $IEE_{AVAC}$ calculados por simulação (por piscina e critério) .....	79
Tabela 5.16 – Constantes $a_{IEE}$ e $b_{IEE}$ do modelo de controlo.....	81
Tabela 5.17 – $IEE_{AVAC}$ modelo <i>versus</i> correlação linear, PO.....	83
Tabela 5.18 – $IEE_{AVAC}$ modelo <i>versus</i> correlação linear, PR.....	83
Tabela 5.19 – Custos Energéticos do Edifício (ano 2006) .....	84
Tabela 5.20 – CE do AVAC desagregado (ano 2006) .....	84
Tabela 5.21 – $CE_{AVAC}$ da PO.....	85
Tabela 5.22 – $CE_{AVAC}$ da PR.....	85
Tabela 5.23 – Constantes $a_{CE}$ e $b_{CE}$ do modelo de controlo.....	87
Tabela 5.24 – $CE_{AVAC}$ (2006) - modelo <i>versus</i> correlação linear, PO.....	89
Tabela 5.25 – $CE_{AVAC}$ (2006) - modelo <i>versus</i> correlação linear, PR.....	89
Tabela 5.26 – Preços médios da EE e do GN.....	90
Tabela 5.27 – Redução do custo de EE em horas de ponta/ano .....	97
Tabela 5.28 – Redução do custo da potência média em horas de ponta/ano.....	97
Tabela 5.29 – Parâmetros do SB de validação .....	99
Tabela 5.30 – Modelo de Carlson <i>versus</i> Modelo de controlo proposto.....	99
Tabela 5.31 – IEE real do SB .....	100
Tabela 5.32 – CE real do SB .....	100
Tabela 5.33 – Parâmetros do SB da PO .....	101
Tabela 5.34 – Parâmetros do SB da PR.....	101
Tabela 5.35 – Parâmetros do SB da PO regime teórico .....	101
Tabela 5.36 – Caudais máximos da PO.....	102
Tabela 5.37 – Cenário para a PO.....	102
Tabela 5.38 – Caudais máximos da PR.....	103
Tabela 5.39 – Cenário para a PR .....	103
Tabela 5.40 – Caudais máximos da PO regime teórico.....	104

Tabela 5.41 – Cenário para a PO .....	104
Tabela 5.42 – $IEE_{SB}$ do modelo de controlo.....	106
Tabela 5.43 – $CE_{SB}$ do modelo de controlo .....	106
Tabela 5.44 – Período de retorno do modelo de controlo do SB .....	106
Tabela 6.1 - Variáveis da monitorização dos consumos globais.....	110
Tabela 6.2 - Variáveis do Sistema AVAC.....	111
Tabela 6.3 - Variáveis do SB.....	113
Tabela 6.4 - Variáveis no SI.....	114
Tabela 6.5 - Variáveis no Sistema de AQS .....	115
Tabela 6.6 – Monitorização das variáveis independentes dos consumos globais .....	115
Tabela 6.7 – Monitorização das variáveis dependentes dos consumos globais .....	116
Tabela 6.8 – Monitorização das variáveis independentes do Sistema AVAC .....	118
Tabela 6.9 – Monitorização das variáveis dependentes do Sistema AVAC .....	118
Tabela 6.10 – Monitorização das variáveis independentes do SB .....	121
Tabela 6.11 – Monitorização das variáveis dependentes do SB.....	122
Tabela 6.12 - Variáveis independentes do SI .....	122
Tabela 6.13 – Monitorização das variáveis independentes do SI.....	122
Tabela 6.14 – Monitorização das variáveis dependentes do SI.....	123
Tabela 6.15 - Variáveis independentes do AQS.....	123
Tabela 6.16 – Monitorização das variáveis independentes do AQS .....	123
Tabela 6.17 – Monitorização das variáveis dependentes do AQS .....	124
Tabela A.1 – Evolução do consumo de energia final na UE.....	141
Tabela A.2 – Evolução do consumo de energia final em Portugal.....	142
Tabela B.1 – Número de complexos desportivos com piscinas por distrito .....	143
Tabela B.2 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Lisboa .....	143
Tabela B.3 – Complexos desportivos com piscinas no distrito do Porto .....	145
Tabela B.4 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Aveiro .....	146
Tabela B.5 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Viseu.....	146
Tabela B.6 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Setúbal .....	147
Tabela B.7 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Santarém .....	148
Tabela B.8 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Leiria.....	148
Tabela B.9 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Coimbra.....	149
Tabela B.10 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Braga.....	149
Tabela B.11 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Portalegre.....	150

Tabela B.12 – Complexos desportivos com piscinas no distrito da Guarda .....	150
Tabela B.13 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Faro.....	151
Tabela B.14 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Viana do Castelo. ....	151
Tabela B.15 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Évora.....	152
Tabela B.16 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Beja.....	152
Tabela B.17 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Vila Real.....	152
Tabela B.18 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Castelo Branco....	153
Tabela B.19 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Bragança .....	153
Tabela B.20 – Complexos desportivos da região autónoma da Madeira .....	154
Tabela B.21 – Complexos desportivos da região autónoma dos Açores.....	154
Tabela C.1 – $CE_{avac}$ (2007) - modelo <i>versus</i> simulado, PO .....	191
Tabela C.2 – $CE_{avac}$ (2007) - modelo <i>versus</i> simulado, PR .....	191
Tabela C.3 – $CE_{avac}$ (2008) - modelo <i>versus</i> simulado, PO .....	191
Tabela C.4 – $CE_{avac}$ (2008) – modelo <i>versus</i> simulado, PR.....	191
Tabela C.5 – $CE_{avac}$ (2009) - modelo <i>versus</i> simulado, PO .....	192
Tabela C.6 – $CE_{avac}$ (2009) - modelo <i>versus</i> simulado, PR .....	192
Tabela D.1 – Caudais máximos da PO .....	193
Tabela D.2 – Caudais máximos da PR .....	196
Tabela D.3 – Caudais máximos da PO regime teórico.....	197
Tabela E.1 - Variáveis a adquirir para monitorização dos consumos globais.....	202
Tabela E.2 - Variáveis a adquirir no Sistema AVAC.....	205
Tabela E.3 - Variáveis a adquirir no SB .....	208
Tabela E.4 - Variáveis a adquirir no SI .....	210
Tabela E.5 - Variáveis a adquirir no Sistema de AQS .....	212
Tabela E.6 – Monitorização das variáveis independentes dos consumos globais.....	212
Tabela E.7 – Monitorização das variáveis dependentes dos consumos globais.....	213
Tabela E.8 - Variáveis independentes do Sistema de AVAC.....	213
Tabela E.9 - Variáveis dependentes do Sistema de AVAC.....	214
Tabela E.10 – Monitorização das variáveis independentes do Sistema AVAC.....	218
Tabela E.11 – Monitorização das variáveis dependentes do Sistema AVAC.....	219
Tabela E.12 - Variáveis dependentes do SB .....	219
Tabela 6.13 - Variáveis auxiliares do SB .....	220
Tabela E.14 – Matriz de escalonamento.....	233

Tabela E.15 – Monitorização das variáveis independentes do SB .....	236
Tabela E.16 – Monitorização das variáveis dependentes do SB .....	237
Tabela E.17 - Variáveis independentes do SI.....	237
Tabela E.18 – Monitorização das variáveis independentes do SI .....	239
Tabela E.19 – Monitorização das variáveis dependentes do SI .....	240
Tabela E.20 - Variáveis independentes de um chuveiro .....	240
Tabela E.21 – Monitorização das variáveis independentes do AQS.....	241
Tabela E.22 – Monitorização das variáveis dependentes do AQS .....	242
Tabela F.1 - Zonas que constituem o modelo e respectiva descrição.....	244

## LISTA DE ACRÓNIMOS

AVAC - Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado  
AQS – Agua Quente Sanitária  
CE - Custo Energético  
COV - Compostos Orgânicos Voláteis  
CPI - Complexo desportivo com Piscina(s) Interior  
EE - Energia Eléctrica  
GN - Gás Natural  
IEE - Indicador de Eficiência Energética  
INRS - Institut National de Recherche et Sécurité  
IS - Índice de Saturação  
ORC - Oportunidades de Racionalização de Consumos  
PO - Piscina Olímpica  
PR - Piscina Recreativa  
PRE - Plano de Racionalização Energética  
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
SB - Sistema de Bombagem  
SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios  
SGT - Sistema de Gestão Técnica  
SGTCP - Sistemas de Gestão Técnica em Complexos de Piscinas  
SI - Sistema de Iluminação  
SPAQS - Sistema de Produção de Água Quente Sanitária  
TCOV - Total de Compostos Orgânicos Voláteis  
tep - toneladas equivalente de petróleo  
THM - Trihalometanos  
UE - União Europeia  
UTA - Unidades de Tratamento de Ar  
VEV - Variadores Electrónicos de Velocidade

## LISTA DE VARIÁVEIS

$a_b$  e  $c_b$  – Constantes características da bomba

$a_{ce}$  e  $b_{ce}$  – Constantes características da recta do CE

$a_h$ ,  $c_h$  e  $d$  – Constantes características da potência hidráulica de uma bomba

$a_{IEE}$  e  $b_{IEE}$  – Constantes características da recta do IEE

$A_{piscina}$  - Área do plano de água do tanque ( $m^2$ )

$a_s$  e  $c_s$  – Constantes características da instalação

$A_{util}$  - Área útil do edifício ( $m^2$ )

$c_a$  – Constantes características da curva de afinidade

$CE_{AVAC}$  - CE de responsabilidade do AVAC (€)

$CE_{AVAC_{pe}}$  - Evolução do CE de responsabilidade do AVAC previsto (€)

$CE_{pe}$  - Previsão do CE do edifício (€)

$CE_{SB}$  - CE de responsabilidade do SB (€)

$COP$  - Eficiência nominal do desumidificador

$D$  – Diâmetro interior da tubagem (m)

$EmAvi$  - Emitir Aviso

$F$  - profundidade média do tanque - volume/superfície (m)

$f$  - número de bombas a velocidade nominal

$f_d$  – factor de atrito de *Darcy*

$IEE_{AVAC}$  - Componente IEE de responsabilidade do AVAC ( $kgep/m^2 \cdot ano$ )

$IEE_{AVAC_{pe}}$  - Evolução da Componente *IEE* de responsabilidade do sistema AVAC previsto ( $kgep/m^2 \cdot ano$ )

$IEE_{pe}$  - Previsão do IEE do edifício ( $kgep/m^2 \cdot ano$ )

$IEE_{SB}$  - IEE de responsabilidade do SB ( $kgep/m^2 \cdot ano$ )

$g$  – Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$H$  – Altura manométrica (m)

$H_a$  – Altura manométrica da curva de afinidade (m)

$H_b$  – Altura manométrica da bomba (m)

$H_s$  – Altura manométrica da instalação (m)

$L_v$  - Calor latente de vaporização da água (Wh/kg)  
 $m_e$  - Massa de água evaporada (kg/h)  
*MosGua* - Mostrar e Guarda  
 $N$  - Número de utilizadores da piscina  
 $n$  - número total de bombas em funcionamento  
 $P_a$  - Pressão parcial do vapor de água (Pa)  
 $P_a|_{T_{amb}}$  - Pressão parcial de vapor de água no ar, à temperatura ambiente interior (Pa)  
 $P_e$  - Potência do conjunto motor-bomba (W)  
 $P_{en}$  - Potência eléctrica nominal do motor (W)  
 $P_{e_{vm}}$  - Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba em velocidade nominal (W)  
 $P_{e_{vv}}$  - Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba a velocidade variável (W)  
 $pe$  e  $pd$  - Constantes características do motor de indução  
 $p_{ee}$  - Preço da EE (€/kWh)  
 $p_{gn}$  - Preço do GN (€/kWh)  
 $P_h$  - Potência hidráulica da bomba (kW)  
 $P_i$  - Pressão na entrada da bomba (Pa)  
 $P_o$  - Pressão na saída da bomba (Pa)  
 $P_{ne}$  - Potência eléctrica de  $n$  conjuntos motor-bomba (W)  
 $P_{h_{vv}}$  - Potência hidráulica de  $(n-f)$  bombas em velocidade variável (W)  
 $P_{h_{vv-ref}}$  - Potência hidráulico equivalente de  $(n-f)$  bombas em velocidade a nominal (W)  
 $P_{lat}$  - Potência latente da instalação (W)  
 $P_s$  - Pressão de saturação do vapor de água a uma dada temperatura (Pa)  
 $P_{sen}$  - Potência sensível da instalação (W)  
 $P_s|_{T_{ap}}$  - Pressão de saturação do vapor de água, à temperatura da superfície da água da piscina (Pa)  
 $\dot{Q}_e$  - Perda de calor por evaporação de água (W)  
 $\dot{Q}_{re}$  - Energia necessária para aquecer a água a introduzir na piscina (W)  
 $Q$  - Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$Q_{env}$  - Energia sensível fornecida ao edifício (kWh)

$Q_{lat}$  - Energia consumida para redução da carga latente (kWh)

$Q_{ren}$  - Energia necessária para aquecer a água a repor na piscina (kWh)

$Q_{vv-ref}$  - Caudal equivalente debitado pelas ( $n-f$ ) bombas em velocidade nominal ( $m^3/h$ )

$t_{amb}$  - Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )

$T_{amb}$  - Temperatura ambiente (K)

$T_{ap}$  - Temperatura da água da piscina (K)

$t_{bh}$  - Temperatura de bolbo húmido ( $^{\circ}C$ )

$T_{red}$  - Temperatura da água da rede (K)

$t_{po}$  - Temperatura de orvalho ( $^{\circ}C$ )

$V$  - capacidade do tanque ( $m^3$ )

$\phi$  - Humidade relativa (%)

$n$  - Número de horas de funcionamento da instalação (h)

$\eta_c$  - Eficiência do sistema de caldeiras

$\eta_h$  - Rendimento bomba hidráulica (%)

$\rho$  - Massa específica do fluido ( $kg/m^3$ )





# *1. Introdução*

A busca incessante do ser humano pelo seu bem-estar acarreta na grande maioria das ocasiões em consumo de energia. Tal leva ao incremento da utilização de combustíveis fósseis, os quais provocam emissões de gases com efeito de estufa, que contribuem para o aquecimento do planeta.

As emissões de CO<sub>2</sub> têm aumentado desde a revolução industrial e continuam a aumentar apesar dos acordos internacionais estabelecidos na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro ou no Protocolo de Quioto.

Urge identificar caminhos para tentar reduzir esta escalada. Nesta óptica é imprescindível ser feita a identificação dos processos que tenham consumos energéticos assinaláveis, para depois ser feito um esforço no sentido de reduzir os mesmos.

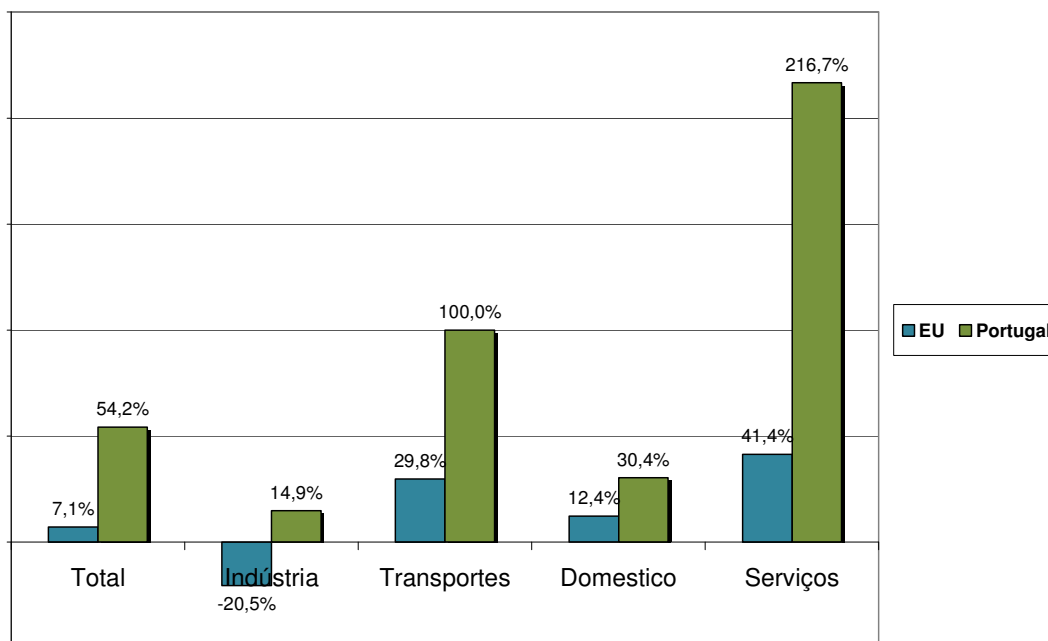
As regras básicas para a redução de consumos energéticos são as seguintes:

1. Tentar fazer a optimização energética dos processos. Para tal é necessário estudar as medidas de racionalização de consumos e implementar as que tenham um custo tendencialmente nulo;
2. Substituir equipamentos menos eficientes por outros que tenham uma eficiência superior. Em casos extremos, fazer a reformulação dos processos de conversão de energia de modo a implementar soluções mais eficientes.

## **1.1. Perfil do consumo de energia**

Um dos passos para identificar os processos com potencial para redução do consumo energético consiste em estudar o perfil do consumo de energia final, quer em termos totais quer ao nível sectorial.

O perfil do consumo energético da União Europeia (UE) (EC, 2012), ao longo de duas décadas (1990 a 2010) tem tido um crescimento sustentável, verificando-se uma taxa de crescimento em vinte anos na ordem dos 7,1% (Figura 1.1 e Tabela A.1 e A.2 do Anexo A). Para o caso de Portugal é diferente e fruto da consolidação no espaço Europeu. No período considerado, o mesmo consumo de energia final cresceu de 11,8 MTep em 1990 para 18,2 MTep em 2010, o que corresponde a um incremento de 54,2% (Figura 1.1 e Tabela A1.2 do Anexo A).



**Figura 1.1 – Taxa de variação do consumo de energia final em duas décadas em UE e Portugal (EC, 2012)**

Da análise por sectores de consumo verifica-se que em Portugal houve um crescimento assinalável em todos eles e bastante superior à média da UE.

Os sectores que se destacam de imediato são os Transportes, onde o consumo de energia final duplicou em vinte anos, e os Serviços pelo acréscimo abissal de 216,7%. Contudo, não é demais realçar que o peso dos Serviços em relação ao global anda na ordem dos 10%.

É imperativo minimizar os consumos energéticos em todos os sectores, com especial incidência nos transportes e nos serviços.

O sector dos serviços engloba uma diversidade de actividades e de edifícios.

O alvo da presente dissertação é um tipo de edifício particular: complexo desportivo com piscina(s) interior (CPI). A razão principal prende-se com o seu elevado consumo energético (EC, 2002), fruto das condições ambientais requeridas.

## 1.2. Complexo desportivo com piscina(s) interior

Nos últimos anos o crescimento dos CPI tem sido assinalável, impulsionado pelo poder municipal, com a finalidade de proporcionar condições de bem-estar aos seus munícipes.

A primeira contabilização dos CPI faz-se em 1998 onde foram identificados 116 complexos. Este estudo foi realizado a nível europeu e tinha como objectivo a melhoria das condições

ambientais interiores e o levantamento das medidas de racionalização de consumo ao nível destes complexos desportivos (Trianti-Stournaa *et al.*, 1998).

Em outro estudo realizado em 2003 foram registados 357 CPI. Este foi efectuado para evidenciar o potencial de aplicação dos sistemas solar térmicos para aquecimento de águas nos complexos desportivos e nas piscinas (Spenser, 2003).

No Início de 2013 foram contabilizados, pelo autor, mais de 410 (Tabela B.1 do Anexo B), o que corresponde a um mínimo de 670 piscinas de diversas dimensões, sendo na sua maioria tanques semiolímpicos com vinte e cinco metros de comprimento. A distribuição deste número por distritos está representada na Figura 1.2.

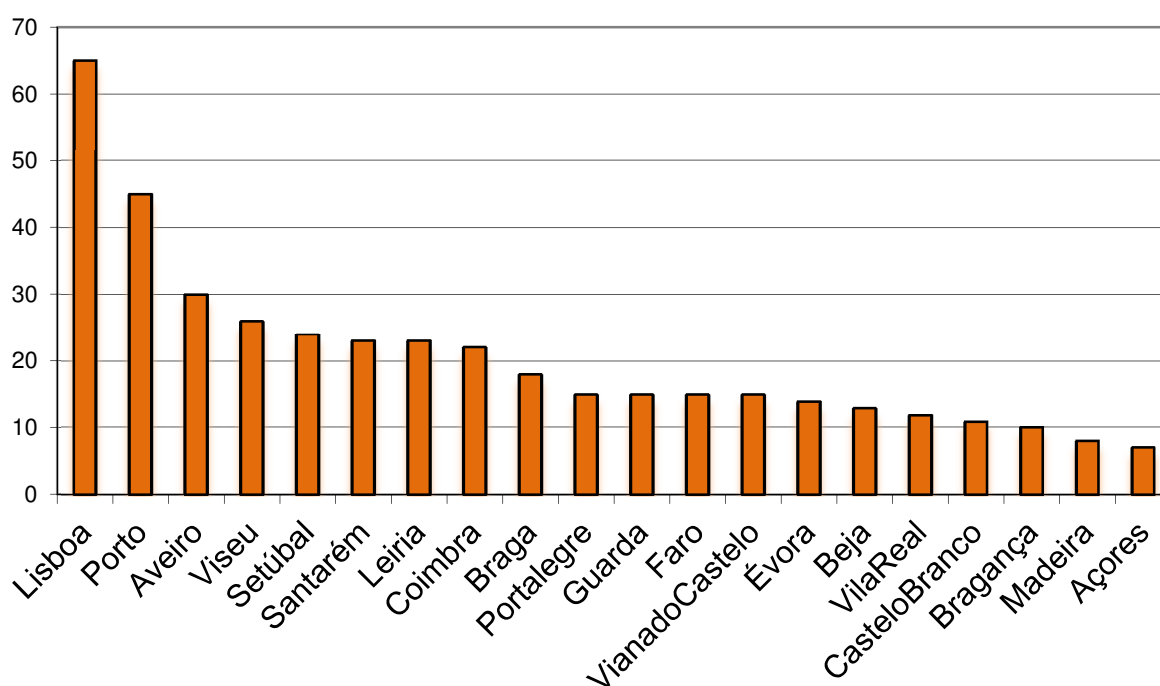


Figura 1.2 – Estimativa de número de CPI em Portugal no final de 2012

Olhando para a concepção em si dos CPI, o consumo energético é maioritariamente distribuído por quatro processos: Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), Sistema de Bombagem (SB), Sistema de Produção de Água Quente Sanitária (SPAQS) e Sistema de Iluminação (SI). Estima-se que na totalidade destes processos se consuma 90% de Energia Eléctrica (EE) e 86% de Gás Natural (GN) (Rodrigues, 2007).

Segundo o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), Decreto-lei nº79/2006 (RSECE, 2006), todos os edifícios climatizados devem dispor de um sistema de regulação e controlo. Para o caso dos CPI, onde o consumo de energia térmica é

muito elevado, é obrigatório dispor de um sistema de monitorização e de gestão de energia que garanta a optimização centralizada da parametrização do sistema de climatização, o qual pode estar normalmente integrado no Sistema de Gestão Técnica (SGT) do edifício.

Neste âmbito, ainda existe muito caminho a ser explorado quer na minimização dos elevados consumos dos complexos de piscinas interiores quer na concepção de soluções tecnicamente mais eficientes para os processos descritos.

Neste contexto, este trabalho pretende dar resposta, de uma forma fundamentada, a duas questões importantes:

Perante as instalações existentes e futuras, como actuar sobre os processos de climatização e bombagem de modo a reduzir os consumos energéticos?

Que potencial existe, neste tipo de infraestruturas desportivas, para fazer gestão da procura de energia eléctrica com recurso de um SGT?

### **1.3. Objetivos**

A génese do presente trabalho é a avaliação e controlo integrado de processos energéticos em CPI numa perspectiva de optimização.

Neste capítulo é efectuado o enquadramento do trabalho desenvolvido.

O segundo capítulo é dedicado à apresentação dos trabalhos que abordam os problemas energéticos dos CPI ou que tenham como pano de fundo os processos e/ou sub processos associados, assim como a apresentação da legislação que rege a concepção e funcionamento dos CPI. E ainda, o enquadramento das principais ferramentas de simulação dinâmica do comportamento térmico de edifícios.

A apresentação das estratégias de controlo que permitem minimizar os consumos energéticos dos CPI é formulada no terceiro capítulo. O consumo energético nos CPI é maioritariamente distribuído pelos quatro processos: AVAC, SB, SPAQS e SI. Para os dois primeiros processos foram formulados modelos de controlo com uma abordagem pioneira que carece de validação por simulação dinâmica de edifícios para o AVAC e comparação com dados experimentais no SB. Para os outros processos baseia-se nas práticas existentes, mas com alguma inovação no caso do SPAQS.

No Caso de Estudo é caracterizada a CPI que servirá como base de estudo para este trabalho. Aí serão identificados os equipamentos constituintes dos quatro grandes processos existentes: AVAC, SB, SPAQS e SI, assim como uma descrição sucinta do SGT instalado.

O quinto capítulo é dedicado à validação dos modelos de controlo preconizados no terceiro capítulo. Ao nível do HVAC são apresentados os dados que resultaram da simulação dinâmica de edifícios propostas e a respectiva validação do modelo de controlo. No caso do SB o modelo de controlo é validado partindo do estudo preconizado por Carlson (2000).

A formulação de um SGT passível de ser implementado num CPI é apresentada no sexto capítulo. A concepção de um SGT é abordada de uma forma detalhada, ao nível: dos meios físicos necessários, das variáveis a serem auditadas, das estratégias de controlo a implementar e da abrangência da monitorização das variáveis dos processos.

As conclusões vêm mencionadas no sétimo capítulo, assim como são apresentadas possíveis linhas de orientação para futuros trabalhos dentro desta temática.

A apresentação da lista bibliografia encontra-se na parte final do trabalho.



## *2. Estado da Arte*

O crescente aumento do número de CPI, com um uso intensivo de utilizadores e funcionários, despertou a necessidade de efectuar a avaliação do desempenho energético e controlo do ambiente interior de modo a minimizar os consumos energéticos. O desempenho energético e ambiental dos edifícios no panorama Europeu e Nacional tem vindo a ganhar uma importância cada vez maior, tendo sido publicada a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, a qual deu lugar à sua transposição para a Legislação Nacional através de Regulamentação sobre o Desempenho Energéticos dos Edifícios, em 4 de Abril de 2006.

No sector dos edifícios de serviços, os CPI são os segundos maiores consumidores ao nível do consumo específico de energia, cerca de 460 kWh/m<sup>2</sup>, de acordo com a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2004).

Existe uma série de trabalhos associados à optimização de funcionamento dos CPI, mas abordando todos aspectos particulares do seu funcionamento, tendo em vista a optimização dos mesmos. Neste trabalho é proposto um caminho com uma visão integrada da monitorização e do controlo de todos os processos, como intuito da optimização energética, caminho este que vai permitir conceber Sistemas de Gestão Técnica (SGT) mais eficientes e eficazes.

Os pontos seguintes são dedicados à apresentação do enquadramento e do estado da arte nesta área de conhecimento. Considera-se a parte legislativa e regulamentar, procede-se à caracterização do conhecimento ao nível dos vários processos existentes nos CPI e identificam-se várias plataformas utilizadas na simulação energética de edifícios.



## 2.1. Legislação e Normas

Devido às particularidades do seu funcionamento, os CPI têm sido regidos por uma série de legislação e regulamentos, nomeadamente:

- RSECE.
- DIRECTIVA CNQ N.º 23/93 - A qualidade nas piscinas de uso público.
- Norma NP 4448 - Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas, regras de dimensionamento, concepção e instalação.

A publicação das normas NP EN 15288-1 (Piscinas Parte 1: Requisitos de segurança para a concepção de Piscinas) e NP EN 15288-2 (Piscinas Parte 2: Requisitos de segurança para o funcionamento de Piscinas), em Março de 2009, obriga a anular todas as normas e especificações técnicas nacionais que contrariem o disposto naquela norma. Por essa razão partes da Directiva CNQ n.º 23/93 estão revogadas, sendo esta, ao longo dos últimos anos, o mais decisivo guia dos profissionais e agentes ligados ao sector da piscina colectiva em Portugal.

### 2.1.1. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

A aplicabilidade do RSECE ao caso dos CPI engloba duas vertentes distintas, consoante se trate de edifícios existentes ou de edifícios novos.

#### 2.1.1.1. Edifícios existentes

Neste caso é obrigatória a avaliação periódica por auditoria energética, realizada no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), com o objectivo da determinação do IEE com o intuito da classificação energética do mesmo. Se o IEE ultrapassar o consumo máximo permitido, deve ser elaborado e submetido um plano de racionalização energética (PRE) à aprovação da Direcção-Geral de Geologia e Energia. Das medidas de racionalização de consumos propostos, são de execução obrigatória as medidas:

- Que tenham um período de retorno simples de oito anos ou menor.
- Estudo da viabilidade económica de sistemas de co-geração em piscinas aquecidas com mais de 200 m<sup>2</sup> de plano de água.

### 2.1.1.2. Edifícios novos

A instalação de sistemas de regulação e controlo é obrigatória em qualquer sistema de climatização ou sistema de monitorização e de gestão de energia a partir de um limiar de potência térmica do sistema de climatização a instalar de 100 kW, com vista a garantir, pelo menos, as seguintes funções:

- \* Limitação da temperatura de conforto máxima e mínima, conforme o que for aplicável, em qualquer dos espaços ou grupos de espaços climatizados pelo sistema em causa;
- \* Regulação da potência de aquecimento e de arrefecimento das instalações às necessidades térmicas dos edifícios;
- \* Possibilidade de fecho ou redução automática da climatização, por espaço ou grupo de espaços, em período de não ocupação.

É prioritária e obrigatória nos edifícios novos e nas grandes reabilitações, salvo demonstração de falta de viabilidade económica pelo projectista, a utilização dos seguintes sistemas de energias alternativas:

- Sistema de colectores solares planos para a produção de Água Quente Sanitária (AQS);
- Sistemas de aproveitamento de biomassa ou resíduos, quando disponíveis;
- Sistemas de aproveitamento da energia geotérmica, sempre que disponível;
- Sistemas autónomos, combinando solar térmico, solar fotovoltaico, eólico, etc.

### 2.1.2. Directiva CNQ N.º 23/93

A presente directiva, Conselho Nacional da Qualidade N.º23/93 (CNQ, 1993), tem por objecto assegurar as condições de segurança, higiene-sanitárias, técnicas e funcionais, que devem ser observadas nas piscinas e nos estabelecimentos dedicados a actividades recreativas aquáticas correlacionadas.

### 2.1.2.1. Requisitos de qualidade e tratamento da água

A água nos tanques das piscinas deve ser filtrada, desinfectada e possuir poder desinfectante residual, de modo que as suas características físico-químicas e bacteriológicas correspondam às normas:

- A sua transparência deverá ser inferior a 1 UTF (unidades turbidimétricas de formazina), ou a 3 mg/l SiO<sup>2</sup> (graus sílica de turvação); ademais, a transparência deve ser visualmente controlada em contínuo e de modo que, a partir de qualquer ponto do cais e a uma distância na horizontal mínima de 10 m, seja perfeitamente visível uma marca ou disco de cor negra (disco de Secchi) com 5 cm de diâmetro colocado na zona mais profunda de cada tanque.
- A água não deve ser irritante para os olhos, para a pele ou para as mucosas, nem conter substâncias em quantidades susceptíveis de constituir dano para a saúde dos utentes.
- O teor em substâncias oxidáveis pelo permanganato de potássio em meio alcalino, expresso em oxigénio, não deverá ultrapassar em 4 mg/l o teor da água de alimentação proveniente da rede pública de abastecimento. O potencial redox (rH), medido com eléctrodos de calomelano (resistividade de 10,13 a 10,14 ohm), deve ser superior a 690 mV, com o máximo de 780 mV.
- O pH deve estar compreendido entre 6,9 e 8,0.
- O número de coliformes totais deve ser inferior a 10 por cada 100 ml, com ausência total de coliformes fecais em 100 ml.
- A água não deve conter vestígios de germes patogénicos, nomeadamente de pseudomonas e estafilococos patogénicos, em 100 ml e em 90% das amostras.
- A carga micróbica total expressa no número de bactérias aeróbias revivificava (água a 37° C) deve ser inferior a 100 por mililitro.

A água de alimentação dos tanques deve ser proveniente de uma rede pública de abastecimento de água potável. Para a utilização de águas de outras origens, será necessário obter a concordância e a correspondente autorização emitida pelos organismos da tutela da saúde pública e da gestão dos recursos hídricos nacionais. Os ramais de alimentação de água e os ramais de ligação de esgotos destinados ao enchimento e esvaziamento dos tanques, respectivamente, serão dimensionados para minorar os efeitos de elevados caudais de ponta

instantâneos sobre as redes públicas, tomando-se como referência os seguintes períodos, quer para abastecimentos, quer para esvaziamentos totais:

- 36 Horas, para tanques até 500 m<sup>3</sup> de volume,
- 60 Horas, para tanques de 500 a 1000 m<sup>3</sup>,
- 84 Horas, para tanques com volume superior a 1000 m<sup>3</sup>.

As instalações de recirculação e tratamento de água devem ser dimensionadas para fornecer, a todo o momento e a cada tanque que alimentem, um caudal de água filtrada e desinfectada de qualidade conforme aos requisitos definidos nesta directiva.

O caudal de recirculação mínimo a assegurar pela instalação de tratamento de água será dado pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{V}{R \times F} \quad (2.1)$$

onde:

$Q$  - Caudal (m<sup>3</sup>/h),

$V$  - capacidade do tanque (m<sup>3</sup>),

$F$  - profundidade média do tanque - volume/superfície (m),

$R$  - factor de recirculação (horas/metro de profundidade).

O factor de recirculação  $R$  depende das condições de ocupação e de exposição dos tanques e da eficácia do sistema de tratamento adoptado, sendo igual a:

$R = k.f$ , em que  $k$  (factor de rendimento do sistema de tratamento) e  $f$  (factor de ocupação específica), podem tomar os seguintes valores:

- $k = 0,5$  banhistas/m<sup>3</sup>, no sistema de tratamento tipo I: floculação + filtração + desinfectação (cloro),
- $k = 0,6$  banhistas/m<sup>3</sup>, no sistema de tratamento tipo II: floculação + filtração + ozonização + filtração em carvão activado + desinfectante (cloro),
- $f = 3$  m<sup>2</sup>.hora/banhista, em piscinas ao ar livre ou convertíveis,
- $f = 4$  m<sup>2</sup>.hora/banhista, em piscinas cobertas.

Decorrendo das expressões anteriores, o período de recirculação será dado por:  $T = R \times F$  (horas), com o máximo de 8 horas.

### 2.1.2.2. Requisitos térmicos e de ventilação

Nas piscinas cobertas e nas piscinas convertíveis deverão ser previstas instalações e equipamentos destinados ao aquecimento de água dos tanques de natação, dimensionados para acorrer às necessidades e às características de utilização dos tanques que as constituem.

As temperaturas da água dos tanques, de acordo com as suas tipologias, serão as dadas pela tabela seguinte.

**Tabela 2.1 - Temperatura da água dos tanques segundo a sua tipologia**

Tipo de Tanque	Temperatura da água
Desportivo em geral	24 a 26 °C
Desportivo para saltos	26 a 28 °C
Aprendizagem e recreio	26 a 28 °C
Infantis ou chapinheiros	28 a 30 °C
Recreio e diversão	26 a 28 °C
Poli funcionais	26 a 28 °C

As piscinas cobertas e convertíveis serão dotadas de equipamentos e instalações de climatização - renovação e aquecimento do ar - estabelecidas e dimensionadas com a potência e disposições adequadas para a satisfação dos seguintes requisitos de conforto termo-higrométrico:

a) Ambiente da zona de banho (nave da piscina):

- Humidade relativa de 55 a 75 %;
- Temperatura (seca): superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, com o mínimo de 24°C;
- Temperatura de bolbo húmido mínima de 23°C;
- Caudal de ar renovado por banhista: 6 litros /segundo;
- Velocidade do ar insuflado, inferior a 0.2 m/s.

b) Ambiente da zona de serviços anexos (vestiários, balneários,...):

- Temperatura (seca): 22 a 24°C;
- Renovação do ar: 4 volumes por hora;

c) Ambiente nas zonas complementares e zonas técnicas:

- Temperatura (seca): 18°C;
- Renovação do ar: 4 volumes por hora (5 em locais de fumadores).

Para a utilização de águas sanitárias, como é o caso de lavatórios e chuveiros, é recomendado que sejam satisfeitas as necessidades na base de um consumo de 40 litros por cada utente e por hora, com água à temperatura de 38 a 40°C nas piscinas cobertas.

### 2.1.2.3. Requisitos de iluminação

Nas zonas de actividades ou de banho das piscinas cobertas e convertíveis, as instalações de iluminação artificial deverão estabelecer-se de modo a garantirem as melhores condições de visibilidade e a segurança dos utentes. O nível de iluminação de serviço sobre o cais e as superfícies de plano de água não deve ser em nenhum ponto inferior a 200 lux, em geral, ou a 300 lux nos tanques desportivos. Nas restantes zonas de serviços anexos das piscinas, deverá assegurar-se um nível mínimo de 150 lux de iluminação geral.

### 2.1.3. Norma NP 4448:2007

A presente norma, NP 4448:2007 (2007), apresenta recomendações relativas à concepção, instalação e operação de instalações solares térmicas para piscinas, nomeadamente instalações de aquecimento solar directo com circulação de água da piscina nos colectores solares. A norma não apresenta recomendações quanto aos aspectos relacionados com a segurança eléctrica das instalações, bem como quanto aos equipamentos de filtragem aos quais as instalações solares térmicas estão frequentemente ligadas. Os Anexos A e B tratam as questões relacionadas com o cálculo de cargas térmicas para aquecimento, bem como questões relacionadas com coberturas de piscina.

### 2.1.4. Norma NP EN 15288-1:2009

A norma, NP EN 15288-1:2009 (2009), designada por “Piscinas Parte 1: Requisitos de segurança para a concepção”, define as recomendações respeitantes aos riscos inerentes que foram estabelecidos, graças à identificação das características de concepção necessárias a um ambiente seguro.

Dos requisitos que têm relevância para este estudo há a destacar: iluminação e prevenção de encandeamento, directrizes para o aquecimento e ventilação ambiente e coberturas para piscinas/tanques.

#### 2.1.4.1. Iluminação e prevenção de encandeamento

As instalações devem ter iluminação adequada e suficiente, utilizando a luz natural sempre que possível.

O nível mínimo de iluminação para as diversas zonas deve ser:

- a) caminhos e zonas de circulação - 100 Lux;
- b) zonas de instalações técnicas - 100 Lux;
- c) vestiários, balneários, sanitários - 100 Lux;
- d) planos de água/zonas de banhos - 200 Lux;
- e) iluminação de emergência conforme a norma EN 1838.

#### 2.1.4.2. Directrizes para o aquecimento e ventilação ambiente

Com o objectivo de se proporcionar condições ambientes agradáveis e confortáveis aos utilizadores, e para evitar a deterioração das estruturas e dos elementos da construção, deve prever-se a instalação de um sistema adequado para o tratamento do ar e aquecimento das piscinas cobertas, quando o clima natural não permita obter as condições desejáveis. A concepção de tal sistema deve ter em consideração:

- a) a relação entre a temperatura do ar e a humidade;
- b) a temperatura da água da piscina;
- c) a necessidade de minimizar a concentração de poluentes, em particular os que são nocivos para a saúde e que poluem a atmosfera (ex., cloraminas).

Exemplos dos valores físicos típicos do ar no interior das piscinas cobertas:

- temperatura do ar: relativamente à temperatura da água da piscina, entre os +0 °K e os + 4 °K;
- humidade relativa entre os 40 % e os 80 %, preferencialmente < 60 %;
- velocidade do ar próximo dos utilizadores  $\leq 0,10$  m/s.

#### 2.1.4.3. Cobertura para piscinas/tanques.

Os dispositivos de controlo de uma cobertura mecânica devem ser instalados num local que permita uma visão panorâmica sobre a piscina a cobrir. O sistema de fecho automático deve ser controlado através de um botão “homem morto”.

Quando colocadas na posição de funcionamento, as coberturas:

- a) devem suportar uma carga vertical de 1.000 N sobre uma área de 0,5 m x 0,5 m na posição mais desfavorável;
- b) devem cobrir a superfície total do tanque, ou caso contrário, deve existir um sistema adicional que interdite o acesso à piscina.

### 2.1.5. Norma NP EN 15288-2:2009

A norma, NP EN 15288-2:2009 (2009), designada por “Piscinas Parte 2: Requisitos de segurança para o funcionamento”, aponta recomendações sobre os riscos para o pessoal, bem como para os utilizadores das piscinas públicas, através da identificação das precauções necessárias à criação de ambientes seguros.

## 2.2. Complexo desportivos com piscinas interiores

A concepção e projecto dos processos associados a CPI são baseados nas normas NP EN 15288-1:2009 e NP EN 15288-2:2009, complementadas pelas recomendações da CNQ N.º 23/93, com regras definidas no Decreto Regulamentar N.º 5/97 e com a inclusão da norma NP 4448:2007 para as instalações solares térmicas para aquecimento e as recomendações internacionais ao nível da qualidade do ar.

Desde 2006, devido ao RSECE, os edifícios novos deste tipo devem dispor de sistemas de regulação e controlo, geralmente/também designados por SGT.

Ao nível do funcionamento só a NP EN 15288-2 é que fala nos requisitos que se devem implementar ao nível da segurança. No que concerne à avaliação energética de CPI, o trabalho é muito embrionário, sendo de destacar: a avaliação de diferentes sistemas de recuperação de energia para piscinas interiores (Lazzarin & Longo, 1996); a comparação do desempenho energético entre dois sistemas de recuperação de energia: adsorção e bomba de calor (Johansson & Westerlund, 2001); a utilização de bombas de calor para a climatização reduz significativamente o consumo energético em comparação com o sistema convencional caldeira e desumidificador (Lam & Chan, 2001); a optimização de funcionamento das bombas de calor por intermédio de algoritmos genéticos do tipo *swarm* (Lee & Kung, 2008).

Como curiosidade, referem-se alguns trabalhos sobre piscinas ao ar livre onde se destaca: a determinação da evolução da temperatura da água da piscina, ao longo de um ano, com recurso à simulação dinâmica de edifícios (Ruiz & Martínez, 2010); modelo matemático que determina o comportamento térmico da piscina como evaporador de uma unidade de ar condicionado (Woolley *et al.*, 2011); a identificação de uma sequência de aquecimento da água da piscina de piscinas exteriores, depois da paragem durante o período de não utilização, que minimiza as perdas energéticas (Venkannah, 2002).



Ao nível da orgânica de funcionamento de CPI podem ser identificados quatro grandes processos consumidores energéticos, que por si só perfazem 95% do consumo (Rodrigues, 2007): AVAC, SB, SPAQS e SI.

Os sistemas AVAC e SB são responsáveis por avaliar e controlar a qualidade do ar e água, respectivamente. A necessidade de tratamento da água da piscina é feita recorrendo a reagentes, que libertam contaminantes para o ar e água (Beleza & Costa, 2007). Verifica-se a existência de uma relação evidente entre as concentrações de contaminantes no ar e condições operacionais como a temperatura do ar e da água, humidade e número de utilizadores (Matos *et al.*, 2006; Matos, 2007; Pires & Matos, 2006).

Os sistemas SPAQS e SI garantem as condições auxiliares para uma confortável utilização dos espaços tendo como referência as normas NP 4448:2007, NP EN 15288-1:2009 e NP EN 15288-2:2009.

### 2.2.1. Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado

O sistema AVAC é responsável pelo controlo da qualidade do ar e do ambiente interior, sendo normalmente assegurado por Unidades de Tratamento de Ar (UTA) com capacidade de desumidificação (Pirilä *et al.*, 2003; Rodrigues, 2007).

O controlo da qualidade do ar é de extrema importância, na medida em que a utilização de desinfetantes (como o cloro e o bromo) em piscinas colectivas origina substâncias voláteis potencialmente perigosas para a saúde como trihalometanos (THM), cloraminas, bromaminas e outros subprodutos da desinfecção (Fantuzzi *at al.*, 2001; Matos, 2007; Vasconcelos & Duarte, 2006; Pires & Matos, 2006). Quando se procede a um controlo deficiente da qualidade do ar os riscos para a saúde pública podem ser elevados (Matos, 2007; Mallika *et al.*, 2008).

A Organização Mundial da Saúde (World Health Organization - WHO) aconselha como concentrações de referência para os THM os valores apresentados na Tabela 2.2 (WHO, 2000):

Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cenário
136	Exposição extrema
36	Exposição moderada
33	Baixa exposição

O Institut National de Recherche et Sécurité (INRS), citado por Herry *et al.* (1994), considera os valores de referência indicados na Tabela 2.3 para a concentração de cloraminas.

**Tabela 2.3 - Valores de referência de cloraminas, segundo INRS**

Concentração (mg/m <sup>3</sup> )	Cenário
0,5	Exposição longa
1,5	Exposição curta

Um estudo realizado pelo Centro Regional de Saúde Pública de Lisboa e Vale do Tejo, em seis piscinas, revelou que a concentração de THM era superior ao cenário de baixa exposição e algumas situações com valores superiores ao cenário de exposição extrema (Figura 2.1). Quanto à concentração de cloraminas, duas das piscinas, ultrapassavam o nível de conforto para exposições curtas (Figura 2.2) (Matos *et al.*, 2006).

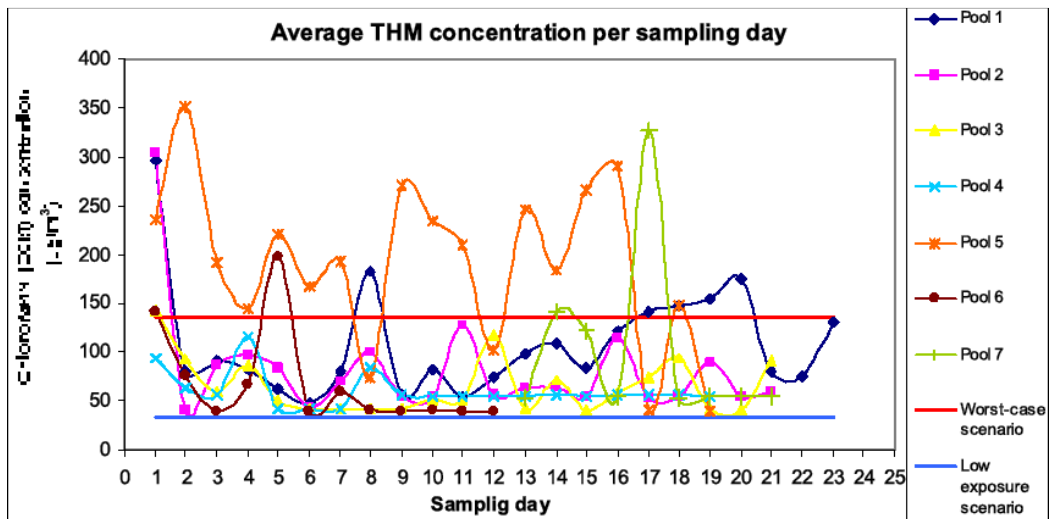


Figura 2.1 – Concentração de THM por dia

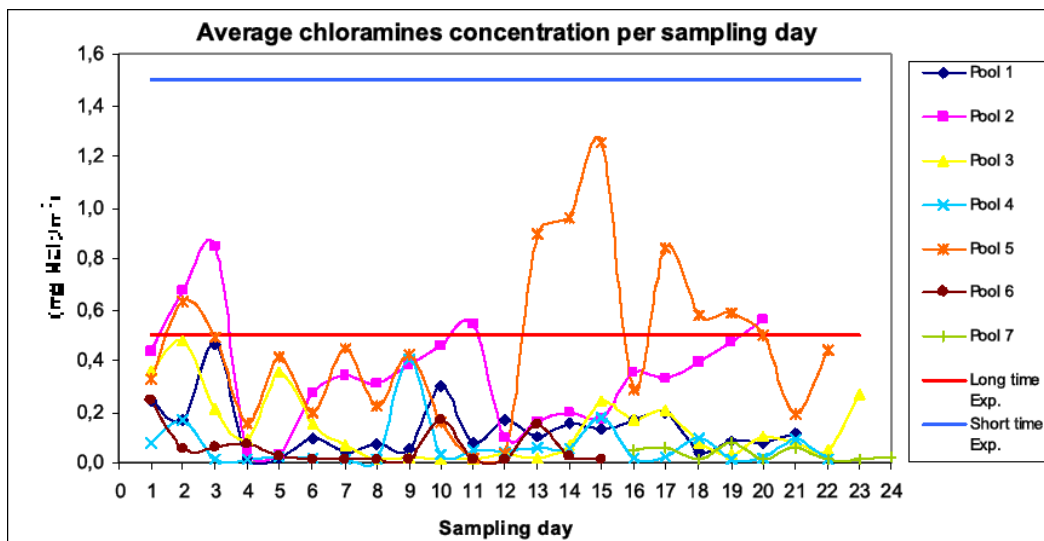


Figura 2.2 – Concentração de cloraminas por dia

Um outro estudo efectuado na Finlândia (Pirilä *et al.*, 2003) em três piscinas públicas revelou que a concentração de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), nomeadamente formaldeído e acetaldeído, variava entre:

- $7,2\mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $16,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a 15 cm acima do nível da água;
- $5,8\mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $12,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a 1,2 m acima do nível do chão.

O controlo da qualidade do ar, neste contexto, é imprescindível de modo a garantir as condições de utilização segura das instalações. Até à data, em termos nacionais, todo este processo é garantido pela imposição de uma taxa de renovação de ar (caudal de ar renovado por banhista de 6 l/s garantido pelas UTA (CNQ N°23/93, 1993).

Ao nível da qualidade do ar, um índice de quantificação do potencial de irritação, em ambientes interiores, já foi determinado e validado (Mandin *et al.*, 2003). O controlo em contínuo da qualidade do ar ainda é difícil.

A tecnologia actual, de medição da concentração de COV no ar, assenta em medições discretas através de três diferentes processos: cromatografia gasosa, cromatografia gasosa e espectrómetro de massa e cromatografia de líquidos de alta performance (Stack *et al.*, 2000). Desenvolvimentos recentes permitiram criar um sensor de qualidade de ar, baseado na tecnologia dos semicondutores, que mede, em tempo real, a concentração Total de Compostos Orgânicos Voláteis (TCOV) (Yamaguchi & Tomioka, 2003), mas tem a desvantagem que tem de ser calibrado com uma determinada concentração e composição de TCOV.

Ao nível dos THM já foram estudadas novas técnicas para mediação mas de uma forma discreta (Lourencettia *et al.*, 2010).

A qualidade do ar também é normalmente associada à existência de níveis confortáveis de humidade relativa e temperatura ambiente (Lee & Kung, 2008; CNQ N°23/93, 1993). Em locais como os CPI, a presença de água aquecida é favorável à evaporação da água em quantidades significativas, resultando em ambientes interiores com elevados níveis de humidade relativa. Nestes casos, as perdas energéticas por evaporação podem corresponder a cerca de 70% das perdas totais (USDE-EERE, 2006).

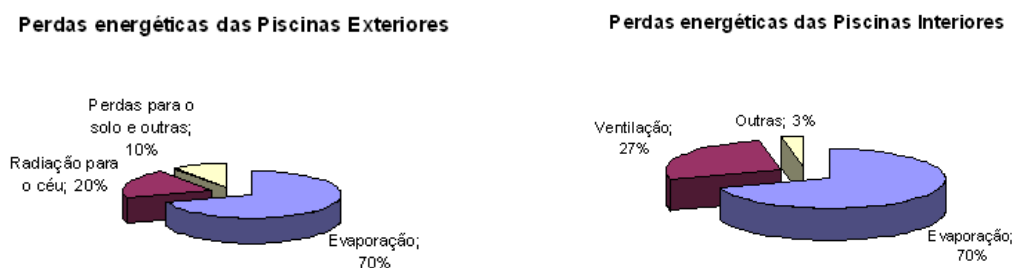


Figura 2.3 – Perdas energéticas nas piscinas

Como se compreenderá, a carga latente associada há evaporação do tanque é a variável fulcral do processo, pelo que a sua determinação deverá ser rigorosa (Shah, 1992, 2003). A evaporação de água, um processo de transferência de calor latente, acontece em consequência da absorção do calor da água da piscina, produzindo o seu arrefecimento. Assim, quanto mais evaporação existir, mais arrefece a água da piscina e maior será a necessidade de energia para a aquecer. A variável fundamental a quantificar é então a massa de água evaporada (*me*). Estudos recentes, em piscinas cobertas (Shah, 2004), sugerem uma expressão empírica que correlaciona as variáveis ambientais com a influência dos utilizadores, que foi corroborada por estudos complementares (Asdrubali, 2009).

### 2.2.2. Sistema hidráulico da piscina

O sistema hidráulico da piscina é responsável pelo tratamento e recirculação da água dos tanques. Pelos estudos já realizados este sistema ao nível energético é o maior consumidor de EE podendo representar perto de 40% do consumo total (Rodrigues, 2007). A gestão energética nunca foi feita de uma forma estruturada. Na essência existem três sub processos: a avaliação e controlo da qualidade da água, o SB de recirculação e o sistema de aquecimento da água.

Ao nível da avaliação e controlo da qualidade da água é de realçar que a contaminação da água está muito dependente da taxa de renovação e do tipo de tratamento utilizado na instalação (Marques, 2009). As soluções para tratamento da água de piscinas, numa perspectiva técnico-económica, que respeitam o enquadramento legal e que minimizam os custos iniciais e de exploração foram caracterizadas em estudos recentes (Vasconcelos & Duarte, 2006). A Filtragem e renovação da água instituídas pela regulamentação podem não ser suficientes ou muito dispendiosas para a redução de contaminantes. Um dos caminhos mais económicos é a redução da quantidade de contaminantes introduzidos, só possível através de vários factores: redução do consumo de reagentes, formação dos banhistas, uso de ozono como oxidante e a aplicação da foto-oxidação com apoio de radiações ultra-violetas (Beleza & Costa, 2007). As radiações ultra-violetas permitem reduzir o consumo de reagentes mas aumentam o nível de THM, logo influenciando negativamente a qualidade do ar (Cassan *et al.*, 2006).

Uma correcta avaliação da qualidade da água só pode ser feita por intermédio do índice de Langelier (Perkins, 2000; Dąbrowski *et al.*, 2002; Langelier, 1936), também designado por índice de saturação (IS). Este índice é utilizado para avaliar a tendência de precipitação ou

dissolução de carbonato de cálcio na água. Águas agressivas dissolverão o carbonato de cálcio na faixa de pH entre 6,5 e 9,5 (Fernandes *et al.*, 2005). Se o IS for maior que zero, haverá precipitação do carbonato de cálcio e poderá haver deposição de calcário nas paredes da piscina; se apresentar valores negativos, haverá dissolução do carbonato, tendo tendência a ser corrosiva, estando na presença de uma água agressiva. No caso dos CPI o IS é considerado satisfatório quando:

- Pertence ao intervalo: -0,5 e +0,5, segundo as recomendações do *South Australian Government* (SAHC, 1992), *Kent County Health Department* (Stachecki & Haan, 1997) e *Nebraska State - Department of Health and Human Services* (DHHS, 2005);
- Pertence ao intervalo: -0,3 e +0,3, segundo as recomendações do *Delaware State-Department of Health & Social Services* (DHSS, 2003);
- É positivo e o pH está entre 7.2 e 7.8 (Perkins, 2000).

O SB de recirculação é responsável pela recirculação e filtragem, em filtros de areia, da água dos tanques, sendo assegurado por um conjunto de bombas em paralelo que são normalmente accionadas por motores de indução trifásicos em regime nominal de funcionamento (Rodrigues, 2007).

A optimização energética do funcionamento dos motores de indução trifásicos está largamente estudada ao nível do controlo (Raj, 2009). A utilização de VEV, com regulação por frequência, reduz significativamente as perdas energéticas (Chine *et al.*, 2007). A eficiência dos motores de indução accionados por VEV decresce significativamente para uma carga inferior a 40% e aumenta ligeiramente com a potência eléctrica do motor (Almeida, 2009).

As perdas de energia, num SB, podem ser classificadas em perdas de comando e de dimensionamento. Em muitos casos, o ajustar da velocidade da bomba provou ser a melhor solução para reduzir as perdas energéticas (Viholainen *et al.*, 2009). Segundo o estudo efectuado em piscinas domésticas, a introdução de VEV poderá originar uma poupança energética de 61% em motores de indução trifásicos e 40% em motores de indução monofásicos, sem prejudicar o desempenho do sistema (Hameiria *et al.*, 2009).

Nos sistemas de bombagem, com multi-bomba, é usual estarem muitas vezes sobredimensionadas e a funcionarem longe de seu ponto de eficiência máxima. Nestes casos, uma redução de 25% do caudal resulta normalmente em 58% de redução do consumo energético (Kumar, 2009). A determinação da velocidade óptima de funcionamento de um sistema de bombagem, com todas as bombas nas mesmas condições, já é possível com o recurso a algoritmos

genéticos (Pedersen & Yang, 2008). Estudos recentes permitem determinar a distribuição óptima de caudal, a debitar por cada bomba, com o objectivo de minimizar as perdas energéticas, mas na presença de bombas de diferentes características (Izquierdo *et al.*, 2008).

No que diz respeito ao sistema de aquecimento da água, o uso do permutador de placas é a prática corrente, caracterizando-se por terem um tempo de resposta muito lento (Selbas *et al.*, 2009; Dardour *et al.*, 2009), sendo o controlo dificultado pela não linearidade da sua resposta (Laszczyk & Richalet, 1999), mas poderá ser compensado se for introduzido um controlador PID, no caso de se pretender efectuar controlo directo (Yang *et al.*, 1995).

A optimização energética do sistema hidráulico de uma piscina, partindo da introdução de VEV com regimes diferenciados de funcionamento, mas garantindo um IS adequado, nunca foi estudada.

### 2.2.3. Sistema produção de AQS

A introdução de sistemas solares convencionais, para apoiar na produção de AQS, é prática corrente e com resultados comprovados na redução de consumos (Thur *et al.*, 2006; Szokolay, 2004; Berbash *et al.*, 1994). O mesmo caso se verifica para os colectores termodinâmicos (Hepbasli & Kalinci, 2009).

A utilização de modelos de controlo para otimizar o funcionamento dos sistemas de produção de água quente, aquecimento central e AQS, já foram implementados e com uma redução de 10% nos consumos (Lianzhonga & Zaheeruddina, 2008).

O controlo da utilização do AQS é algo embrionário ou inexistente, sendo estudada e apresentada uma possível solução a ser implementado num SGT.

### 2.2.4. Sistema de Iluminação

O SI interior do edifício é responsável por 13% do consumo total de EE (Rodrigues, 2007) do caso de estudo. Na generalidade, o controlo é feito manualmente.

Na essência existem dois caminhos para a redução do consumo, com o auxílio de dispositivos de controlo. No primeiro, o nível da iluminação artificial é regulado em função da luz natural, de modo a manter o nível de iluminação recomendado, maximizando o binómio

natural/artificial. Este sistema requer um extremo cuidado na localização e calibração dos sensores, tornando-se assim oneroso tanto na fase de instalação como exploração (Holloway, 2010).

No segundo, a iluminação artificial é desligada quando o espaço não está ocupado. Estudos recentes conseguem determinar o atraso que deve existir, para desligar a iluminação, de modo a garantir o conforto visual dos utilizadores (Leephakpreed, 2005). Neste intuito é utilizado um modelo para estimar o comportamento do período de inactividade do espaço, quando o mesmo é aleatório no tempo (Kayacan *et al.*, 2010).

A optimização energética do SI do complexo desportivo pode ser feita com um controlo on/off simples, com recurso a sensores de ocupação, por dois motivos essenciais: serem desnecessários níveis de iluminação muito precisos, descartando-se a regulação do fluxo luminosos e o período de inactividade dos espaços ser regular.

### **2.3. Simulação energética de edifícios**

Na área da Modelação Físico-Matemática do Desempenho de Edifícios estão a surgir novas áreas de investigação e desenvolvimento, trazendo outras formas de analisar os problemas, até então de difícil resolução, bem como novas ferramentas de simulação computacional que permitem prever a evolução da temperatura interior do ar, das condições de conforto térmico e dos consumos energéticos em função das condições climáticas exteriores, da ocupação dos edifícios, da iluminação e dos sistemas energéticos seleccionados. A interacção entre o utilizador e códigos numéricos assume novas formas que constituem ferramentas de análise deveras importante na realidade e contexto actual da análise energética e ambiental de edifícios.

Os programas de simulação energética trabalham com três grupos de variáveis principais que reúnem uma série de parâmetros que influenciam o desempenho térmico dos edifícios: variáveis climáticas (condições do clima local como temperatura, radiação solar, velocidade do vento etc.), variáveis de projecto (*layout* interno, geometria, propriedades termofísicas da construção, sistemas de climatização, sistemas solar passivos e activos, etc.) e variáveis de uso e ocupação (rotinas, cargas térmicas internas, uso de equipamentos etc.) (Clarke, 1997, 2001).

Devido à complexidade dos parâmetros envolvidos num estudo de viabilidade de medidas minimizadoras do consumo energético de um edifício, a utilização de programas de simulação energética é a maneira mais económica e rápida de se chegar à quantificação dos benefícios que essas medidas poderão produzir (Pedrini, 2003; Coeckelenbergh *et al.*, 2008).

Existem diversos programas de simulação energética utilizados em centros de pesquisa por todo o mundo, inclusive em Portugal, como o: ESP-r, ENERGYPLUS, TRNSYS e DOE.

### 2.3.1. Esp-r

O programa ESP-r (*Environmental Systems Performance: Research*) é um sistema de simulação dinâmica de energia capaz de modelar os consumos energéticos e escoamentos num edifício, referentes ao conforto desejado, e é, actualmente, o modelo europeu de referência para a simulação de edifícios. O ESP-r é um programa de simulação vocacionado para o sistema operativo *UNIX*, com versões para *SOLARIS* e *LINUX*, e recentemente adaptado para *Windows*. O programa ESP-r é de código aberto e permite realizar uma avaliação aprofundada dos factores que influenciam o desempenho ambiental e energético dos edifícios. O sistema ESP-r tem sido objecto de uma evolução sustentada, desde 1974. O ESP-r tenta simular as condições reais de uma forma o mais rigorosa possível e para um nível comparável com as melhores práticas actuais em termos internacionais (ESRU, 2002 e 2009). Ao abordar todos os aspectos simultaneamente, o ESP-r permite ao projectista explorar as complexas relações entre a forma de um edificio, a envolvente, o movimento do ar, os equipamentos activos de apoio e o seu controlo. O software baseia o seu funcionamento na formulação do volume de controlo, o que consiste em dividir o domínio de cálculo, isto é, o edifício e os sistemas energéticos auxiliares, em volumes finitos não sobrepostos, assegurando que a solução resultante satisfaz o princípio da conservação de energia (ESRU, 2002 e 2009). Este programa permite calcular os balanços de massa e energia em todos os volumes finitos e o modo como evoluem, sujeitos não só à influência de condições de fronteira (clima e regime de controlo) mas também aos constrangimentos impostos pelas ligações existentes entre os diferentes volumes. O ESP-r, para a resolução das equações diferenciais, utiliza o método das diferenças finitas, cuja generalidade, contempla edifícios e sistemas energéticos auxiliares onde se verifiquem processos de transferência de calor em regime dinâmico (Clarke, 1997).

### 2.3.2. TRNSYS

O programa TRNSYS (*TRAnSient SYstems Simulation Program*) é um programa de simulação em regime dinâmico de sistemas com uma estrutura modular, tendo sido desenvolvido em 1974 no laboratório de energia solar, na Universidade de Wisconsin, nos EUA. O TRNSYS possui uma linguagem de descrição dos sistemas onde o utilizador especifica os componentes



que constituem o seu próprio sistema e a forma como estão interligados. Assim, é possível simular o desempenho do sistema pela simulação de desempenho colectivo das partes que constituem o sistema. A técnica de simulação modular reduz sensivelmente a complexidade da simulação do sistema, porque decompõe um grande problema em vários problemas menores, podendo cada um ser resolvido mais facilmente. A biblioteca do TRNSYS inclui muitos dos elementos encontrados normalmente em sistemas de energia eléctrica e térmica, assim como rotinas, escritas em FORTRAN, para controlar dados meteorológicos de entrada ou outras funções dependentes do tempo, e dados de saída resultante da simulação. A modularidade do programa confere-lhe uma grande flexibilidade e facilidade de modelar qualquer tecnologia nova que não esteja incluída na versão base. O simulador TRNSYS tem um vasto campo de aplicação, destacando-se: sistemas de energia solar (térmica e fotovoltaica), sistemas de co-geração, sistemas de AVAC, sistema de conforto térmico para edifícios, entre outros (Matthew, 2009).

### 2.3.3. EnergyPlus

O programa *EnergyPlus* é um programa de simulação em regime dinâmico, resultando da combinação de alguns dos melhores atributos de outros programas de simulação já existentes (DOE-2 e BLAST), inserindo-se na chamada “nova geração” de ferramentas de simulação (Maile *et al.*, 2007). Devido à sua arquitectura, permite fazer modificações e a interacção estruturada com outras ferramentas. O desenvolvimento do *EnergyPlus* é de responsabilidade de *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) e contou ainda com a participação do *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory*, a *University of Illinois*, a *Oklahoma State University*, o *GARD Analytics*, o *Florida Solar Energy Center*, e o DOE dos EUA (Maile *et al.*, 2007). Este programa inclui, entre outras, a possibilidade de simulação numa base horária, multi-zona; e trata-se de um programa de código aberto, permitindo o desenvolvimento independente de ferramentas de apoio ao utilizador e diversas interfaces gráficas (Roriz, 2006).

### 2.3.4. DOE

O programa foi inicialmente desenvolvido por um consórcio de laboratórios americanos no final da década de 1970. Com o fim desse consórcio, o Departamento de Energia Norte-Americano (U.S. Department of Energy - DOE) assumiu o projecto e lançou o DOE-1, em 1978, a primeira versão do programa. Desde então, grupos de pesquisadores liderados pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*, passaram a ser responsáveis pelas revisões e

actualizações do programa (Pedrini, 2003). Em 1994 o programa ganha uma interface gráfica e passou a ser incluído num novo pacote de *software* distribuído pela *Architectural Energy Corporation* denominado VisualDOE, que lançou a sua última versão (4.0) em 2004. O VisualDOE 4.1 inclui ferramentas de análise dos sistemas de iluminação, ventilação, aquecimento de água e o desempenho da envolvente do edifício. Além disso, realiza uma gama de simulações que incluem consumos de energia eléctrica, consumos de gás e custos de implementação destes sistemas, com resultados horários sendo disponibilizados para facilitar as análises (AEC, 2004).



### 3. Modelo de controlo

Neste capítulo são apresentadas as estratégias de controlo que permitem minimizar os consumos energéticos dos CPI.

O consumo energético nos CPI é maioritariamente distribuído pelos quatro processos: AVAC, SB, SPAQS e SI. Para os dois primeiros processos foram formulados modelos de controlo com uma abordagem pioneira que carece de validação por simulação dinâmica de edifícios para o AVAC e comparação com dados experimentais no SB. Para os outros processos baseia-se nas práticas existentes, mas com alguma inovação no caso do SPAQS.

#### 3.1. Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

A elaboração dos modelos de controlo assenta na determinação, em tempo real, das variáveis ambientais que permitam otimizar energeticamente o processo, na perspectiva dos custos energéticos, tendo sempre em atenção a regulamentação em vigor, nomeadamente o RSECE, e desta forma reduzir o IEE do edifício.

##### 3.1.1. Enquadramento para o modelo

Para optimização energética de um sistema de climatização de uma piscina é necessário que seja determinada a energia consumida pelo edifício e tanque, assim como avaliar o impacto das variáveis ambientais neste processo.

##### 3.1.1.1. Energia consumida pelo edifício

A maneira mais expedita de quantificar a energia consumida pelo edifício, devido à complexidade do modelo matemático, é a simulação energética do edifício com recurso a *software* específico.

O modelo matemático tem como base a equação de balanço térmico do edifício, Figura 3.1, com a formulação dada por Taesler (1991):

$$\dot{Q}_n = \dot{Q}_c + \dot{Q}_g + \dot{Q}_f + \dot{Q}_i - \dot{Q}_p - \dot{Q}_l - \dot{Q}_s \pm \Delta \dot{Q} \quad (3.2)$$

onde:

- $\dot{Q}_n$  - Energia auxiliar necessária (W);
- $\dot{Q}_c$  - Perdas pela envolvente exterior (W);
- $\dot{Q}_g$  - Perdas pelo solo (W);
- $\dot{Q}_f$  - Perdas por ventilação (W);
- $\dot{Q}_i$  - Perdas por infiltração de ar (W);
- $\dot{Q}_p$  - Ganhos devidos à ocupação (W);
- $\dot{Q}_l$  - Ganhos devidos à iluminação e outros dispositivos eléctricos (W);
- $\dot{Q}_s$  - Ganhos devidos à radiação solar (W);
- $\Delta\dot{Q}$  - Energia armazenada (W).

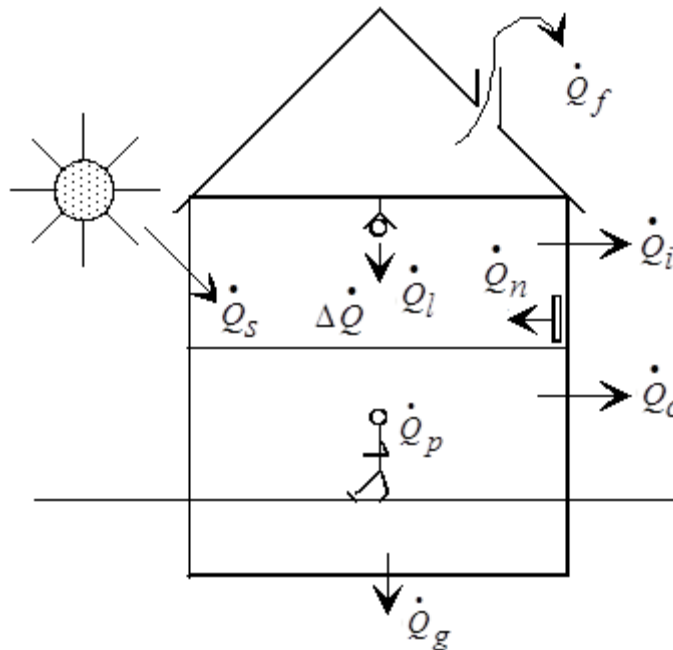


Figura 3.1 – Balanço térmico de um edifício

Considerando o regime permanente, a quantidade de calor que o edifício ganha terá que ser igual à quantidade de calor que perde para o meio exterior, através da sua envolvente, podendo ser representada em termos genéricos por:

$$\dot{Q}_n = U \times S \times (T_{amb} - T_{ext}) \quad (3.3)$$

onde:

$\dot{Q}_n$  - Energia auxiliar necessária (W);

$U$  - Coeficiente global de transferência de calor em (W/m<sup>2</sup>.K);

$S$  - Área das superfícies envolventes (m<sup>2</sup>);

$T_{amb}$  - Temperatura ambiente interior (K);

$T_{ext}$  - Temperatura ambiente exterior (K).

O modo de minimizar as perdas do edifício será igualando a temperatura do ar ambiente interior ( $T_{amb}$ ) à temperatura do ambiente exterior ( $T_{ext}$ ).

### 3.1.1.2. Energia consumida pelo tanque

A energia consumida pelo tanque tem um enquadramento descrito na Figura 3.2, sendo o modelo matemático que representa o balanço energético dado por (Inverno *et al.*, 2004; Albarracín *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006):

$$\dot{Q}_{re} = \dot{Q}_e + \dot{Q}_{ct} + \dot{Q}_t - R_s \pm \dot{Q}_r \quad (3.4)$$

onde:

$\dot{Q}_{re}$  - Energia necessária para aquecer a água introduzida na piscina (W);

$\dot{Q}_e$  - Perdas por evaporação da água do tanque (W);

$\dot{Q}_{ct}$  - Perdas por convecção de calor entre a água e o ar (W);

$\dot{Q}_t$  - Perdas por transmissão de calor do tanque (W);

$R_s$  - Ganhos devidos à radiação solar (W);

$\dot{Q}_r$  - Perdas/ganhos por radiação de calor por diferença de temperatura (W).

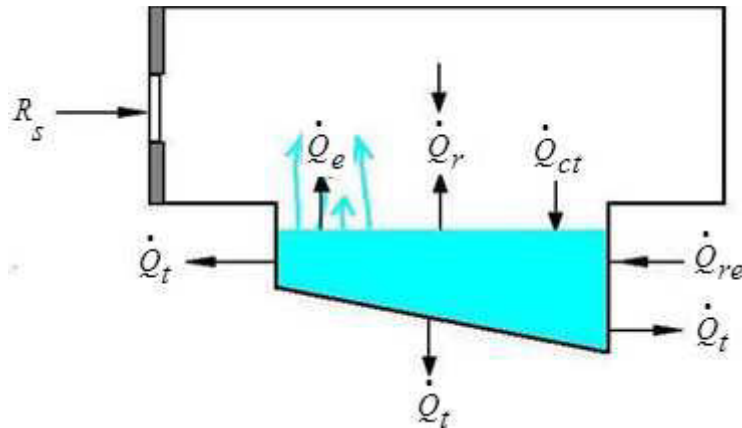


Figura 3.2 – Perdas de calor no tanque, para o ambiente interior

Sabendo que no balanço energético do tanque, a sumula de  $Q_e$  e  $Q_{re}$  representa 90% do consumo total (Albarracín *et al.*, 2005) e que  $Q_{re}$  está directamente dependente de  $Q_e$ , então o estudo deste apresenta-se de extrema importância.

O processo de evaporação de água, transferência de calor latente, é devido à absorção de calor da água da piscina. Assim, quanto mais evaporação existir, mais arrefecimento da água da piscina existe e maior será a necessidade de aquecer a mesma. A variável fundamental a quantificar é a massa de água evaporada ( $m_e$ ), que é dada pela fórmula empírica que correlaciona as variáveis ambientais e a influência dos utilizadores (Shah, 1992, 2003, 2004, 2011):

$$m_e = A_{piscina} \left[ 0,113 - \frac{0,0000175 \times A_{piscina}}{N} + 0,000059 \left( P_s|_{T_{ap}} - P_a|_{T_{amb}} \right) \right] \quad (3.5)$$

onde:

$m_e$  - Massa de água evaporada (kg/h);

$A_{piscina}$  - Área do plano de água do tanque (m<sup>2</sup>);

$N$  - Número de utilizadores da piscina;

$P_s|_{T_{ap}}$  - Pressão de saturação do vapor de água, à temperatura da superfície da água da piscina (Pa);

$P_a|_{T_{amb}}$  - Pressão parcial de vapor de água no ar, à temperatura ambiente interior (Pa).

As perdas de calor, por evaporação de água, podem ser calculadas sabendo a massa de água evaporada ( $m_e$ ) e o calor latente de vaporização ( $L_v$ ), à temperatura ambiente.

$$\dot{Q}_e = m_e \times L_v \quad (3.6)$$

onde:

$\dot{Q}_e$  - Perda de calor por evaporação de água (W);

$L_v$  - Calor latente de vaporização da água (Wh/kg).

Na realidade, o calor latente de vaporização da água é directamente dependente da temperatura ambiente, podendo ser calculado no intervalo de temperaturas entre 0 e 200 °C com uma precisão de cerca de 0,02% pela fórmula empírica de Regnault (Donald & Gatley, 2004; Jones, 2001):

$$L_v = 705,62 - 0,81t_{amb} \quad (3.7)$$

onde:

$t_{amb}$  - Temperatura ambiente (°C).

Assim as perdas de calor, por evaporação de água, podem ser calculadas partindo de:

$$\dot{Q}_e = A_{piscina} \left[ 0,113 - \frac{0,000079A_{piscina}}{N} + 0,000059 \left( P_s|_{T_{ap}} - P_a|_{T_{amb}} \right) \right] \times (705,62 - 0,81(T_{amb} - 273,15)) \quad (3.8)$$

A pressão de saturação do vapor de água, à temperatura da superfície da água da piscina, é função da temperatura absoluta e pode ser dada por (Hyland & Wexler, 1983; Ren, 2004; Sonntag, 1990):

$$P_s|_{T_{ap}} = e^{k_1(T_{ap})} \quad (3.9)$$

onde:

$T_{ap}$  - Temperatura da água da piscina (K);

$$k_1(T_{ap}) = -5,8002206 \times 10^3 T_{ap}^{-1} + 1,3914993 - 4,8640239 \times 10^{-2} T_{ap}^1 + 4,1764768 \times 10^{-5} T_{ap}^2 - 1,4452093 \times 10^{-8} T_{ap}^3 + 6,5459673 \ln(T_{ap})$$

A pressão parcial do vapor de água pode ser calculada por intermédio da humidade relativa, que é a razão entre a fracção molar de vapor de água contido no ar e a fracção molar de vapor numa amostra de ar saturado à mesma temperatura e pressão (Ren, 2004):

$$\phi = \frac{P_a}{P_s} \times 100 \quad (3.10)$$

onde:



$\phi$  - Humidade relativa (%);

$P_a$  - Pressão parcial do vapor de água (Pa);

$P_s$  - Pressão de saturação do vapor de água a uma dada temperatura (Pa).

A pressão parcial de vapor de água no ar, à temperatura ambiente interior, é traduzida pela expressão:

$$P_a|_{T_{amb}} = \frac{P_s|_{T_{amb}} \times \phi}{100} = \frac{e^{k_1(T_{amb})} \times \phi}{100} \quad (3.11)$$

onde:

$$k_1(T_{amb}) = -5,8002206 \times 10^3 T_{amb}^{-1} + 1,3914993 - 4,8640239 \times 10^{-2} T_{amb}^1 + 4,1764768 \times 10^{-5} T_{amb}^2 - 1,4452093 \times 10^{-8} T_{amb}^3 + 6,5459673 \ln(T_{amb})$$

A minimização das perdas por evaporação de água, equação 3.4, obtém-se igualando os termos  $P_s|_{T_{ap}}$  e  $P_a|_{T_{amb}}$ .

Na Tabela 3.1 estão apresentados os valores da temperatura do ar ambiente interior ( $T_{amb}$ ) em função da temperatura da água da piscina ( $T_{ap}$ ) e da humidade relativa ( $\phi$ ), que fazem com que  $P_s|_{T_{ap}} = P_a|_{T_{amb}}$ .

**Tabela 3.1 – Temperatura ambiente que minimizam as perdas por evaporação**

$\phi$ (%) / $T_{ap}$ (°C)	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
27	43,5	41,3	39,3	37,5	35,9	34,5	33,2	31,9	30,8	29,7	28,8
28	44,7	42,4	40,4	38,6	37,0	35,6	34,2	33,0	31,8	30,8	29,8
29	45,8	43,5	41,5	39,7	38,1	36,6	35,3	34,0	32,9	31,8	30,8
30	46,9	44,6	42,6	40,8	39,2	37,7	36,3	35,1	33,9	32,8	31,8

A fundo verde indica-se a zona de funcionamento ideal das UTA. Esta tabela demonstra que o objectivo de anular evaporação só é possível em condições ambientais extremamente adversas.

As mais-valias que se podem retirar da minimização das perdas por evaporação de água são:

- Redução da energia necessária para desumidificar o ar da piscina, carga latente, pelas UTA.
- Redução da energia necessária para aquecer a água a repor na piscina, devido à redução da quantidade de água perdida por evaporação.

### 3.1.1.3. Energia consumida pelo edifício e tanque

A energia consumida pelo edifício e tanque pode ser modelizada pela soma de três perdas energéticas associadas à nave da piscina, nomeadamente: perdas pela envolvente do tanque, perdas devidas à redução da carga latente e ao aquecimento da água introduzida no processo.

As **perdas pela envolvente** ( $P_{sen}$ ), que são quantificadas por simulação, vão estimar a energia sensível que é necessário fornecer à envolvente do tanque, para manter as condições de conforto. Esta energia sensível é fornecida pelo sistema de climatização, com recurso a energia térmica produzida em caldeiras, mediante o consumo de GN. A energia sensível despendida pode ser determinada por intermédio de:

$$Q_{env} = \frac{n \times P_{sen}}{\eta_c \times 1000} \quad (3.12)$$

onde:

$Q_{env}$  - Energia sensível fornecida à nave da piscina (kWh);

$n$  - Número de horas de funcionamento da instalação (h);

$P_{sen}$  - Potência sensível da instalação (W);

$\eta_c$  - Eficiência do sistema de caldeiras.

Os gastos energéticos associados à **redução da carga latente** ( $P_{lat}$ ) do edifício são quantificados por simulação, sendo que esta carga latente é retirada pelo sistema de climatização (desumidificador por bomba de calor) com o recurso a EE e pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$Q_{lat} = \frac{n \times P_{lat}}{COP \times 1000} \quad (3.13)$$

onde:

$Q_{lat}$  - Energia consumida para redução da carga latente (kWh);

$P_{lat}$  - Potência latente da instalação (W);

$COP$  - Eficiência nominal do desumidificador.

Os gastos energéticos associados ao **aquecimento da água** introduzida **no processo** ( $Q_{ren}$ ), para compensar a que foi evaporada, é um processo assegurado por caldeiras, mediante o consumo de GN. Esta quantificação é possível através da expressão:

$$Q_{ren} = \frac{n \times c_p \times m_e \times (T_{ap} - T_{red})}{1000} \quad (3.14)$$

onde:

$c_p$  - Calor específico da água (4,18 kJ/kg.K);

$T_{red}$  - Temperatura da água da rede (K).

#### 3.1.1.4. As variáveis ambientais

A correcta definição das variáveis ambientais torna-se fulcral na minimização energética. As variáveis de controlo consideradas, associadas ao sistema AVAC, são:  $t_{ap}$ ,  $t_{amb}$ ,  $\phi$  e  $Q_e$ .

São evidentes, desde já, dois comportamentos antagónicos. Por um lado, quando a temperatura ambiente é reduzida, próxima da temperatura exterior, minimizam-se as perdas pela envolvente. Por outro lado, a energia latente é mínima quando a temperatura ambiente é elevada.

Perante este facto, devem-se estudar as possibilidades de variação das variáveis ambientais. A base para este objectivo foi a de tentar que não exista degradação das condições ambientais na piscina (condensação), que poderiam ter consequências na deterioração física das estruturas internas. Das opções disponíveis as que conduzem a uma degradação das condições ambientais mínimas serão as que permitem manter os níveis de humidade absoluta constante e a entalpia quase constante. Para tal foram propostos dois critérios distintos:

- Temperatura de orvalho ( $t_{po}$ ) que é a temperatura em que a pressão parcial de vapor de água é igual à pressão de vapor saturado (humidade absoluta constante);
- Temperatura de bolbo húmido ( $t_{bh}$ ) que é a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água (entalpia constante).

#### *Temperatura de orvalho constante*

Este critério pressupõe que a temperatura ambiente a ser determinada garanta as mesmas condições higrométricas ao nível da temperatura de orvalho. Nesta situação é necessário determinar a temperatura de orvalho da instalação em regime normal de funcionamento. Considerando a temperatura de orvalho constante para um novo valor de humidade relativa pretendido, determina-se o correspondente valor da temperatura ambiente.

A temperatura de orvalho mede-se com um higrómetro de ponto de orvalho e pode ser calculada através pela equação seguinte (Lawrence, 2005):

$$t_{po} = \left( \frac{5308,77(t_{amb} + 273,15)}{5308,77 - (t_{amb} + 273,15) \ln\left(\frac{\phi}{100}\right)} \right) - 273,15 \quad (3.15)$$

onde:

$t_{po}$  - Temperatura de orvalho (°C);

Sabendo a humidade relativa e a temperatura de orvalho, pode-se determinar a temperatura ambiente resultante partindo de :

$$t_{amb} = \left( \frac{(t_{po} + 273,15) 5308,77}{(t_{po} + 273,15) \ln\left(\frac{\theta}{100}\right) + 5308,77} \right) - 273,15 \quad (3.16)$$

Na tabela 3.2 e figura 3.3 estão representadas as variáveis ambientais para uma piscina recreativa com dimensões típicas de 25m por 12,5m com 80 utilizadores por hora, sendo a primeira coluna correspondente ao regime normal de funcionamento. Todas estas colunas de valores têm em comum a mesma temperatura de orvalho.

**Tabela 3.2 – Critério da  $t_{po}$  constante**

	$t_{po} = 20,0^{\circ}\text{C}$					
$t_{ap}$ (°C)	29	29	29	29	29	29
$t_{amb}$ (°C)	30	28,5	27,2	25,9	24,8	23,6
$\phi$ (%)	55	60	65	70	75	80
$Q_e$ (W)	45.022	45.022	45.022	45.022	45.022	45.022
$me$ (Kg/h)	66,1	66,0	65,9	65,8	65,7	65,6

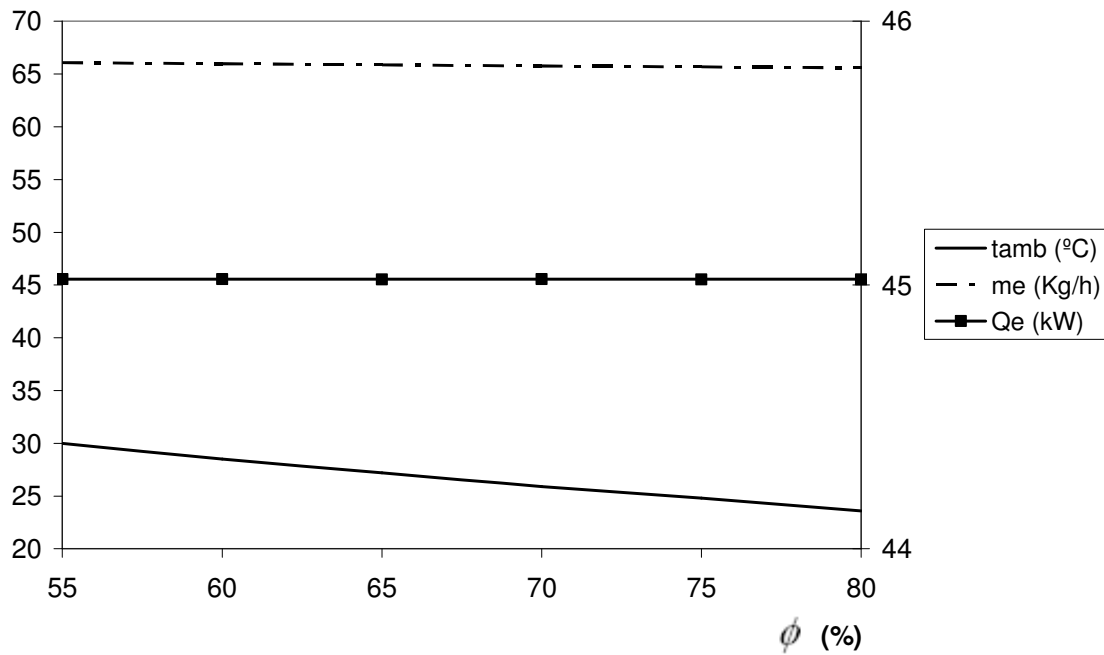


Figura 3.3 – Evolução das variáveis ambientais -  $t_{po}$  constante

### Temperatura de bolbo húmido constante

Neste caso pressupõe-se que a temperatura ambiente, a ser determinada, garante as condições higrométricas ao nível da temperatura de bolbo húmido. É necessário determinar a temperatura de bolbo húmido da instalação em regime normal de funcionamento. Conhecendo o valor de humidade relativa pretendido, determina-se o novo valor da temperatura ambiente, do qual resulta uma temperatura de bolbo húmido igual à do regime normal de funcionamento.

A temperatura de bolbo húmido pode ser determinada pelo seguinte método iterativo (Martinez, 1994):

$$t_{bh} = t_{amb} - \frac{P_s|_{t_{bh(i)}} - \left(\frac{\phi}{100}\right) \times P_s|_{t_{amb}}}{0,662} \quad (3.17)$$

onde:

$t_{bh}$  - Temperatura de bolbo húmido (°C);

$P_s|_{t_{bh}}$  - Pressão parcial de vapor de água no ar, à temperatura de bolbo húmido inicial (hPa);

$P_s|_{t_{amb}}$  - Pressão parcial de vapor de água no ar, à temperatura ambiente (hPa);

$i = 0, \dots, n$ .

Processo iterativo:

- 1º Passo - Valor inicial para a primeira iteração ( $i = 0$ ) será:

$$\rightarrow t_{bho} = t_{amb} - 5;$$

- 2º Passo - Calcula-se:

$$\rightarrow i = i + 1;$$

$$\rightarrow t_{bh} \text{ pela equação 3.16;}$$

- 3º Passo – verificação da iteração:

$$\rightarrow \text{Se } |t_{bh(i)} - t_{bh(i-1)}| \leq 0,1 - t_{bh} \text{ é o valor pretendido;}$$

$$\rightarrow \text{Se } (t_{bh(i)} - t_{bh(i-1)}) > 0,1 \text{ calcula-se } t_{bh} \text{ com } t_{bh(i)} = t_{amb} - 5 + i \times 10^{-3} \text{ e volta-se ao 2º passo;}$$

$$\rightarrow \text{Se } (t_{bh(i)} - t_{bh(i-1)}) < 0,1 \text{ calcula-se } t_{bh} \text{ com } t_{bh(i)} = t_{amb} - 5 - i \times 10^{-3} \text{ e volta-se ao 2º passo.}$$

Das formulações empíricas existentes a que apresenta uma razoável precisão é a regra do “1/3” de Haby (2010):

$$t_{bh} = t_{amb} - \frac{t_{amb} - t_{po}}{3} \quad (3.18)$$

Para a determinação da temperatura ambiente, que garante a temperatura de bolbo húmido igual ao regime normal de funcionamento, pode-se utilizar a equação 3.17 e a formulação empírica de Sargent (1980):

$$t_{po} = t_{amb} - k_a + k_b \phi \quad (3.19)$$

onde:

$$k_a = \begin{cases} 17,9 & \text{para } 65\% \leq \phi \leq 100\% \\ 22,5 & \text{para } 45\% \leq \phi \leq 65\% \end{cases};$$

$$k_b = \begin{cases} 0,18 & \text{para } 65\% \leq \phi \leq 100\% \\ 0,25 & \text{para } 45\% \leq \phi \leq 65\% \end{cases}.$$

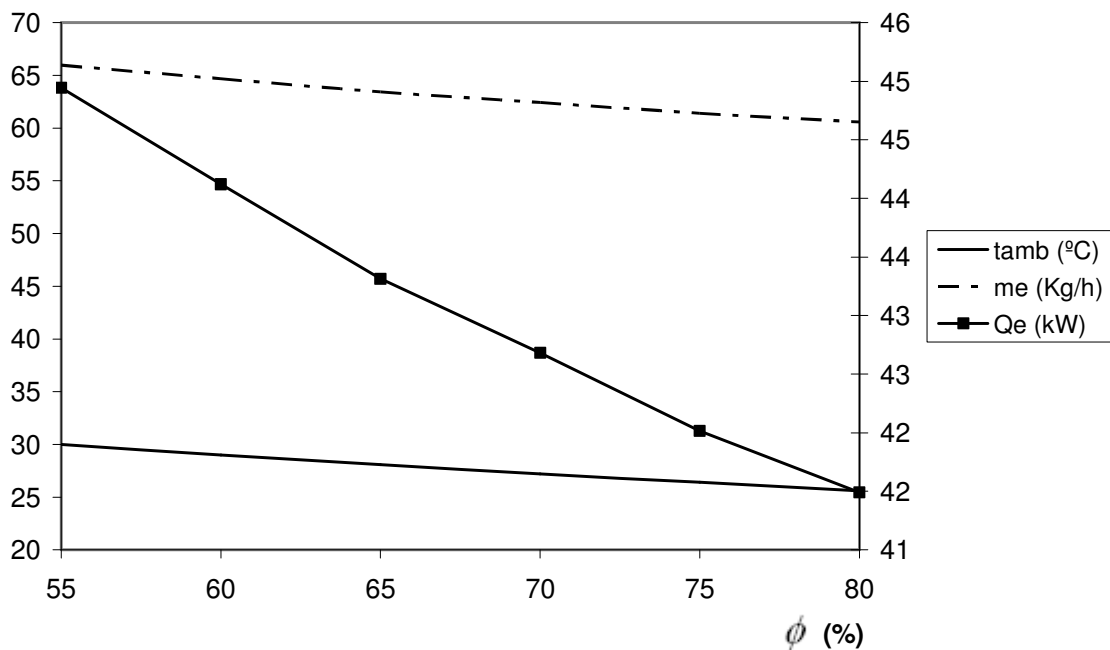
Conjugando as equações 3.18 e 3.19 obtém-se:

$$t_{amb} = t_{bh} + \frac{k_0 - k_1 \phi}{3} \quad (3.20)$$

Na tabela 3.3 e figura 3.4 as condições são similares à preconizada na tabela 3.2, mas todas as colunas de variáveis têm em comum a mesma temperatura de bolbo húmido.

**Tabela 3.3 – Critério da temperatura de bolbo húmido constante**

	$t_{bh}=22,9^{\circ}\text{C}$					
$t_{ap}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	29	29	29	29	29	29
$t_{amb}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	30	29	28,1	27,1	26,3	25,5
$\phi$ (%)	55,0	60	65	70	75	80
$Q_e$ (W)	45.075	43.253	43.447	43.006	42.345	41.824
$me$ (Kg/h)	66,1	64,8	63,5	62,6	61,5	60,7



**Figura 3.4 – Evolução das variáveis ambientais -  $t_{bh}$  constante**

### 3.1.1.5. Cálculo da componente IEE da responsabilidade do AVAC

O IEE é calculado a partir dos consumos efectivos de energia de um edifício durante um ano, convertidos para uma base de energia primária. Os factores de conversão utilizados no cálculo do IEE são os seguintes (RSECE, 2006):

- EE: 0,29 kgep/kWh ;
- GN: 0,91 kgep/m<sup>3</sup> ou 0,086 kgep/kWh .

Partindo das formulações apresentadas em 3.1.1.3, a componente IEE de responsabilidade do AVAC ( $IEE_{AVAC}$ ) pode ser calculada por:

$$IEE_{AVAC} = \frac{(Q_{env} + Q_{ren}) \times 0,086 + Q_{lat} \times 0,29}{A_{util}} \quad (3.21)$$

onde:

$A_{util}$  - Área útil do edifício ( $m^2$ ).

Esta equação não quantifica todos os gastos energéticos associados ao sistema de climatização, excluindo o consumo associado aos ventiladores e sistemas eléctricos electrónicos de comando, mas para o objectivo deste estudo a sua quantificação não se revela fundamental.

Tendo em consideração que:  $Q_{env}$  é dependente directamente da diferença entre a temperatura ambiente interior e exterior e a temperatura ambiente interior tem uma evolução quase linear nos dois critérios (Figura 3.4 e 3.5),  $Q_{lat}$  é proporcional a  $Q_e$  logo será constante para o critério da temperatura de orvalho constante (Figura 3.4) e terá uma evolução quase linear para o critério da temperatura de bolbo húmido constante (Figura 3.5) e  $Q_{ren}$  é dependente de  $m_e$  implicando que será constante para o critério da temperatura de orvalho constante (Figura 3.4) e terá uma evolução quase linear para o critério da temperatura de bolbo húmido constante (Figura 3.5), é expectável uma evolução linear decrescente do  $IEE_{AVAC}$  em função da humidade relativa.

#### 3.1.1.6. Cálculo do CE de responsabilidade do AVAC

Para a determinação do CE da instalação é necessário saber os preços da energia (EE e GN), em função do perfil do consumidor (DGEG, 2012A, 2012B).

Partindo das formulações preconizadas em 3.1.1.3, o CE de responsabilidade do AVAC ( $CE_{AVAC}$ ) pode ser calculado por:

$$CE_{AVAC} = (Q_{env} + Q_{ren}) \times p_{gn} + Q_{lat} \times p_{ee} \quad (3.22)$$

onde:

$p_{gn}$  - Preço do GN (€/kWh);

$p_{ee}$  - Preço da EE (€/kWh).



Similarmente ao  $IEE_{AVAC}$ , esta equação não quantifica todos os custos energéticos associados ao sistema de climatização e é expectável uma evolução linear decrescente em função da humidade relativa.

### 3.1.2. Formulação do modelo

O modelo de controlo pressupõe a alteração das variáveis de controlo, do sistema de climatização, nos períodos de não utilização (das 20:00 às 8:00), considerando os dois critérios já definidos: temperatura de bolbo húmido e temperatura de orvalho.

Tendo em consideração as minimizações preconizadas em 3.1.1.1 e 3.1.1.2 a evolução das variáveis ambientais descritas em 3.1.1.4 e as justificações preconizadas em 3.1.1.5 e 3.1.1.6, para cada um dos critérios,  $IEE_{AVAC}$  e  $CE_{AVAC}$  poderão ser expressas por funções lineares dependentes da humidade relativa:

$$IEE_{AVAC} = a_{IEE} + b_{IEE} \times \phi \quad (3.23)$$

onde:

$a_{IEE}$  e  $b_{IEE}$  – Constantes características da recta do IEE.

$$CE_{AVAC} = a_{CE} + b_{CE} \times \phi \quad (3.24)$$

onde:

$a_{CE}$  e  $b_{CE}$  – Constantes características da recta do CE.

As constantes  $a_{IEE}$ ,  $b_{IEE}$ ,  $a_{CE}$  e  $b_{CE}$  deverão ser determinadas, mediante simulação energética do edifício, considerando os cenários preconizados em 3.1.1.4, partindo da quantificação energética descrita em 3.1.1.3.

Partindo das equações 3.23 e 3.24 e considerando cada cenário, é possível determinar as variáveis ambientais que permitem otimizar energeticamente o desempenho do edifício, a partir da redução do IEE e do CE do edifício.

## 3.2. Sistema de Bombagem

O SB para recirculação da água do tanque da piscina é um dos grandes consumidores de EE (Rodrigues, 2007), dentro de todos os processos existente nos CPI.

Nesta secção é definido um modelo de controlo que, com recurso a variadores electrónicos de velocidade, permite racionalizar os consumos de energia com e um correto escalonamento da bombagem.

### 3.2.1. Enquadramento para o modelo

A optimização energética de um SB é facilitada se existir a capacidade para estimar a potência solicitada, para tal é necessário caracterizar o funcionamento das bombas e a instalação hidráulica.

#### 3.2.1.1. Bombas hidráulicas

A curva característica de uma bomba pode ser estimada, de uma forma satisfatória, pela seguinte equação quadrática (Carlson, 2000):

$$H_b = a_b + c_b Q^2 \quad (3.25)$$

onde:

$H_b$  – Altura manométrica da bomba (m);

$a_b$  e  $c_b$  – Constantes características da bomba.

Na presença de uma associação de  $n$  bombas iguais em paralelo a curva característica do sistema de bombas é dada por:

$$H_b = a_b + c_b \frac{Q^2}{n^2} \quad (3.26)$$

As constantes,  $a_b$  e  $c_b$ , podem ser estimadas pela leitura da curva característica da bomba, ou serem fornecidas pelo fabricante.

A curva característica pode ser estimada a partir da utilização de dois sensores de pressão ao mesmo nível (um na entrada da bomba e outro na saída) e um caudalímetro, sendo a altura manométrica que a bomba pode atingir dada a partir de (Grundfos, 2008):

$$H_b = k_1 \frac{P_o - P_i}{\rho g} \quad (3.27)$$

onde:

$P_i$  – Pressão na entrada da bomba (Pa);

$P_o$  – Pressão na saída da bomba (Pa);

$\rho$  - Massa específica do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$g$  – Aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$k_1$  - Constante para adaptação das unidades (0,00001).

### 3.2.1.2. Curva característica da instalação

A curva característica do sistema hidráulico da instalação pode ser caracterizada, de forma aproximada, pela seguinte equação (Carlson, 2000):

$$H_s = a_s + c_s Q^2 \quad (3.28)$$

onde:

$H_s$  – Altura manométrica da instalação (m);

$a_s$  e  $c_s$  – Constantes características da instalação.

A constante  $a_s$  é a altura estática ou geométrica da instalação e é um dado intrínseco da instalação,  $c_s Q^2$  é a altura dinâmica da instalação e pode ser determinada pela fórmula empírica de Darcy-Weisbach (Barbosa, 1986):

$$c_s = \frac{8 \times f_d \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \quad (3.29)$$

onde:

$f_d$  – factor de atrito de *Darcy*;

$D$  – Diâmetro interior da tubagem (m).

As constantes  $a_s$  e  $c_s$  podem ainda ser estimadas partindo da utilização de um caudalímetro e testando dois pontos de funcionamento da instalação. Sabendo que:  $Q_1$  é o caudal debitado pelo sistema com uma bomba em velocidade nominal e  $Q_n$  é o caudal debitado pelo sistema com  $n$  bombas em velocidade nominal, e partindo das equações 3.24 e 3.25, vem:

$$\begin{cases} H_1 = a_b + c_b Q_1^2 \\ H_n = a_b + c_b \frac{Q_n^2}{n^2} \end{cases} \quad (3.30)$$

Sabendo que as duas alturas manométricas, do sistema de bombas ( $H_1$  e  $H_n$ ) é igual às correspondentes alturas manométricas da curva característica da instalação, de 3.27 vem:

$$\begin{cases} a_s + c_s Q_1^2 = a_b + c_b Q_1^2 \\ a_s + c_s Q_n^2 = a_b + c_b \frac{Q_n^2}{n^2} \end{cases} \quad (3.31)$$

Resolvendo o sistema de equações, vem que  $a_{sh}$  e  $c_{sh}$  é dado por:

$$\begin{cases} a_s = a_b + c_b Q_1^2 - \frac{c_b Q_1^2 \left( \frac{Q_n^2}{n^2} - Q_1^2 \right)}{Q_n^2 - Q_1^2} \\ c_s = \frac{c_b \left( \frac{Q_n^2}{n^2} - Q_1^2 \right)}{Q_n^2 - Q_1^2} \end{cases} \quad (3.32)$$

### 3.2.1.3. Potência hidráulica de uma bomba

A potência hidráulica de uma bomba pode ser determinada pela expressão (Carlson , 2000):

$$P_h = a_h + c_h Q^d \quad (3.33)$$

onde:

$P_h$  – Potência hidráulica da bomba (kW);

$a_h$ ,  $c_h$  e  $d$  – Constantes características da potência hidráulica de uma bomba.

As constantes  $a_h$ ,  $c_h$  e  $d$  podem ser estimadas pela leitura da curva característica da bomba, ou fornecidas pelo fabricante. Tipicamente  $d$  tem um valor unitário ou próximo.

Um outro modo de determinar a potência hidráulica, sabendo a eficiência da bomba em função do caudal (Grundfos, 2006, 2007, 2008), é expresso pela seguinte fórmula:

$$P_h = \frac{k_2 \times Q \times H}{\eta_h} \quad (3.34)$$

onde:

$H$  – Altura manométrica (m),

$\eta_h$  – Rendimento bomba hidráulica (%);

$k_2$  - Peso volumétrico (2,72).

### 3.2.1.4. Potência eléctrica solicitada pelo conjunto motor-bomba

A prática corrente nos CPI é a instalação de bombas com motores de indução trifásica, sendo o rendimento do motor dado pela curva típica representado na figura seguinte.

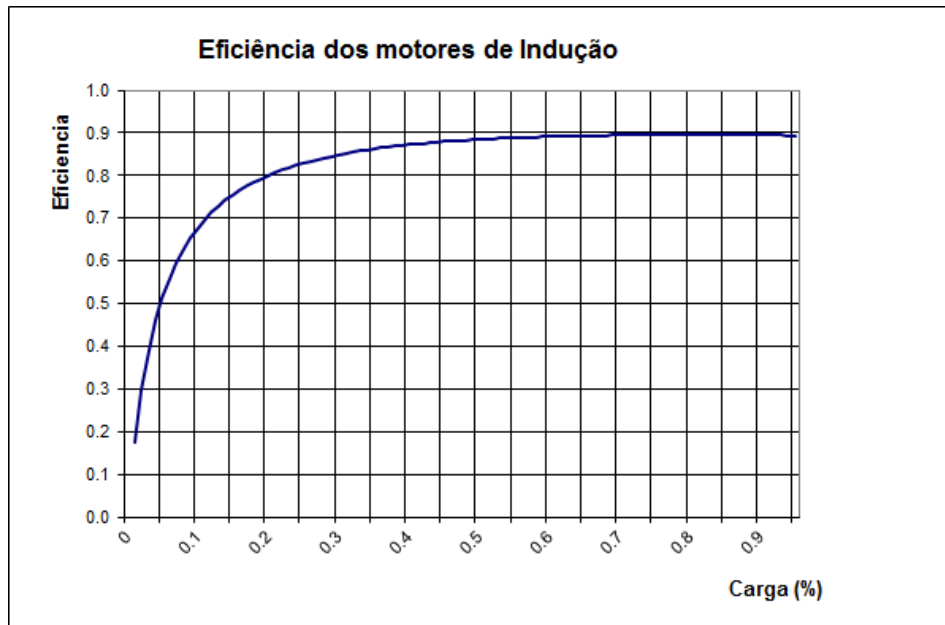


Figura 3.5 – Curva típica de Motor de Indução

A curva típica mostra que o motor obtém o maior rendimento dentro da faixa de operação que vai de 75% a 100% da carga nominal. Desta forma deve-se evitar, sempre que possível, deixar o motor funcionar com uma carga muito inferior à sua potência nominal, uma vez que isto implica um menor rendimento e uma redução do factor de potência, ambos indesejados, aumentando os custos operacionais.

Sabendo que a potencia eléctrica de uma motor de indução pode ser estimada por (Doppelbauer, 2009):

$$P_e = \frac{P_h}{\eta_e} = \frac{P_h}{\frac{P_h/P_{en}}{P_h/P_{en} + pe + pd \left( \frac{P_h}{P_{en}} \right)^2}} \quad (3.35)$$

onde:

$P_e$  – Potência do conjunto motor-bomba (W),

$P_{en}$  – Potência eléctrica nominal do motor (W),

$pe$  e  $pd$  – Constantes características do motor de indução.

As constantes  $pe$  e  $pd$  podem ser estimadas sabendo a potência eléctrica solicitada pelo conjunto motor-bomba ( $P_e$ ) num determinado ponto de funcionamento da instalação, partindo do pressuposto que a eficiência dos motores de indução trifásicos têm um ponto de inversão para um regime de carga de 80% ( $\frac{pe}{pd} = 0,8^2$ ). Partindo deste ponto de funcionamento é possível determinar  $P_h$  pela curva característica das bombas. Assim as constantes vêm:

$$pe = 0,8^2 \times pd \quad (3.36)$$

$$pd = \frac{\frac{P_h/P_{en}}{P_h/P_e} - \frac{P_h/P_{en}}{P_h/P_{en}}}{0,8^2 + \left(\frac{P_h/P_{en}}{P_h/P_e}\right)^2} \quad (3.37)$$

Um outro modo de determinar é partindo dos dados do fabricante, considerando o rendimento com carga máxima e com 75% da carga (Doppelbauer, 2009):

$$pd = \frac{\left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1\right) - 0,75\left(\frac{1}{\eta_{75}} - 1\right)}{0,4375} \quad (3.38)$$

$$pe = \left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1\right) - pd \quad (3.39)$$

onde:

$\eta_{100}$  – Rendimento com carga máxima (%),

$\eta_{75}$  – Rendimento com 75% da carga (%).

### 3.2.1.5. Lei da afinidade das bombas centrífugas

O funcionamento de um SB, em velocidade variável, obedece ao princípio da afinidade (uma bomba é homóloga a ela própria em velocidades de rotação distintas). Neste caso, as leis da afinidade, estabelecem as relações entre a velocidade (N) e o caudal (Q), a altura manométrica (H), a potência hidráulica (P) e a eficiência ( $\eta$ ) e podem ser expressas por (Carlson, 2000; Grundfos, 2006, 2008):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.40)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (3.41)$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3.42)$$

$$\eta_1 = 1 - (1 - \eta_2) \left(N_2/N_1\right)^{0,1} \quad (3.43)$$

A lei da afinidade, ou leis das bombas centrífugas, caracteriza-se pela curva de afinidade que deve ser calculada por cada ponto de funcionamento pretendido, podendo ser determinada pelo polinómio:

$$H_a = c_a Q^2 \quad (3.44)$$

onde:

$H_a$  – Altura manométrica da curva de afinidade (m);

$c_a$  – Constantes características da curva de afinidade.

Para se poder determinar o ponto de operação 1, do SB, tem que se determinar  $c_a$  de modo a que a curva de afinidade e o sistema hidráulico tenham o mesmo valor de altura e caudal. O ponto de operação 2, do SB, corresponde à intersecção da curva de afinidade com a curva característica da bomba.

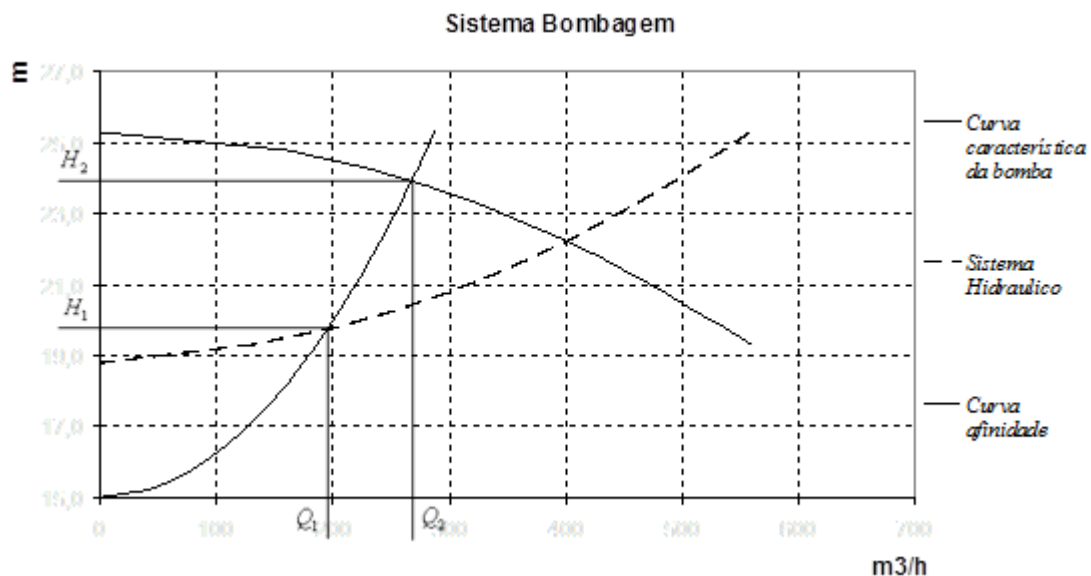


Figura 3.6 – Exemplo de curva de afinidade e pontos de operação

### 3.2.2. Formulação do modelo

O modelo de controlo proposto tem como objectivo principal garantir o caudal mínimo regulamentar, durante os períodos normais de utilização, e um caudal inferior ao regulamentar, para os períodos de não utilização, com a garantia de que os níveis de qualidade da água estejam dentro dos limites aceitáveis.

Contudo devemos ter sempre atenção à qualidade da água e se esta se começar a degradar deve aumentar-se gradualmente o caudal da instalação até garantir as condições satisfatórias de **IS**.

Nesta situação de caudal variável torna-se viável a instalação de VEV para o controlo do mesmo. Neste sentido, é expectável a redução do caudal da instalação, para metade do caudal nominal, nas seguintes situações:

1. Durante o período de não utilização das instalações,
2. Nos períodos em que custos energéticos são mais elevados (horas de ponta).

Partindo do estudo do SB e tendo em conta que nestes casos existem mais do que uma bomba em paralelo, é possível aplicar uma fórmula genérica que permite determinar a potência eléctrica da instalação, para diferentes caudais:

$$P_{ne} = f \cdot P_{e\_vn} + (n - f) \cdot P_{e\_vv} \quad (3.45)$$

onde:

$P_{ne}$  – Potência eléctrica de  $n$  conjuntos motor-bomba (W),

$P_{e\_vn}$  - Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba em velocidade nominal (W),

$P_{e\_vv}$  - Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba a velocidade variável (W),

$n$  - número total de bombas em funcionamento,

$f$  - número de bombas a velocidade nominal.

Formulando passo a passo a equação 3.45, vem que a determinação da potência eléctrica de  $n$  conjuntos motor-bomba está vinculada à determinação de dois componentes distintos de caudal, velocidade nominal e velocidade variável, e por sua vez da potência hidráulica.

Para o calculo do **caudal** parte-se do exemplo genérico, Figura 3.7, de uma SB com  $f$  bombas em velocidade nominal  $n-f$  bombas em velocidade variável.



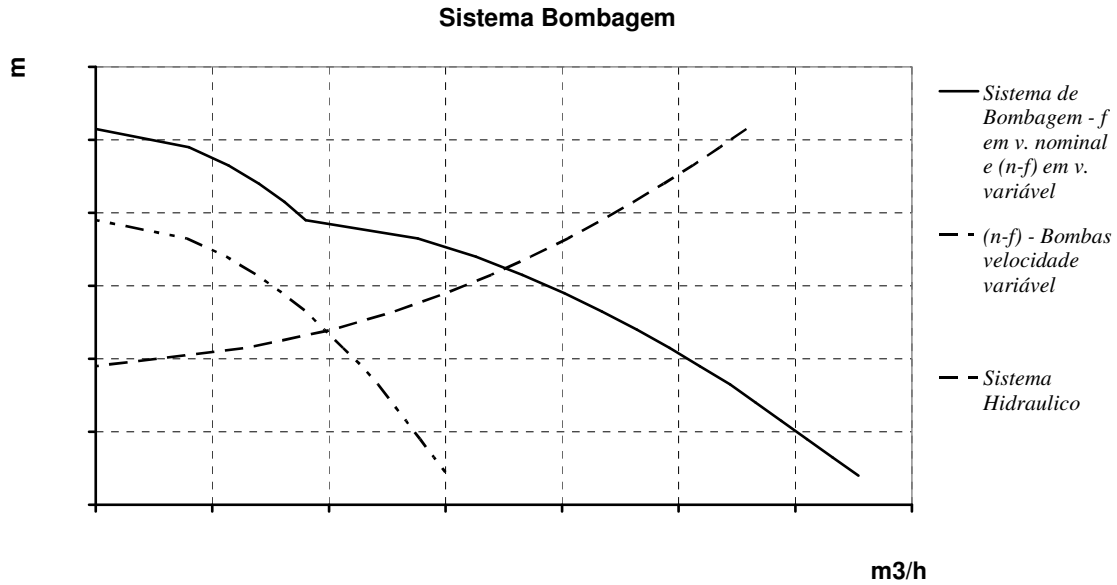


Figura 3.7 – SB genérico

O cálculo do caudal debitado pelas bombas em velocidade nominal ( $Q_{vn}$ ), Figura 3.8, está directamente dependente do caudal pretendido na instalação ( $Q$ ).



Figura 3.8 – Cálculo do  $Q_{vn}$

$(H_1, Q)$  é o ponto de funcionamento do SB e  $H_1$  pode ser calculado pela curva característica do sistema de hidráulico 3.27:

$$H_1 = a_s + c_s Q^2 \quad (3.46)$$

$Q_{vn}$  é dado pelo caudal que  $f$  bombas debitam em velocidade nominal para uma altura manométrica de  $H_1$ , partindo da curva característica das bombas 3.26:

$$Q_{vn} = \sqrt{\frac{f^2(H_1 - a_b)}{c_b}} = \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}} \quad (3.47)$$

O Cálculo do caudal debitado pelas bombas em velocidade variável ( $Q_{vv}$ ), Figura 3.19, tem como valores de partida o  $H_1$  e  $Q_1$ , onde  $Q_1$  será dado por:

$$Q_1 = Q - Q_{vn} = Q - \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}} \quad (3.48)$$

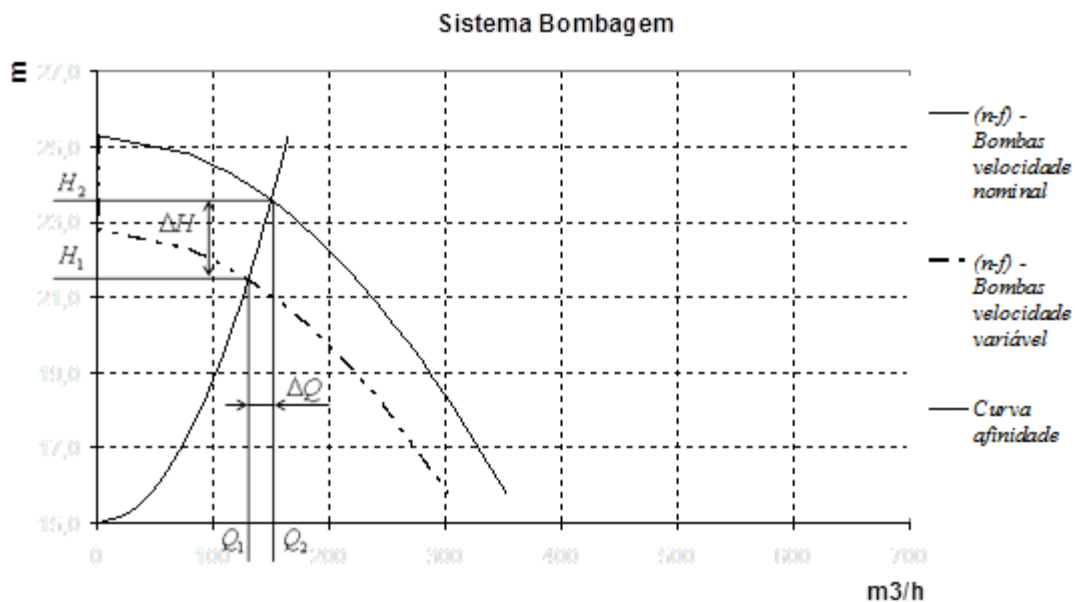


Figura 3.9 – Cálculo do  $\Delta H$  e  $\Delta Q$

Inicialmente é necessário calcular os desfasamentos em altura manométrica ( $\Delta H = H_2 - H_1$ ) e caudal ( $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ ) que a curva característica de  $(n-f)$  bombas em velocidade variável tem em relação ao mesmo conjunto em velocidade nominal. Sabendo um ponto de funcionamento  $(H_1, Q_1)$  em velocidade variável, traça-se a curva de afinidade que passa por este ponto e determina-se  $Q_2$ , que é dado pela intersecção da curva da afinidade com a curva característica de  $(n-f)$  bombas em velocidade nominal:

$$a_b + c_b \frac{Q_2^2}{(n-f)^2} = c_a Q_2^2 \quad (3.49)$$

Sabendo que  $c_a = \frac{H_1}{Q_1^2}$  vem que:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{a_b}{\frac{H_1}{Q_1^2} - \frac{c_b}{(n-f)^2}}} \quad (3.50)$$

Partindo da lei da afinidade  $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$  então  $H_2$  será dado por:

$$H_2 = \frac{Q_2^2 \times H_1}{Q_1^2} = \frac{\frac{a_b}{a_s + c_s Q^2} \times (a_s + c_s Q^2)}{\left(Q - \sqrt{\frac{f^2 (a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}}\right)^2 - \frac{c_b}{(n-f)^2}} \quad (3.51)$$

$Q_{vv}$  é dado quando a curva característica de  $(n-f)$  bombas em velocidade variável cruza a curva do sistema hidráulico (Figura 3.10):

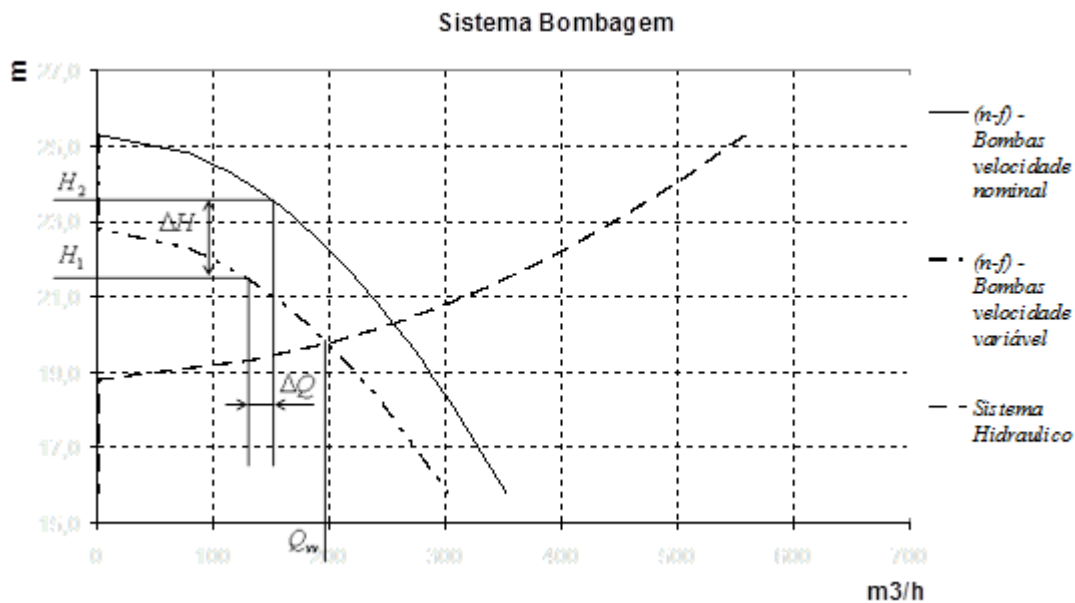


Figura 3.10 – Cálculo do  $Q_{vv}$

$$a_b - \Delta H + c_b \frac{(Q_{vv} - \Delta Q)^2}{(n-f)^2} = a_s + c_s Q_{vv}^2 \quad (3.52)$$

Resolvendo, obtêm-se:

$$Q_{vv} = \frac{\frac{2c_b \Delta Q}{(n-f)^2} \pm \sqrt{\left(\frac{2c_b \Delta Q}{(n-f)^2}\right)^2 - 4 \left(\frac{c_b}{(n-f)^2} - c_s\right) \left(\frac{c_b \Delta Q^2}{(n-f)^2} + a_b - \Delta H - a_s\right)}}{2 \left(\frac{c_b}{(n-f)^2} - c_s\right)} \quad (3.53)$$

Sabendo os caudais envolvidos, a **potência hidráulica** de uma bomba em velocidade nominal será dada por:

$$\begin{aligned} P_{h\_vn} &= a_h + c_h \frac{Q_{vn}}{f} = \\ &= a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2 (a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}} \end{aligned} \quad (3.54)$$

Para determinar a potência hidráulica de uma bomba em velocidade variável é preciso aplicar a lei das afinidades (Figura 3.11):

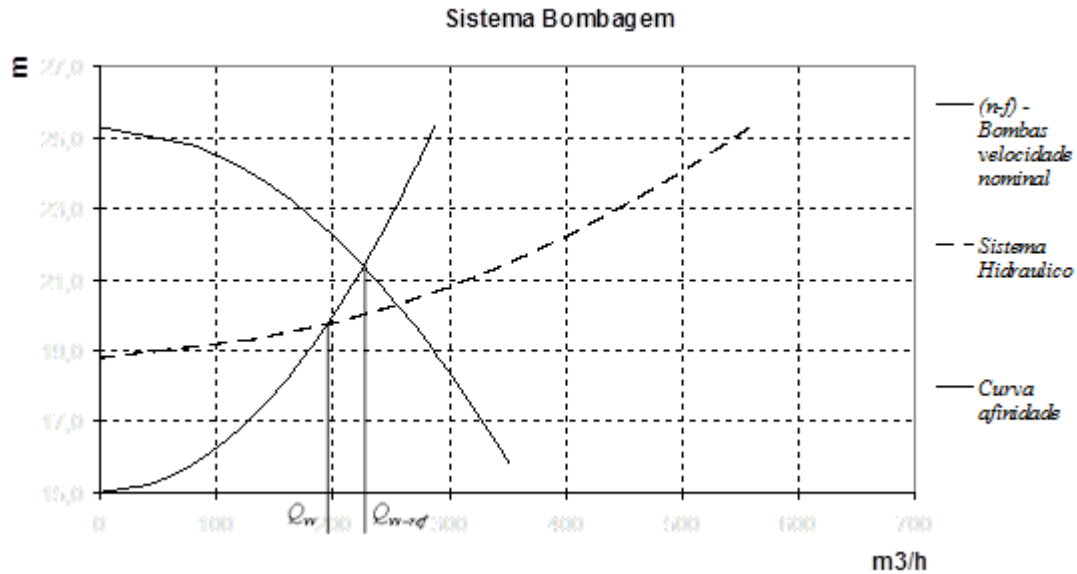
$$P_{h\_vv} = \left(\frac{Q_{vv}}{Q_{vv-ref}}\right)^3 P_{h\_vv-ref} \quad (3.55)$$

Onde:

$P_{h\_vv}$  - Potência hidráulica de  $(n-f)$  bombas em velocidade variável (W);

$P_{h\_vv-ref}$  - Potência hidráulica equivalente de  $(n-f)$  bombas em velocidade a nominal (W);

$Q_{vv-ref}$  - Caudal equivalente debitado pelas  $(n-f)$  bombas em velocidade nominal (m<sup>3</sup>/h).



**Figura 3.11 – Curva de afinidade**

Para se determinar  $Q_{vv-ref}$  é necessário primeiro calcular  $c_a$  (a constante da curva de afinidade) e sabendo que a curva de afinidade cruza a curva característica do sistema hidráulico para  $Q_{vv}$  temos:

$$a_s + c_s Q_{vv}^2 = c_a Q_{vv}^2 \quad (3.56)$$

Da equação anterior obtendo-se:

$$c_a = \frac{a_s + c_s Q_{vv}^2}{Q_{vv}^2} \quad (3.57)$$

$Q_{vv-ref}$  é o valor de caudal dado quando se iguala a curva característica de  $(n-f)$  bombas em velocidade nominal com a curva de afinidade:

$$a_b + c_b \frac{Q_{vv-ref}^2}{(n-f)^2} = c_a Q_{vv-ref}^2 \quad (3.58)$$

, obtendo-se:

$$Q_{vv-ref} = \sqrt{\frac{a_b \cdot (n-f)^2 \cdot Q_{vv}^2}{a_s \cdot (n-f)^2 + c_s \cdot (n-f)^2 \cdot Q_{vv}^2 - c_b \cdot Q_{vv}^2}} \quad (3.59)$$

A potência hidráulica equivalente de uma bomba em regime de velocidade variável será dada por:

$$P_{h\_vv-ref} = a_h + b_h \frac{Q_{vv-ref}}{(n-f)} \quad (3.60)$$

Partindo das potências hidráulicas calculadas, e sabendo que a **potência eléctrica** de um conjunto motor-bomba pode ser estimada por:

$$P_e = \frac{P_h}{\eta_e} = \frac{P_h}{\frac{P_h/P_{en}}{\frac{P_h/P_{en}}{+ pe + pd \left( \frac{P_h/P_{en}}{P_{en}} \right)^2}}} \quad (3.61)$$

Partindo de 3.54 e 3.60 podemos determinar  $P_{e\_vn}$ :

$$P_{e\_vn} = \frac{\frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}}}{\frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}}}{P_{en}}}}{\frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}}}{P_{en}} + pe + pd \left( \frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s Q^2 - a_b)}{c_b}}}{P_{en}} \right)^2} \quad (3.62)$$

A potência eléctrica equivalente de um conjunto motor-bomba em regime de velocidade variável ( $P_{e\_vv}$ ) será dada por:

$$P_{e\_vv} = \frac{P_{h\_vv}}{\frac{P_{h\_vv}/P_{en}}{\frac{P_{h\_vv}/P_{en}}{+ pe + pd \left( \frac{P_{h\_vv}/P_{en}}{P_{en}} \right)^2}}} \quad (3.63)$$

Onde:

$P_{h\_vv}$  - Potência hidráulica de  $(n-f)$  bombas em velocidade variável é dada pela equação 3.55 e é dependente de:  $Q_{vv}$ ,  $Q_{vv-ref}$  e  $P_{h\_vv-ref}$ ;

$Q_{vv}$  - Caudal debitado pelas ( $n-f$ ) bombas em velocidade variável é dado pela equação 3.53 de:  $\Delta Q$ ,  $\Delta H$  ;

$Q_{vv-ref}$  - Caudal equivalente debitado pelas ( $n-f$ ) bombas em velocidade nominal é dado pela equação 3.59;

$P_{h_{vv-ref}}$  - Potência hidráulica equivalente de ( $n-f$ ) bombas em velocidade a nominal é dada pela equação 3.60.

Substituindo 3.62 e 3.63 em 3.45 obtêm-se uma equação genérica que permite quantificar a potência eléctrica solicitada pela instalação hidráulica dependente do caudal pretendido. Para este processo, a estratégia de controlo assenta na determinação, em tempo real, do par ( $n, f$ ) que minimiza esta equação genérica, para qualquer regime de funcionamento.

### 3.3. Sistema de Produção de Água Quente Sanitária

A estratégia de controlo, neste caso, vai incidir na utilização do AQS, nomeadamente nos chuveiros.

A prática corrente ao nível do controlo do fluxo de água é na essência a utilização de dispositivos automáticos dedicados por temporização (Hidromecânico); ou por sensor com histerese para fecho (Sensor de Presença).

O sistema de funcionamento hidromecânico é aquele onde o utilizador acciona o dispositivo de comando manualmente e o fecho ocorre ao fim de um determinado tempo de funcionamento. Os tempos de funcionamento podem variar em função da finalidade do equipamento. O tempo de funcionamento de um dispositivo destinado a chuveiro é normalmente de 30 segundos.

No caso das válvulas hidráulicas equipadas com um sensor de presença, geralmente por infravermelho, é utilizado um mecanismo de controlo electrónico que mantém sempre a válvula aberta, quando detecta utilizadores. Quando o dispositivo deixa de detectar um utilizador espera alguns segundos e depois faz o corte da válvula.

No caso dos chuveiros, existente nos CPI, é proposto um sistema automático integrado no sistema de gestão técnica, composto por um sensor de presença e uma válvula de comando eléctricos, por cada chuveiro.

A estratégia de controlo assenta no seguinte princípio: se o detector estiver activado a válvula estará aberta, excepto quando:

- O detector estiver activado mais do que 5 minutos (tempo depende do caudal do chuveiro).

### **3.4. Sistema de Iluminação**

A regulação do funcionamento da iluminação pressupõe a capacidade de determinação de ocupação do espaço, em tempo real, altura na qual era permitida a activação da mesma. Será desligada automaticamente quando deixa de ser ocupado o espaço.

Os detectores de ocupação são dispositivos de comutação que respondem à presença e ausência de pessoas situadas no campo de vista do sensor. O sistema consiste num sensor de movimento, numa unidade electrónica de controlo e num relé comutador.

A optimização energética do SI do complexo desportivo pode ser feita com um controlo on/off simples, com recurso a sensores de ocupação, dado serem desnecessários níveis de iluminação muito precisos (descartando-se a regulação do fluxo luminosos) e o período de inactividade dos espaços não ser regular.





## 4. Caso de estudo

O complexo desportivo alvo do estudo é composto por duas piscinas cobertas e aquecidas, sendo uma Piscina Olímpica (PO) com as dimensões de 50m x 25m a par de uma piscina para aprendizagem e reabilitação, Piscina Recreativa (PR), com 25m x 12,5m.

Aquando da visita às instalações verificou-se que na PO a água se encontra a uma temperatura média entre 27°C e 28°C e as condições higrométricas eram tais que a temperatura ambiente variava entre 28°C e 29°C e a humidade relativa entre 50% e 55%. Para o caso da PR de menores dimensões, a temperatura média da água varia entre 29°C e 30°C, a temperatura ambiente variava entre 30°C e 31°C e a humidade relativa encontrava-se dentro do mesmo intervalo da PO.

As variáveis ambientais reais utilizadas no presente estudo, nomeadamente temperatura do ar, humidade relativa e temperatura da água da piscina, foram determinadas partindo do cálculo dos valores médios monitorizados durante um ano, 2006, pelo sistema de gestão técnica (SGT). Partindo destes valores foi calculada a  $Q_e$  (Tabela 4.1) partindo da equação 3.4 indicada no Capítulo 3, assim como as temperaturas de orvalho e de bolbo húmido para as condições reais de cada uma das piscinas.

**Tabela 4.1 – Condições de funcionamento**

Variável	PO	PR	Unidades
Temperatura da água da piscina ( $t_{ap}$ )	27,5	28,9	°C
Temperatura do ar ambiente ( $t_{amb}$ )	28,3	30,5	°C
Humidade Relativa ( $\phi$ )	52,3	52,7	%
Temperatura de orvalho ( $t_{po}$ )	17,6	19,8	°C
Temperatura de bolbo húmido ( $t_{bh}$ )	24,8	26,9	°C
Perdas por evaporação da água do tanque ( $Q_e$ )	179.611	45.123	W
Taxa de evaporação ( $me$ )	263,1	66,3	Kg/h

Aquando da auditoria energética do edifício (Rodrigues, 2007), foi quantificado o consumo energéticos de todo o complexo, assim como a determinação do IEE. Na tabela 4.2 são apresentados os dados energéticos mais importantes da instalação.

**Tabela 4.2 – IEE e valores característicos do Edifício**

Variável	Valor	Unidades
Consumo da EE	427	tep
Consumo de GN	203	tep
Área útil de pavimento	6586	m <sup>2</sup>
IEE do edifício	95,7	kgep/m <sup>2</sup> .ano

Pela avaliação energética do edifício (Rodrigues, 2007) também foi possível desagregar os consumos por processo, sendo a distribuição percentual dos consumos relativos apresentada na tabela 4.3, onde se pode verificar que os quatros processos principais perfazem na globalidade 74% do consumo da EE e 81% em GN.

**Tabela 4.3 – Consumos relativos dos processos dos CPI**

Processo	EE	GN
AVAC	21%	53%
SB	34%	-
SPAQS	-	37%
SI	14%	-

A alimentação da EE do complexo é feita por um posto de transformação com uma potência 1000 kVA, onde é transformada de média para baixa tensão. O contrato de fornecimento de energia contempla uma potência contratada de 465 kW, sendo o custo da energia tarifada em média tensão, com regime de longas utilizações e ciclo horário. Ao nível do GN, o abastecimento é feito por conduta própria do fornecedor de gás.

## 4.1. Os processos

As características técnicas dos dois principais processos, sistema de climatização e de bombagem, foram obtidas mediante o caderno de encargos da instalação e pela auditoria energética efectuada.

### 4.1.1. Sistema de climatização

No sistema de climatização a energia térmica é fornecida por uma rede primária de água aquecida em caldeiras com queimadores a GN, sendo responsável por garantir as condições de conforto ao nível dos tanques.

Segundo o caderno de encargos a climatização da PO, é assegurada por três UTA para aquecimento e desumidificação de acordo com as características apresentadas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Características especificadas para as UTA da PO**

Características	UTA – P1 e P2	UTA – P3
Potência de aquecimento de Ar máxima (kW)	210	140
Capacidade de desumidificação (kg/h)	126,5	83
Caudal de ar máximo (m <sup>3</sup> /h)	43.000	30.000
Modelo	BCP – 610	BCP - 400
Marca	CIAT	CIAT

Para a climatização do ar interior da nave da PR, foi projectada a instalação de uma única UTA, com características similares às anteriores apresentadas na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 – Características especificadas para as UTA da PR**

Características	UTA – P4
Potência de aquecimento de ar máxima (kW)	145
Capacidade de desumidificação (kg/h)	65,5
Caudal de ar máximo (m <sup>3</sup> /h)	19.200
Modelo	BCP – 315
Marca	CIAT

Cada UTA é comandada por um controlador dedicado, que se socorre de uma rede sensorial de modo a manter os parâmetros definidos ao nível da temperatura ambiente e humidade relativa.

Com a realização da auditoria energética ao edifício foram verificadas todas as características associadas aos sistemas de climatização e da central térmica do edifício.

A central térmica é composta por três caldeiras a GN (Marca: Roca, Modelo: CPA 800).

**Tabela 4.6 – Características técnicas da caldeira**

Características	CPA 800
Potência útil (kW)	930,2
Rendimento útil à potência máxima	92,4%

A nível da climatização do ar interior da nave da PO, a realidade é a existência de três UTA, duas são responsáveis pelo aquecimento e desumidificação do ambiente interior (Marca: *Ciatesa*, Modelo: BCP – 610) enquanto a outra só faz aquecimento (Marca: *Evac*) sendo necessária para garantir as condições de conforto térmico da nave da piscina. Na Tabela 4.7 apresentam-se as características técnicas principais das UTA com capacidade de desumidificação.

**Tabela 4.7 – Características técnicas das UTA instaladas na PO**

Características	BCP – 610
Potência de desumidificação (kW)	179,9
Potência eléctrica absorvida para a desumidificação (kW)	45,0
Eficiência nominal do desumidificador (%)	399
Capacidade de desumidificação (kg/h)	126,5
Caudal de ar nominal (m <sup>3</sup> /h)	30.000
Caudal de ar máximo (m <sup>3</sup> /h)	43.000

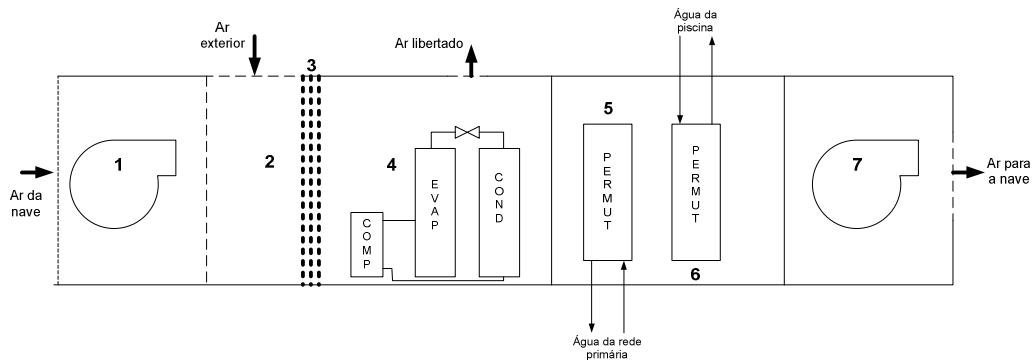
A climatização do ar interior da nave da PR é assegurada por uma UTA com capacidade de desumidificação e aquecimento de todo o espaço (Marca: *Ciatesa*, Modelo: BCP – 315), sendo as características técnicas principais apresentadas na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8 – Características técnicas das UTA instaladas na PR**

Características	BCP – 315
Potência de desumidificação (kW)	95,2
Potência eléctrica absorvida para a desumidificação (kW)	22,9
Eficiência nominal do desumidificador (%)	416
Capacidade de desumidificação (kg/h)	65,5
Caudal de ar nominal (m <sup>3</sup> /h)	16.000
Caudal de ar máximo (m <sup>3</sup> /h)	19.200

A constituição base das UTA responsáveis pelo aquecimento e desumidificação é normalmente constituída por, Figura 4.1:

- 1) Ventilador – tem como função extrair o ar da nave.
- 2) Secção de mistura – o ar da nave é misturado com o ar exterior.
- 3) Filtros – a mistura é filtrada.
- 4) Bomba de calor – o evaporador desumidifica o ar, para posteriormente o condensador pré-aquecer o mesmo.
- 5) Permutador ar-água – aquece o ar até à temperatura desejada com água quente do sistema primário.
- 6) Permutador ar-água – utiliza a água quente da piscina que vai rejeitada para auxiliar o aquecimento do ar, funcionando como recuperador de calor.
- 7) Ventilador – introduz o ar nas condições pretendidas na nave.

**Figura 4.1 - Esquema da UTA que desumidifica e aquece**

Sendo cada UTA normalmente controlada por uma central electrónica (Marca: *Carel*, Modelo: pCOc), que permite assegurar o correcto funcionamento da UTA e assegura as condições ambientais predefinidas, nomeadamente temperatura ambiente interior e humidade relativa. Estes controladores têm capacidade para comunicar em vários protocolos: BacNet™, Johnson Metasys, TCP/IP, SNMP, LonWorks, Modbus, Trend; condição necessária para assegurar a parametrização remota por via de um SGT.

#### 4.1.2. Sistema de bombagem

O SB garante a recirculação da água de modo a ser filtrada, tratada quimicamente e depois aquecida através de permutadores de placas partindo da rede primária de energia térmica.

Ao nível do caderno de encargos os sistemas de bombagem foram projectados para ser composto por um grupo de electrobombas, sendo uma de reserva, com protecção anti-corrosiva, do tipo centrífugo de eixo horizontal, destinados a fazer circular através dos elementos filtrantes, a água contida na piscina, possuindo as características técnicas descritas na Tabela 4.9.

**Tabela 4.9 – Características técnicas do SB**

Características	PO	PR
Número de electrobombas	6 (1 reserva)	3 (1 reserva)
Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	650 (5X130 m <sup>3</sup> /h)	188 (2X94 m <sup>3</sup> /h)
Altura manométrica (m.c.a.)	14	14
Potência da electrobomba (CV)	12,5	7,5
Velocidade do motor (rpm)	3000	1500
Alimentação eléctrica	TRI-380 V/50 Hz	TRI-380 V/50 Hz

Aquando da auditoria energética ao complexo desportivo verifica-se, que na PO, estão instaladas cinco bombas iguais e em paralelo da marca ‘EFAFLU’, modelo ‘NJM 100-250’, cada uma com uma potência nominal de 15kW, em que 4 estão a funcionar e uma está desligada. A gestão do funcionamento das bombas é feita manualmente, isto é, são os operadores que vão alternando a bomba que está desligada. Na altura da visita ao local, as 4 bombas que estavam a funcionar, debitavam um caudal de aproximadamente 400 m<sup>3</sup>/h, ao serem desligadas três bombas, ficando uma só em funcionamento que debitava o caudal de 139 m<sup>3</sup>/h.

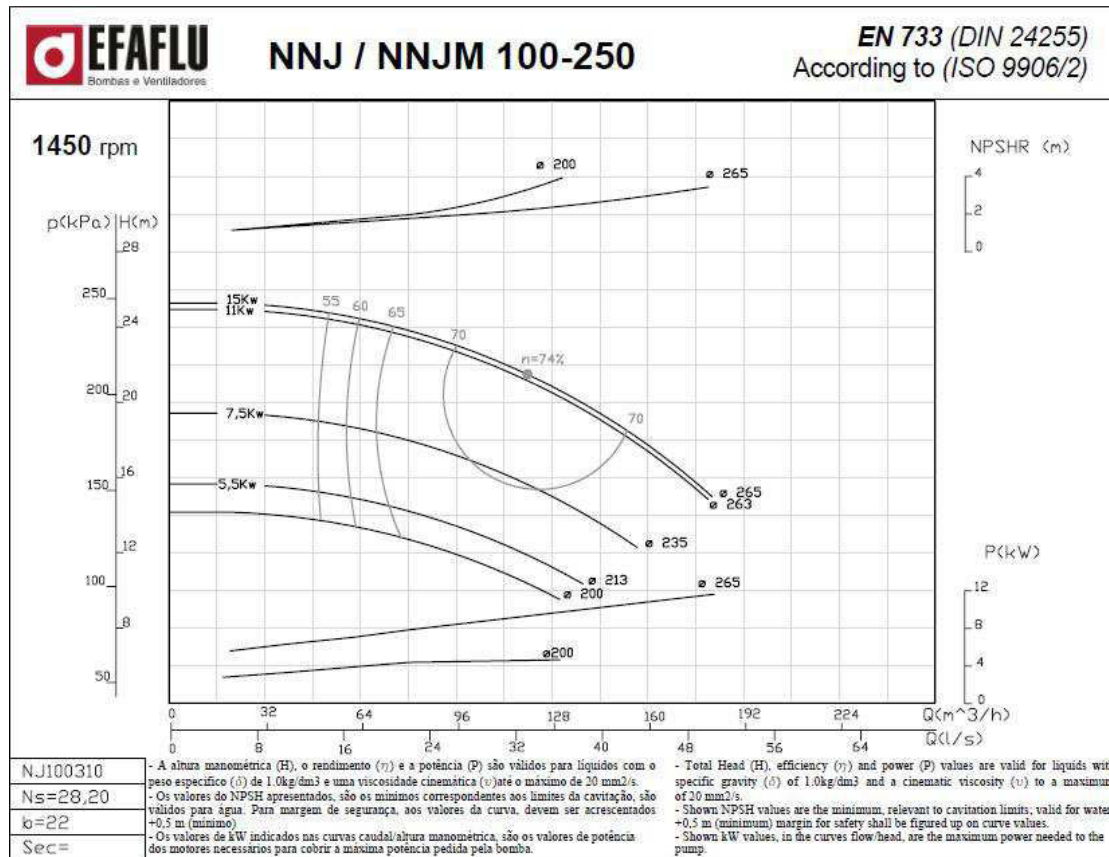


Figura 4.2 – Curva característica da bomba da PO

Ao nível da PR existem três bombas iguais em paralelo, da marca ‘EFAFLU’, mas neste caso do modelo ‘NJM 80-250’, cada uma com uma potência nominal de 7,5kW, das quais só duas estão a funcionar. A gestão é feita do mesmo modo que na piscina anterior. Na altura da visita às instalações, este grupo estava a debitar um caudal de 97 m<sup>3</sup>/h.

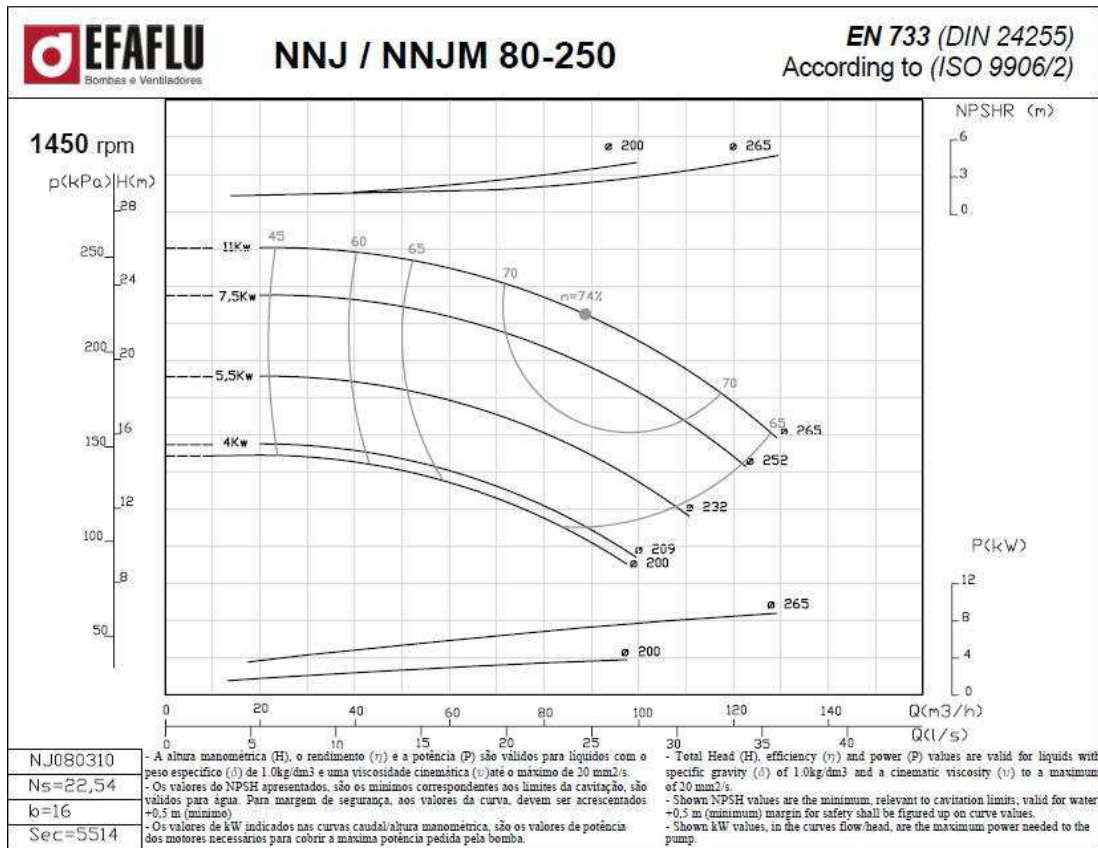


Figura 4.3 – Curva característica da bomba da PR

Para uma correcta caracterização do SB, será necessário determinar os parâmetros da instalação preconizados na secção 3.2 do Capítulo 3. Para tal, e partindo dos dados já referidos neste capítulo, procedeu-se à determinação de todos os parâmetros do SB. Para o caso da PO, os parâmetros vêm indicadas na Tabela 4.10 e representados graficamente na Figura 4.4.

Tabela 4.10 – Parâmetros do SB da PO

$n$	$a_b$	$c_b$	$a_s$	$c_s$	$a_h$	$c_h$	$d$	$pe$	$pd$
5	26,6	$-3,57 \times 10^{-4}$	19,48	$2,37 \times 10^{-5}$	4,71	0,038	1	0,146	0,228



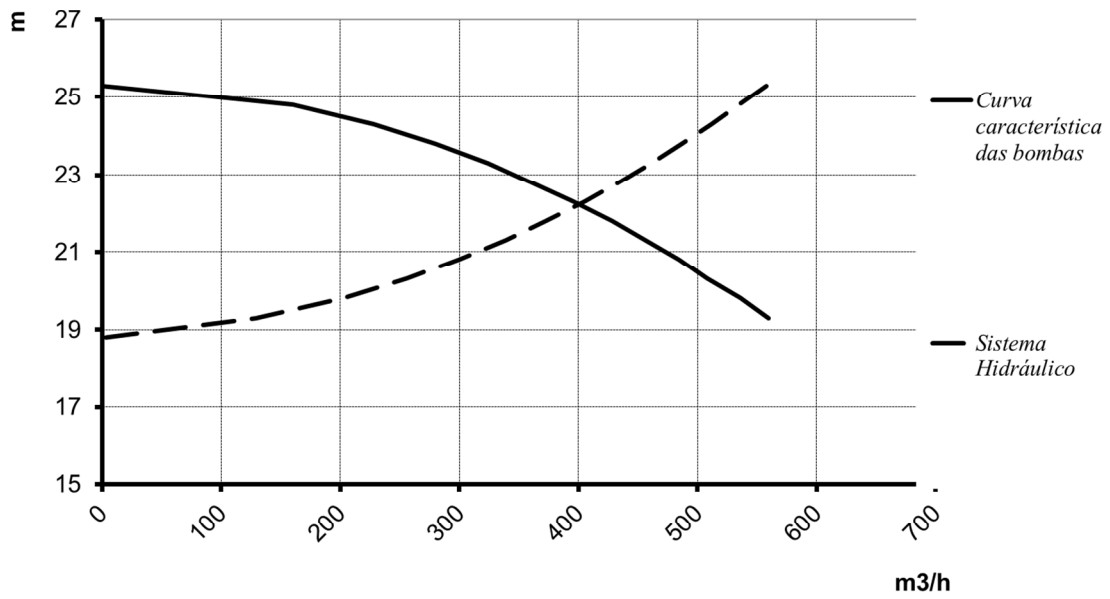


Figura 4.4 – Curvas características do sistema hidráulico da PO

No que concerne à PR os dados estão representados na Tabela 4.11 e na Figura 4.5.

Tabela 4.11 – Parâmetros do SB da PR

$n$	$a_b$	$c_b$	$a_s$	$c_s$	$a_h$	$c_h$	$d$	$pe$	$pd$
3	23,3	$-6,019 \times 10^{-4}$	9,25	$8,379 \times 10^{-4}$	2,24	0,052	1	0,02	0,032

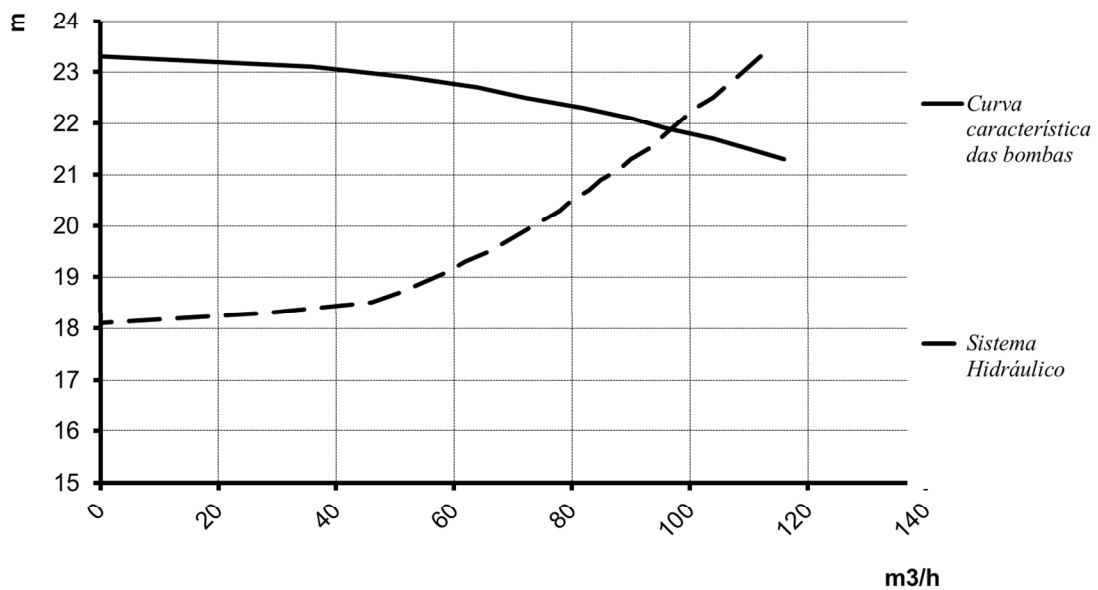


Figura 4.5 – Curvas características do sistema hidráulico da PR

## **4.2. O sistema de gestão técnica**

O sistema de gestão técnica do complexo de piscinas foi concebido de modo a implementar as seguintes tarefas principais:

- Supervisão e comandar todos os equipamentos das instalações técnicas a que se destina;
- Aquisição e tratamento, em tempo real, de variáveis analógicas e/ou digitais;
- Gestão dos consumos energéticos ou outros, através de programas de gestão específicos, disponibilizando consumos médios, assim como a sua distribuição por utilizador específico;
- Elaboração de lista de acontecimentos e/ou gráficos, que permitam a tomada de decisões por parte dos responsáveis pela exploração, numa situação de anomalia das Instalações;
- Integração dos dados de manutenção que possibilitem através de pacotes de dados específicos, preparar a realização de trabalhos de manutenção preventiva ou outra, estimando os seus custos.

O SGT é constituído por autómatos industriais em topologia distribuída, interligados entre si e ao microcomputador de supervisão por intermédio de uma rede de comunicação própria através de adaptadores para protocolo específico do sistema. Esta rede de comunicações permite interligar em qualquer ponto da rede outro qualquer equipamento que tenha o mesmo protocolo de comunicação.



## 5. Simulação e resultados

Este capítulo é dedicado à validação dos modelos de controlo preconizados no terceiro capítulo. Ao nível do HVAC são apresentados, os vários cenários e respectivos resultados das simulações dinâmicas de edifícios e a respectiva validação do modelo de controlo. No caso do SB o modelo de controlo é validado partindo do estudo teórico.

### 5.1. Sistema de AVAC

A avaliação do modelo de controlo a implementar no sistema de AVAC foi efectuada com recurso à simulação energética de edifícios (ESP-r), sendo que todos os passos dados estão descritos nos pontos seguintes. Assim como, a possível implementação de duas oportunidades de racionalização de consumos (ORC) com implicações directas no Sistema de AVAC:

- ORC 1 - A implementação da cobertura do plano de água durante os períodos de não utilização do complexo;
- ORC 2 - Redução do consumo de energia eléctrica, em horas de ponta, por intermédio do ajuste das variáveis ambientais do sistema AVAC.

#### 5.1.1. Simulação energética do edifício

A simulação energética do edifício tem como base a modelação efectuada, em ambiente ESP-r, por Lacerda (2007) e apresentado no Anexo F. No ESP-r já é possível introduzir uma piscina interior representada por uma superfície evaporativa especial, mas tem a grande desvantagem de considerar a fronteira do modelo adiabática, limitativa para a quantificação energética do edifício. Deste modo, a melhor maneira de quantificar as perdas/ganhos do tanque para o exterior do edifício é considerar o plano de água uma carga latente associado à evaporação da água.

Inicialmente, foi efectuada uma simulação energética do edifício considerando as variáveis ambientais reais da instalação (Tabela 4.1 do Capítulo 4) tendo como referência o ano de 2006 (**Simu-1**). De seguida, foram efectuadas simulações sucessivas com variações nas variáveis

ambientais compatíveis com os critérios definidos no Capítulo 3, tendo a humidade relativa como variável independente. O intervalo de variação de  $\phi$  foi de 55% a 80%, de acordo com a nova regulamentação em vigor NP EN 15288-1 (IPQ, 2009A) e com incrementos de 5%.

Ao nível das ORC, também foram efectuadas simulações que permitem avaliar o seu impacto na redução dos consumos.

### 5.1.1.1. Modelo de controlo

O modelo de controlo, como já foi referido, pressupõe a alteração das variáveis ambientais do sistema AVAC, nos períodos de não utilização (das 20h às 8h), respeitando dois critérios distintos:

- Temperatura de bolbo húmido constante (Critério  $t_{bh}$ );
- Temperatura de orvalho constante (Critério  $t_{po}$ ).

Sabendo que a variável independente é a  $\phi$ , cuja variação será entre 55% a 80% com incrementos de 5%, o passo seguinte consiste em calcular as variáveis ambientais que garantem cada um dos critérios.

Nas tabelas 5.1 e 5.2 apresentam-se as variáveis ambientais que espelham os cenários no que diz respeito ao critério  $t_{bh}$ .

**Tabela 5.1 – Variáveis ambientais da PO, no período nocturno, critério  $t_{bh}$**

Variável \ Simulação $\phi$	Simu-2 55%	Simu-3 60%	Simu-4 65%	Simu-5 70%	Simu-6 75%	Simu-7 80%
$t_{ap}$ (°C)	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
$t_{amb}$ (°C)	27,8	26,8	25,9	25,1	24,3	23,5
$\phi$ (%)	55	60	65	70	75	80
$Q_e$ (W)	177.400	174.959	172.101	169.582	167.192	164.931
$me$ (Kg/h)	259,7	255,8	251,4	247,4	243,7	240,2

**Tabela 5.2 – Variáveis ambientais da PR, no período nocturno, critério  $t_{bh}$**

Variável \ Simulação $\phi$	Simu-2 55%	Simu-3 60%	Simu-4 65%	Simu-5 70%	Simu-6 75%	Simu-7 80%
$t_{ap}$ (°C)	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9
$t_{amb}$ (°C)	29,9	28,9	28,1	27,2	26,4	25,6
$\phi$ (%)	55	60	65	70	75	80
$Q_e$ (W)	44.740	43.918	43.111	42.574	41.811	41.285
$me$ (Kg/h)	65,7	64,4	63,1	62,3	61,1	60,3

Nas tabelas 5.3 e 5.4 apresentam-se as variáveis ambientais que reflectem os cenários do critério  $t_{po}$ .

**Tabela 5.3 – Variáveis ambientais da PO, no período nocturno, critério  $t_{po}$**

Variável	Simulação $\phi$	Simu-8 55%	Simu-9 60%	Simu-10 65%	Simu-11 70%	Simu-12 75%	Simu-13 80%
$t_{ap}$ (°C)		27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
$t_{amb}$ (°C)		27,4	25,9	24,6	23,4	22,2	21,2
$\phi$ (%)		55	60	65	70	75	80
$Q_c$ (W)		179.777	180.102	180.416	180.650	180.911	181.170
$me$ (Kg/h)		263,1	263,1	263,1	263,1	263,1	263,2

**Tabela 5.4 – Variáveis ambientais da PR, no período nocturno, critério  $t_{po}$**

Variável	Simulação $\phi$	Simu-8 55%	Simu-9 60%	Simu-10 65%	Simu-11 70%	Simu-12 75%	Simu-13 80%
$t_{ap}$ (°C)		28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9
$t_{amb}$ (°C)		29,81	28,3	26,9	25,6	24,5	23,4
$\phi$ (%)		55	60	65	70	75	80
$Q_c$ (W)		45.170	45.242	45.321	45.399	45.454	45.514
$me$ (Kg/h)		66,3	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3

Nos dois critérios é notória a dicotomia na minimização do consumo energético da piscina: para reduzirmos as perdas pela envolvente é necessário diminuir a  $t_{amb}$  enquanto que a redução da carga latente de evaporação só é possível com  $t_{amb}$  em níveis elevados.

Nesta situação, o critério  $t_{bh}$  reduz a carga latente de evaporação, mas com uma redução pouco significativa da  $t_{amb}$ . No critério  $t_{po}$  existe uma redução mais acentuada da  $t_{amb}$ , mas mantendo-se a carga latente de evaporação sensivelmente constante.

#### 5.1.1.2. Oportunidade de racionalização de consumos

##### **(ORC1) Cobertura do plano de água**

A cobertura do plano de água é uma ORC já plenamente testada e com reduções efectivas no consumo energético. A introdução da cobertura do plano de água em conjugação com o modelo de controlo, anteriormente proposto, será uma mais-valia que foi estudada.

Para efeito da simulação, a cobertura do plano de água é representada através da redução, em 90%, da carga latente associada à evaporação do tanque, ocorrendo nos períodos de não utilização (das 20h às 8h).

Para as simulações foram considerados quatro cenários distintos, que se passam a descrever:

- **Com AVAC – (Simu-14)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante todo o dia.
- **Com AVAC e 80%-Tbh – (Simu-15)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante o dia; à noite, variáveis ambientais que respeitem o critério  $t_{bh}$  com uma  $\phi$  de 80%.
- **Com AVAC e 80%-Tpo – (Simu-16)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante o dia; à noite, variáveis ambientais que respeitem o critério  $t_{po}$  com uma  $\phi$  de 80%.
- **Sem AVAC – (Simu-17)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante o dia; à noite, sem controlo das condições ambientais.

Nas tabelas 5.5 e 5.6 são apresentadas as variáveis ambientais respeitantes aos cenários descritos.

**Tabela 5.5 – Variáveis ambientais da PO, ORC 1**

Variável	Simulação			
	Simu-14	Simu-15	Simu-16	Simu-17
$t_{ap}$ (°C)	27,5	27,5	27,5	27,5
$t_{amb}$ (°C)	28,3	23,5	21,2	-
$\phi$ (%)	52,3	80	80	-
$Q_e$ (W)	17.961	16.493	18.117	17.961
$me$ (Kg/h)	26,3	24,0	26,3	26,3

**Tabela 5.6 – Variáveis ambientais da PR, ORC 1**

Variável	Simulação			
	Simu-14	Simu-15	Simu-16	Simu-17
$t_{ap}$ (°C)	28,9	28,9	28,9	28,9
$t_{amb}$ (°C)	30,5	25,6	23,4	-
$\phi$ (%)	52,7	80	80	-
$Q_e$ (W)	4.512	4.129	4.551	4.512
$me$ (Kg/h)	6,6	6,0	6,6	6,6

**(ORC2) Redução de consumos em horas de ponta**

A abordagem para o estudo da redução de consumos em horas de ponta implica a identificação, no sistema AVAC, do processo que é maioritariamente dependente do consumo de energia eléctrica. Das formulações definidas em 3.1.1.3 podemos verificar que a redução da carga latente é o processo em causa. Assim deveremos reduzir a taxa de evaporação das piscinas durante as horas de ponta, de modo a reduzir os consumos de energia eléctrica.

Com o critério  $t_{bh}$  é possível reduzir a carga latente de evaporação da piscina com o aumento da  $\phi$ , assim foram simulados três cenários de  $\phi$  durante o período de duração das horas de ponta:

- **Horas de Ponta - 60% – (Simu-18)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante todo o dia, excepto em horas de ponta onde variáveis ambientais respeitam o critério  $t_{bh}$  com uma  $\phi$  de 60%.
- **Horas de Ponta - 70% – (Simu-19)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante todo o dia, excepto em horas de ponta onde variáveis ambientais respeitam o critério  $t_{bh}$  com uma  $\phi$  de 70%.
- **Horas de Ponta - 80% – (Simu-20)** Sistema AVAC controlado com as variáveis ambientais reais durante todo o dia, excepto em horas de ponta onde variáveis ambientais respeitam o critério  $t_{bh}$  com uma  $\phi$  de 80%.

Nas tabelas 5.5 e 5.6 são apresentadas as variáveis ambientais respeitantes aos cenários descritos.

**Tabela 5.7 – Variáveis ambientais da PO, ORC 2**

Variável	Simulação		
	Simu-18	Simu-19	Simu-20
$t_{ap}$ (°C)	27,5	27,5	27,5
$t_{amb}$ (°C)	28,300	28,300	28,300
$\phi$ (%)	60	70	80
$Q_e$ (W)	164.690	145.312	125.933
$me$ (Kg/h)	241,2	212,8	184,5

**Tabela 5.8 – Variáveis ambientais da PR, ORC 2**

Variável	Simulação		
	Simu-18	Simu-19	Simu-20
$t_{ap}$ (°C)	28,9	28,9	28,9
$t_{amb}$ (°C)	30,500	30,500	30,500
$\phi$ (%)	60	70	80
$Q_e$ (W)	41.119	35.633	30.148
$me$ (Kg/h)	60,4	52,3	44,3



### 5.1.2. Resultados e análise da simulação

Os resultados e a análise das simulações propostas anteriormente serão detalhados e explicados nos pontos seguintes, nomeadamente os resultados associados ao modelo de controlo proposto para o sistema AVAC, assim como a demonstração da sua eficácia na redução de consumos.

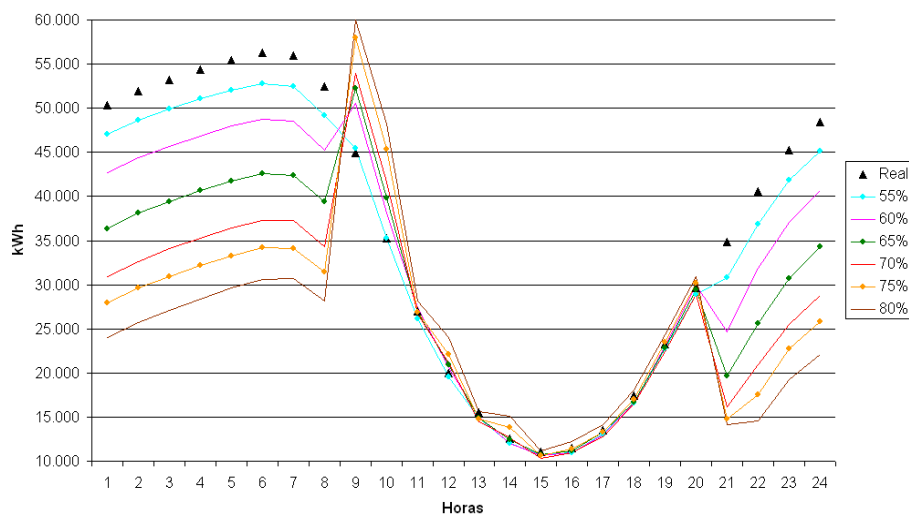
Ao nível das ORC é mostrado o seu potencial de poupança para a factura energética e, em particular, os benefícios energéticos que advêm da introdução da cobertura do plano de água em conjugação com um controlo adequado do sistema AVAC.

#### 5.1.2.1. Evolução da energia sensível e latente do edifício

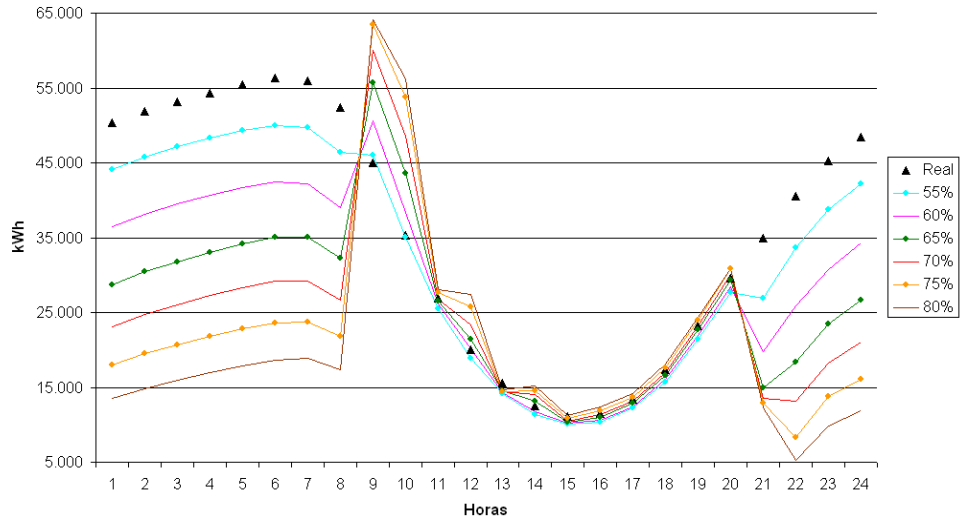
A simulação energética de edifícios permite determinar, a cada hora, a potência sensível e latente de modo a garantir as condições de conforto requeridas, além de outras variáveis do edifício.

Ao adicionarmos as potências verificadas a cada a cada hora dos 365 dias do ano obtemos a energia útil consumida pelo edifício. O cálculo da energia total, sensível e latente, foi efectuado para a climatização das naves da PO e PR, no caso dos seis cenários descritos do modelo de controlo.

A percepção do comportamento da energia sensível em função de cada cenário proposto, para o modelo de controlo, pode ser avaliada nas Figuras 5.1 e 5.2.

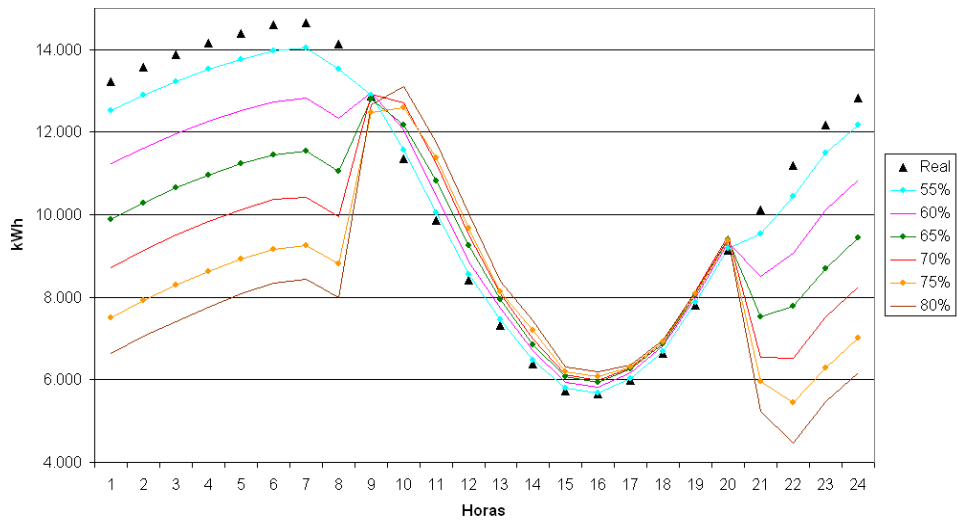


(a)

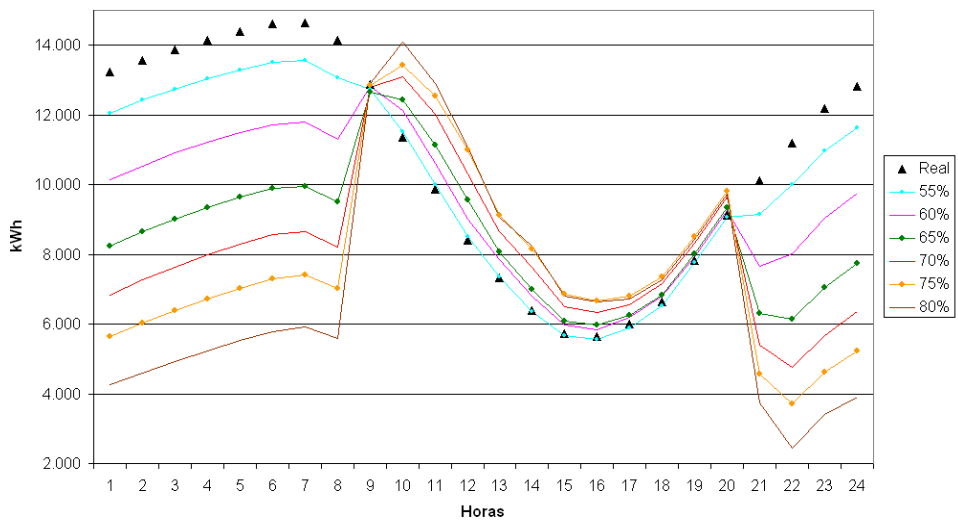


(b)

Figura 5.1 – Energia Sensível, totais anuais PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)



(a)



(b)

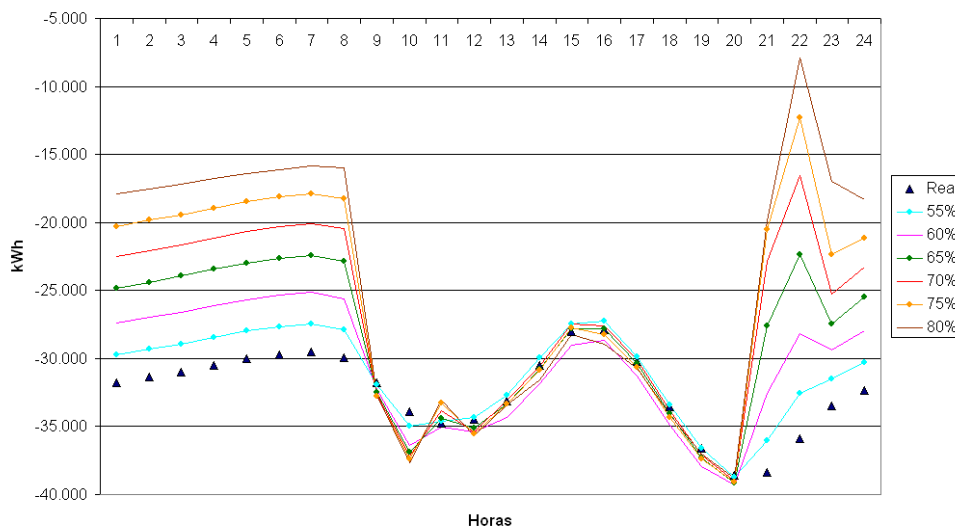
Figura 5.2 – Energia Sensível, totais anuais PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

A redução da energia sensível, no período nocturno, para os vários cenários é compatível com a diminuição da  $t_{amb}$ , como seria espectável, verificando-se no cenário  $t_{po}$  as maiores reduções, na mesma linha das reduções da  $t_{amb}$ .

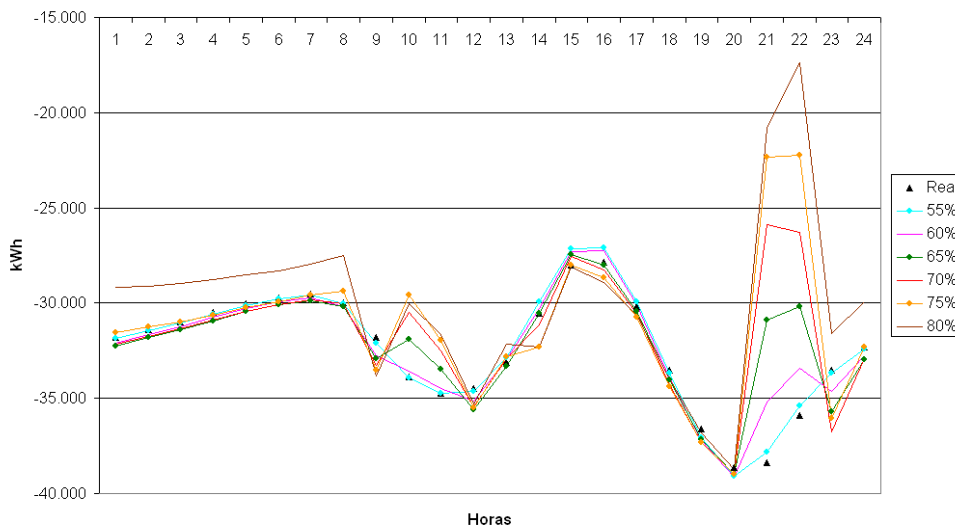
No período normal de funcionamento existe um acréscimo de consumo provocado pela menor energia armazenada no edifício durante o período nocturno.

Na globalidade, cada um dos cenários acarreta uma efectiva redução de consumos anuais de energia sensível do edifício, sendo no limite dos cenários, ou seja  $\phi$  de 80% (limite máximo da NP EN 15288-1), onde se obtêm maiores reduções: 30,8% para o cenário  $t_{bh}$  e 43,1% para o cenário  $t_{po}$ .

Analogamente como foi feito em relação à energia sensível, a evolução da energia latente do edifício vem representada nas Figuras 5.3 e 5.4.

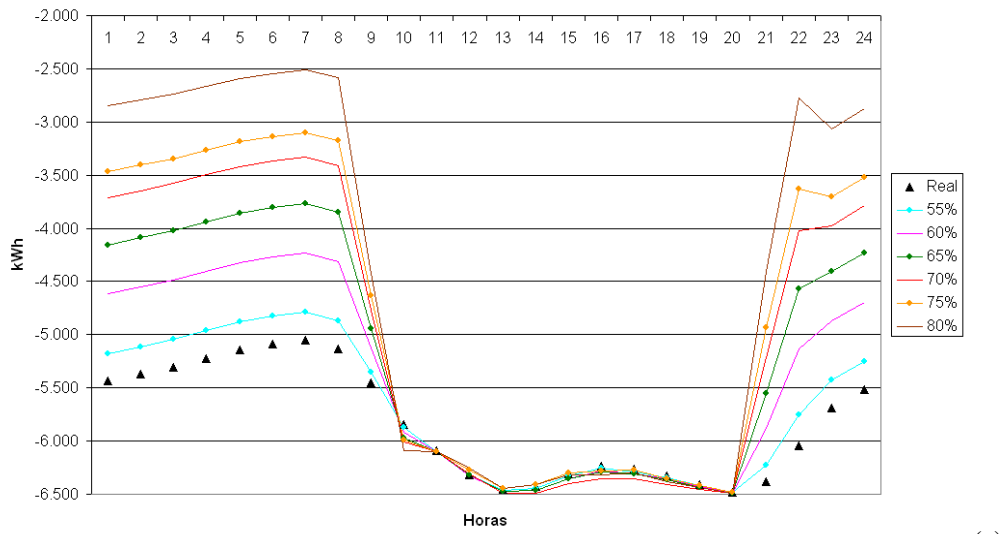


(a)

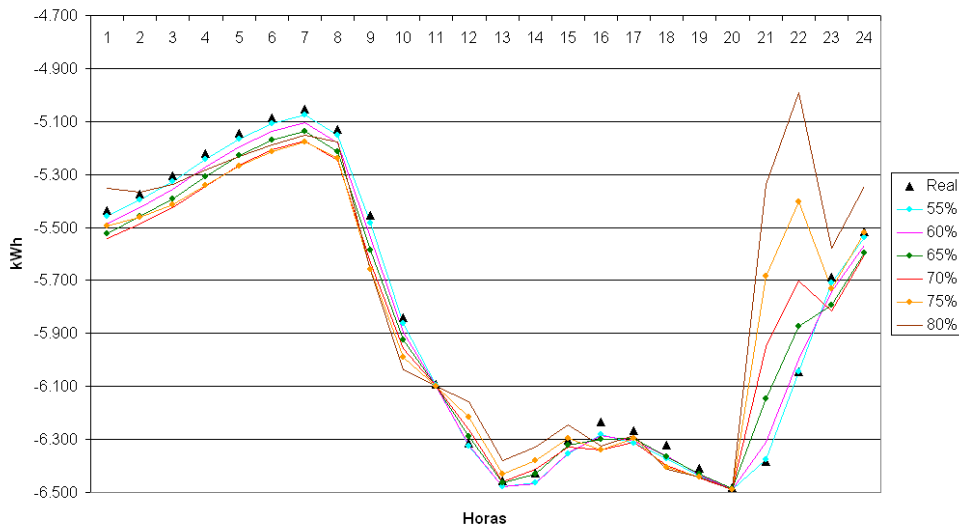


(b)

Figura 5.3 – Energia Latente, totais anuais da PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)



(a)



(b)

Figura 5.4 – Energia Latente totais anuais da PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

A redução significativa na energia latente durante o período nocturno, no cenário  $t_{bh}$ , é consequência da redução da carga latente de evaporação preconizada pelo modelo de controlo.

Em lógica inversa, no cenário  $t_{po}$ , a variação da energia latente é pouco expressiva, acima de tudo porque a humidade absoluta é aproximadamente constante neste cenário.

Globalmente, cada um dos cenários acarreta uma redução de consumos anuais de energia latente do edifício, sendo no limite dos cenários, ou seja  $\phi$  de 80%, onde se obtêm reduções expressivas (23%) para cenário  $t_{bh}$  e menos acentuadas (7,3%) para cenário  $t_{po}$ .

### 5.1.2.2. Valores anuais de energia consumida

O cálculo dos valores anuais de energia consumida pelo sistema de AVAC da PO e da PR foi executado utilizando os dados das simulações anteriormente apresentado, em conjugação com a formulação do balanço energético do edifício e tanque referente à unidade de tratamento de ar (Capítulo 3), para o ano de referência de 2006.

Da formulação do balanço energético do edifício e tanque, vamos ter três parcelas a calcular: perdas energéticas pela envolvente, aquecimento da água introduzida no processo e redução da carga latente da nave. As duas primeiras advêm do consumo de gás natural e a última do consumo de energia eléctrica.

O consumo de gás natural para colmatar as perdas energéticas pela envolvente será dado pela equação 3.11 (Capítulo 3), sabendo que vamos ter 8760 horas de funcionamento da instalação e 92.4% de eficiência do sistema de caldeiras (Tabela 4.6 do Capítulo 4).

A evaporação sofrida pelo tanque provoca uma redução significativa da quantidade de água existente no circuito hidráulico, sendo necessário introduzir água da rede pública ou do tanque de compensação. O consumo de gás natural, para aquecimento da água introduzida no sistema hidráulico, será calculado pela equação 3.13 (Capítulo 3). Sabendo já a massa de água evaporada para cada um dos cenários e o número de horas de funcionamento, falta a temperatura da água da rede para cada mês do ano (Tabela 5.9), dados provenientes do programa SolTerm (LNEG, 2010) para a localização do edifício em causa.

**Tabela 5.9 – Temperatura da água da rede**

Mês	Dias	$T_{red}$ (°C)
Janeiro	31	12
Fevereiro	28	13
Março	31	14
Abril	30	16
Mai	31	17
Junho	30	18
Julho	31	17
Agosto	31	16
Setembro	30	14
Outubro	31	14
Novembro	30	13
Dezembro	31	12

Por fim, falta determinar a energia eléctrica que é necessária para a desumidificação do ar ambiente (equação 3.12 do Capítulo 3). Para este cálculo é imperativo saber a eficiência nominal

do desumidificador da instalação sendo que, partindo do Capítulo 4, sabemos que o COP das unidades de tratamento de ar é 399% para a PO e 416% para a PR.

Perante os pressupostos descritos anteriormente, foram determinados os valores de consumo de energia eléctrica e gás natural referentes aos dois critérios (Tabela 5.10), para o ano de 2006. Os valores em causa estão segregados por piscina, para permitir perceber o peso relativo da cada uma.

**Tabela 5.10 – Consumo energético das piscinas (2006) (MWh)**

Humidade Relativa	PO				PR			
	EE		GN		EE		GN	
	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$
Real	194,4	194,4	968,9	968,9	33,7	33,7	286,5	286,5
55%	187,5	194,1	917,9	871,5	33,0	33,8	279,2	271,8
60%	183,4	194,1	872,6	785,9	31,4	33,9	265,7	252,6
65%	172,6	192,8	797,0	710,3	30,0	33,9	250,5	231,1
70%	163,7	190,4	731,6	657,4	28,8	33,9	238,0	220,0
75%	157,2	187,6	709,1	612,4	27,9	33,7	223,1	209,3
80%	149,8	180,2	681,6	567,5	26,1	33,2	213,9	192,6

Ao nível energético, uma boa regra para se poder comparar as diferentes fontes de energia é converter para toneladas equivalente de petróleo (tep). Tal é possível mediante a utilização dos seguintes factores de conversão: energia eléctrica: 0,29 tep/MWh e gás natural: 0,086 tep/MWh

Na Tabela 5.11 podem ser visualizados os dados referentes ao critério  $t_{bh}$  e respectivos pesos relativos dos consumos.

**Tabela 5.11 – Consumo energético das piscinas (2006) critério  $t_{bh}$  (tep)**

Humidade Relativa	PO					PR				
	EE	GN	Total	Varição EE	Varição GN	EE	GN	Total	Varição EE	Varição GN
	Real	56.4	83.3	139.7	40.4%	59.6%	9.8	24.6	34.4	28.5%
55%	54.4	78.9	133.3	40.8%	59.2%	9.6	24	33.6	28.6%	71.4%
60%	53.2	75	128.2	41.5%	58.5%	9.1	22.9	31.9	28.5%	71.8%
65%	50	68.5	118.6	42.2%	57.8%	8.7	21.5	30.2	28.8%	71.2%
70%	47.5	62.9	110.4	43.0%	57.0%	8.3	20.5	28.8	28.8%	71.2%
75%	45.6	61	106.6	42.8%	57.2%	8.1	19.2	27.3	29.7%	70.3%
80%	43.4	58.6	102.1	42.6%	57.4%	7.6	18.4	26	29.2%	70.8%

A Tabela 5.12 apresenta os valores referentes ao critério  $t_{po}$ .

**Tabela 5.12 – Consumo energético das piscinas (2006) critério  $t_{po}$  (tep)**

Humidade Relativa	PO					PR				
	EE	GN	Total	Variação EE	Variação GN	EE	GN	Total	Variação EE	Variação GN
Real	56.4	83.3	139.7	40.4%	59.6%	9.8	24.6	34.4	28.4%	71.6%
55%	56.3	74.9	131.2	42.9%	57.1%	9.8	23.4	33.2	29.5%	70.5%
60%	56.3	67.6	123.9	45.4%	54.6%	9.8	21.7	31.5	31.1%	68.9%
65%	55.9	61.1	117.0	47.8%	52.2%	9.8	19.9	29.7	33.1%	66.9%
70%	55.2	56.5	111.7	49.4%	50.6%	9.8	18.9	28.8	34.2%	65.8%
75%	54.4	52.7	107.1	50.8%	49.2%	9.8	18.0	27.8	35.2%	64.8%
80%	52.3	48.8	101.1	51.7%	48.3%	9.6	16.6	26.2	36.8%	63.2%

Na PO é notória a importância do consumo de energia eléctrica (40,4% do peso relativo para cenário real) em relação à PR (28,4% do peso relativo para cenário real), consequência directa do peso da carga latente de evaporação das duas piscinas. O consumo da PO é fortemente condicionado pela carga latente de evaporação. Já no caso da PR, esta é mais penalizada pelas perdas pela envolvente do edifício, associadas a níveis de  $t_{amb}$  mais elevados.

No limite dos cenários, ou seja  $\phi$  de 80%, é onde se obtêm as menores reduções nos dois critérios: 46 tep para critério  $t_{bh}$  e 46,8 tep para critério  $t_{po}$ . O impacto da maior redução da  $t_{amb}$  no cenário  $t_{po}$  torna-se evidente com o aumento do peso percentual relativo da energia eléctrica, nas duas piscinas.

### 5.1.2.3. Índice de Eficiência Energética

O cálculo do IEE do edifício referente ao ano de 2006 já foi efectuado (Capítulo 4), assim como os valores característicos da instalação ao nível de consumo energético (Tabela 5.13).

Variável	Valor	Unidades
Consumo da EE	427	tep
Consumo de GN	203	tep
Área útil de pavimento	6.586	m <sup>2</sup>
IEE do edifício	95,7	-

Importa agora proceder à desagregação do contributo para o IEE do sistema de AVAC das duas piscinas. Neste sentido, partindo das formulações preconizadas no Capítulo 3 (equação 3.20) e dos dados sobre consumos energéticos apresentados nas Tabelas 5.10 a 5.11, foi calculado o  $IEE_{avac}$  para o caso real (Tabela 5.14).

**Tabela 5.14 –  $IEE_{AVAC}$  desagregado**

Variável	Valor	Peso
$IEE$ do Edifício	95,7	100%
$IEE_{AVAC}$ da PO	21,21	22,2%
$IEE_{AVAC}$ da PR	5,22	5,5%

**Componente  $IEE$  de responsabilidade do AVAC**

Ao sabermos o  $IEE_{AVAC}$  real, para cada uma das piscinas, é imperativo calculá-lo para os vários cenários propostos no modelo de controlo. Neste sentido, os resultados foram obtidos (Tabela 5.15) com recurso à equação 3.20 (Capítulo 3) e com os dados sobre consumos energéticos apresentados nas Tabelas 5.11 e 5.12.

**Tabela 5.15 – Valores do  $IEE_{AVAC}$  calculados por simulação (por piscina e critério)**

Humidade Relativa	PO		PR	
	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$
55%	20,24	19,93	5,10	5,04
60%	19,47	18,81	4,85	4,79
65%	18,00	17,76	4,59	4,51
70%	16,76	16,97	4,37	4,37
75%	16,18	16,26	4,14	4,22
80%	15,50	15,35	3,94	3,98

Como curiosidade destes resultados, o melhor desempenho das duas piscinas verifica-se em critérios distintos. Na PO pesa mais a volumetria na instalação e as respectivas perdas pela envolvente. Na PR existe um maior impacto da carga latente de evaporação que resulta do facto da  $t_{amb}$  ser superior à da PO.

Outra análise passível de ser feita é a evolução quase linear do  $IEE_{AVAC}$  em função da  $\phi$ . Nas Figuras 5.5 e 5.6 vêm apresentadas as linearizações respectivas.



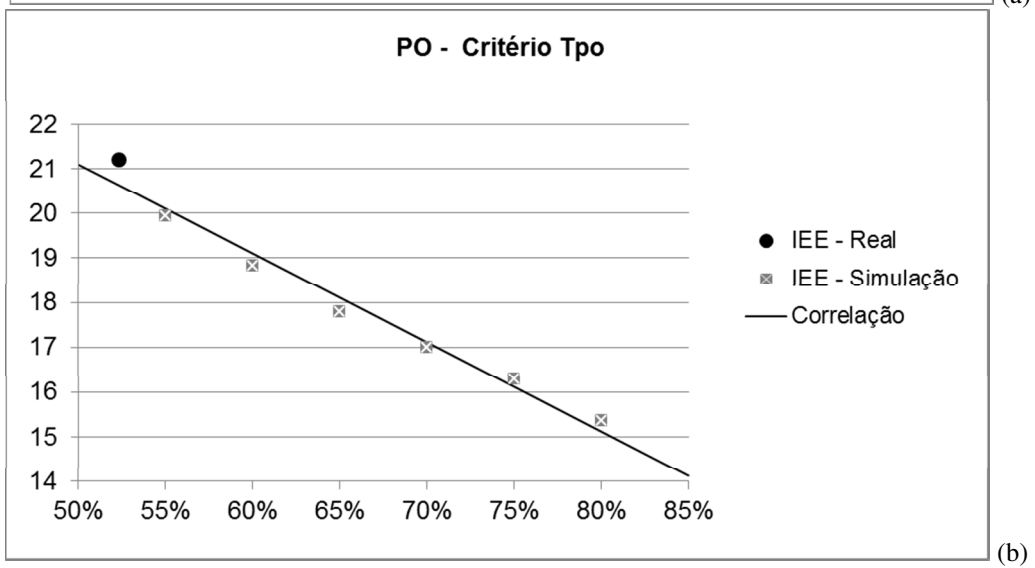
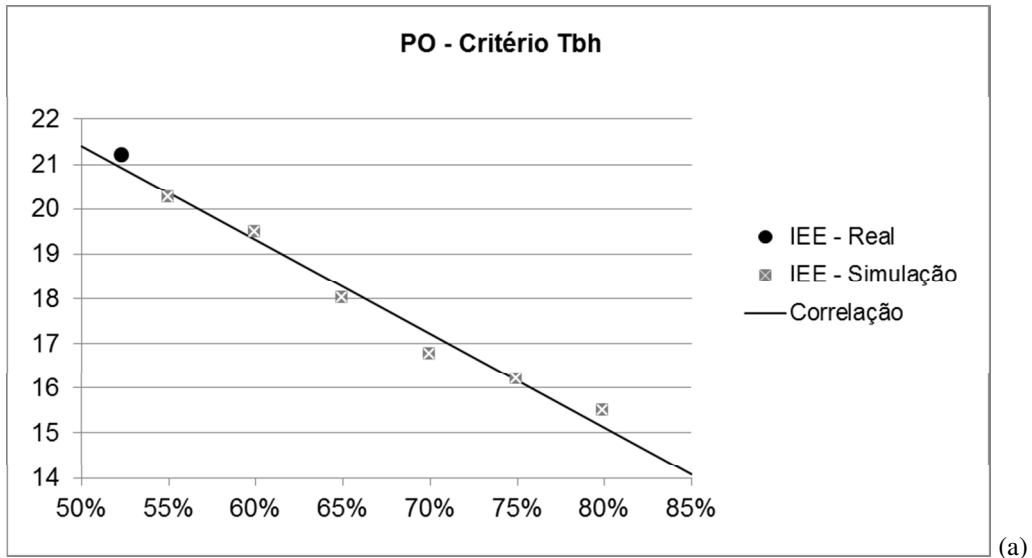
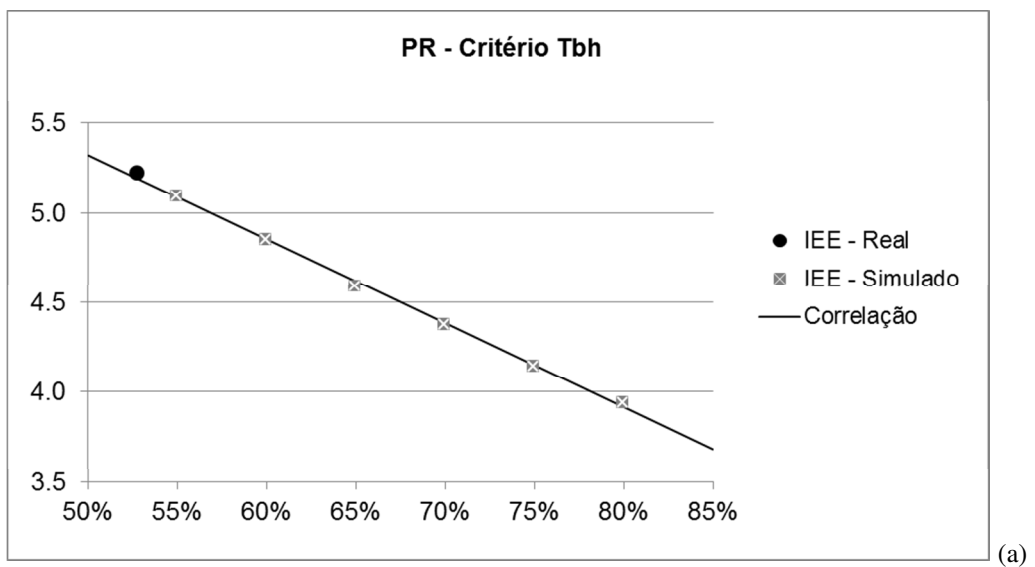


Figura 5.5 – Correlação linear do  $IEE_{AVAC}$  da PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)



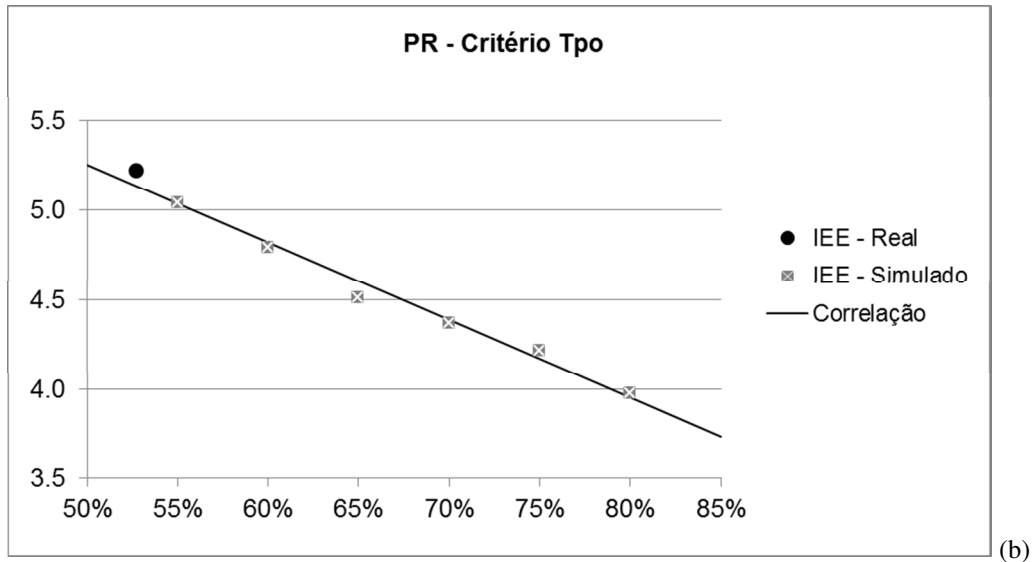


Figura 5.6 – Correlação linear do  $IEE_{AVAC}$  da PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

**Modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$**

O modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$ , já apresentado no Capítulo 3, pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$IEE_{AVAC} = a_{IEE} + b_{IEE} \times \phi \tag{5.1}$$

Uma boa aproximação para calcular as constantes características  $a_{IEE}$  e  $b_{IEE}$  consiste em utilizar dois pontos extremos de funcionamento da instalação, nomeadamente o  $IEE_{AVAC}$  real e o  $IEE_{AVAC}$  da instalação para uma  $\phi$  de 80%. Os valores estão representados na Tabela 5.16.

**Tabela 5.16 – Constantes  $a_{IEE}$  e  $b_{IEE}$  do modelo de controlo**

	PO		PR	
	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$
IEE1	21,21	21,21	5,22	5,22
HR1	52,3%	52,3%	52,7%	52,7%
IEE2	15,50	15,35	3,94	3,98
HR2	80,0%	80,0%	80,0%	80,0%
$a_{IEE}$	32,01	32,29	7,70	7,63
$b_{IEE}$	-20,64	-21,18	-4,70	-4,56

A evolução do modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$  assim como a correlação linear dos valores calculados para o  $IEE_{AVAC}$  estão representados nas Figura 5.7 e 5.8.

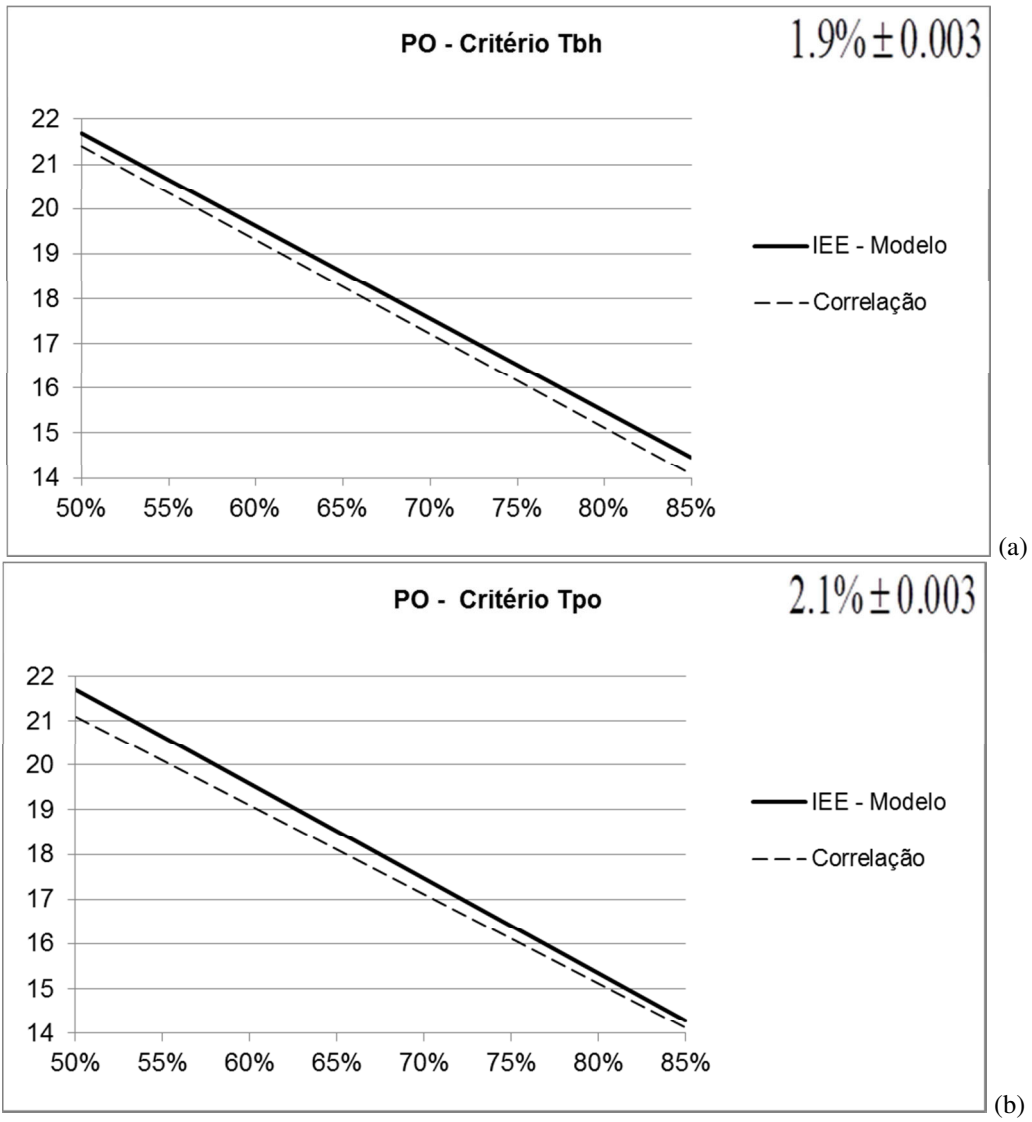
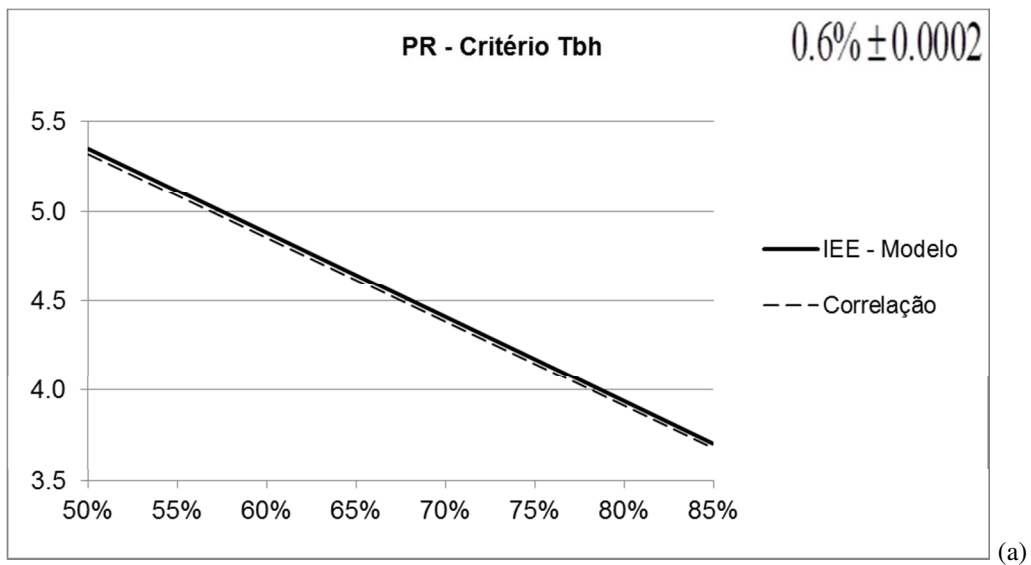


Figura 5.7 – Evolução do  $IEE_{AVAC}$  da PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)



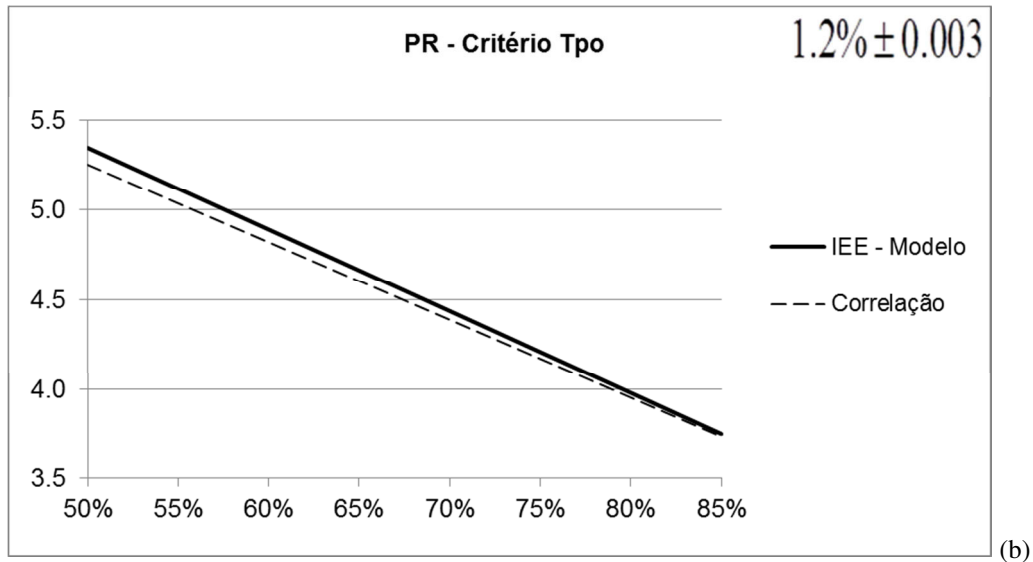


Figura 5.8 – Evolução do  $IEE_{AVAC}$  da PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

A comparação entre a correlação linear dos valores simulados e o modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$  e respectivos desvios vêm representados na tabela 5.17 e 5.18.

Tabela 5.17 –  $IEE_{AVAC}$  modelo versus correlação linear, PO

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	Modelo	Correlação linear	Erro	Modelo	Correlação linear	Erro
50%	21,69	21,40	1,32%	21,70	21,09	2,80%
55%	20,66	20,36	1,45%	20,64	20,10	2,63%
60%	19,62	19,31	1,60%	19,58	19,10	2,45%
65%	18,59	18,26	1,76%	18,52	18,11	2,25%
70%	17,56	17,22	1,95%	17,46	17,11	2,03%
75%	16,53	16,17	2,15%	16,40	16,11	1,77%
80%	15,50	15,13	2,39%	15,35	15,12	1,48%
85%	14,46	14,08	2,65%	14,29	14,12	1,15%

Tabela 5.18 –  $IEE_{AVAC}$  modelo versus correlação linear, PR

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	Modelo	Correlação linear	Erro	Modelo	Correlação linear	Erro
50%	5,35	5,32	0,56%	5,35	5,25	1,75%
55%	5,12	5,09	0,57%	5,12	5,04	1,61%
60%	4,88	4,85	0,59%	4,89	4,82	1,46%
65%	4,65	4,62	0,60%	4,66	4,60	1,29%
70%	4,41	4,38	0,61%	4,44	4,39	1,10%
75%	4,18	4,15	0,62%	4,21	4,17	0,89%
80%	3,94	3,92	0,64%	3,98	3,95	0,66%
85%	3,71	3,68	0,66%	3,75	3,74	0,40%

Considerando que os erros encontrados são valores admissíveis, o modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$  proposto é um caminho validado para estimar, em tempo real, o  $IEE_{AVAC}$  de uma nave de piscina.

O efeito do modelo de controlo proposto torna-se notório na redução do  $IEE_{AVAC}$ , sendo no limite dos cenários, ou seja  $\phi$  de 80%, onde se obtêm maiores reduções: 7,3% para o cenário  $t_{bh}$  e 7,4% para o cenário  $t_{po}$ .

A variabilidade do  $IEE_{AVAC}$  entre os critérios é quase residual. Para  $\phi$  de 80% temos: 0,15 para a PO, e 0,04 para a PR. Assim, para o modelo de cálculo do  $IEE_{AVAC}$ , a escolha do critério é quase irrelevante.

#### 5.1.2.4. Custo Energético

O cálculo do Custo Energético (CE) do edifício no ano 2006 (Tabela 5.19) foi determinado tendo em consideração a análise das facturas da EE e do GN e os preços médios dos mesmos (DGEG, 2012a, 2012b).

**Tabela 5.19 – Custos Energéticos do Edifício (ano 2006)**

Variável	Unitário	Valor
Custo da EE	318,05 €/tep	135.807 €
Custo do GN	334,77 €/tep	67.959 €

O passo seguinte foi a desagregação do contributo, para o cálculo dos custos energéticos, do sistema de AVAC da PO e da PR. Neste sentido, e partindo das formulações preconizadas no Capítulo 3 (equação 3.21), foi efectuado o cálculo do  $CE_{AVAC}$  para o caso real (Tabela 5.20).

**Tabela 5.20 – CE do AVAC desagregado (ano 2006)**

Variável	Valor	Peso
CE do Edifício	203.766 €	100%
$CE_{AVAC}$ da PO	45.827 €	22,5%
$CE_{AVAC}$ da PR	11.355 €	5,6%

#### ***CE de responsabilidade do AVAC***

O  $CE_{AVAC}$  de cada uma das piscinas, tendo em consideração os cenários dos dois critérios definidos, foi determinado com auxílio da formulação preconizada no Capítulo 3 (equação 3.21). Os valores são apresentados na Tabela 5.21 e 5.22.

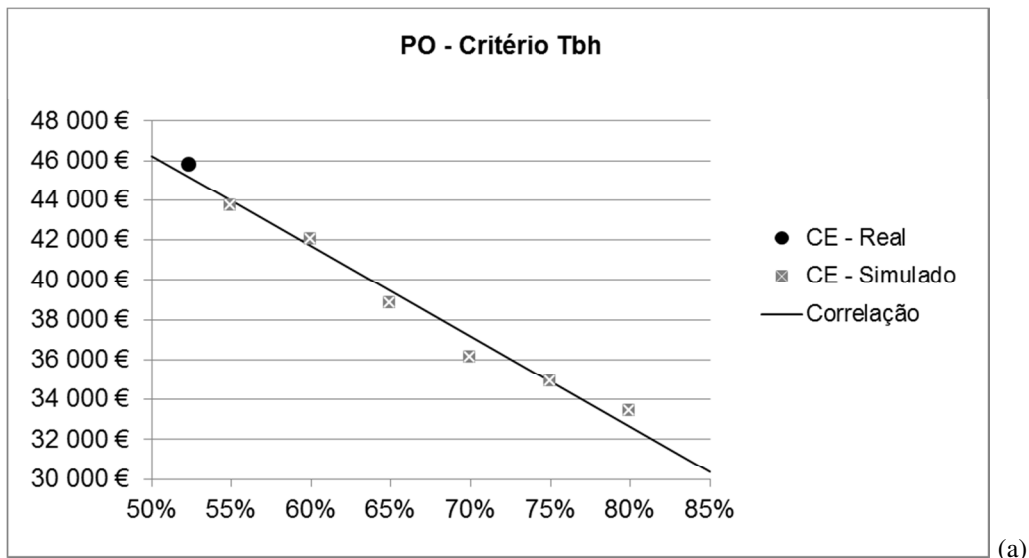
**Tabela 5.21 –  $CE_{AVAC}$  da PO**

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	EE	GN	Total	EE	GN	Total
55%	17 290 €	26 427 €	43 718 €	17 902 €	25 090 €	42 991 €
60%	16 915 €	25 124 €	42 039 €	17 903 €	22 626 €	40 528 €
65%	15 915 €	22 945 €	38 861 €	17 778 €	20 449 €	38 227 €
70%	15 098 €	21 064 €	36 162 €	17 560 €	18 928 €	36 487 €
75%	14 496 €	20 415 €	34 912 €	17 307 €	17 631 €	34 938 €
80%	13 815 €	19 622 €	33 437 €	16 621 €	16 339 €	32 961 €

**Tabela 5.22 –  $CE_{AVAC}$  da PR**

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	EE	GN	Total	EE	GN	Total
55%	3 039 €	8 039 €	11 078 €	3 118 €	7 827 €	10 945 €
60%	2 893 €	7 651 €	10 544 €	3 124 €	7 273 €	10 397 €
65%	2 768 €	7 212 €	9 980 €	3 125 €	6 653 €	9 778 €
70%	2 653 €	6 851 €	9 504 €	3 126 €	6 335 €	9 461 €
75%	2 570 €	6 424 €	8 994 €	3 106 €	6 027 €	9 133 €
80%	2 404 €	6 158 €	8 562 €	3 066 €	5 546 €	8 612 €

Como seria expectável em comparação com o  $IEE_{AVAC}$ , também se verifica uma evolução quase linear do  $CE_{AVAC}$  em função de  $\phi$ . Nas Figuras 5.9 e 5.10 vêm apresentadas as linearizações respectivas.



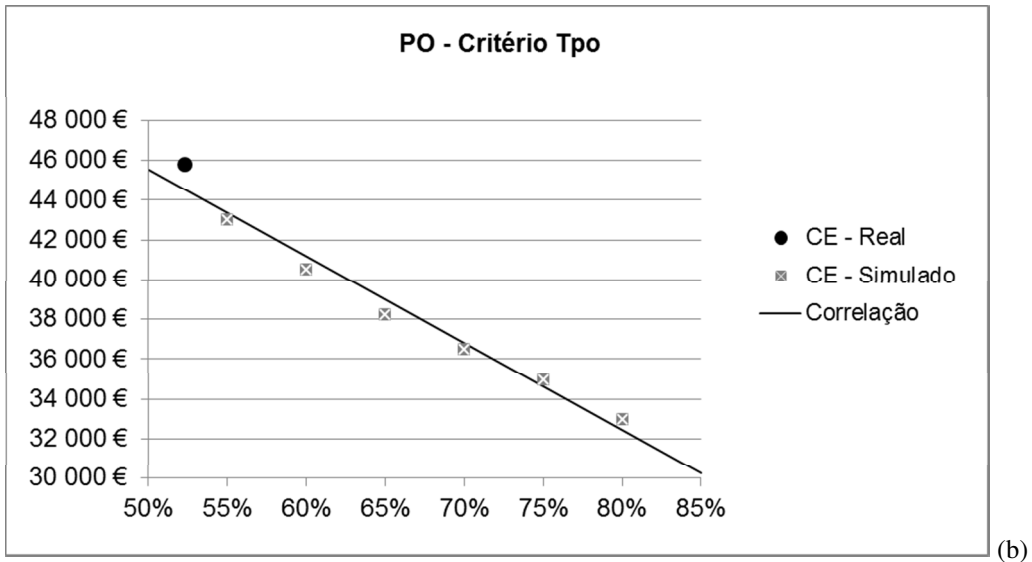


Figura 5.9 – Correlação linear do  $CE_{AVAC}$  da PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

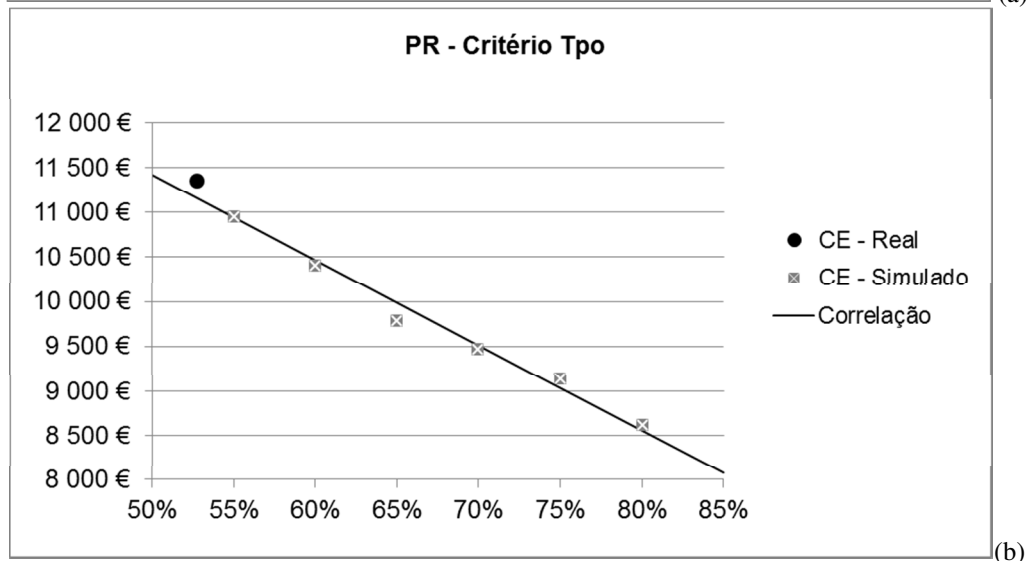
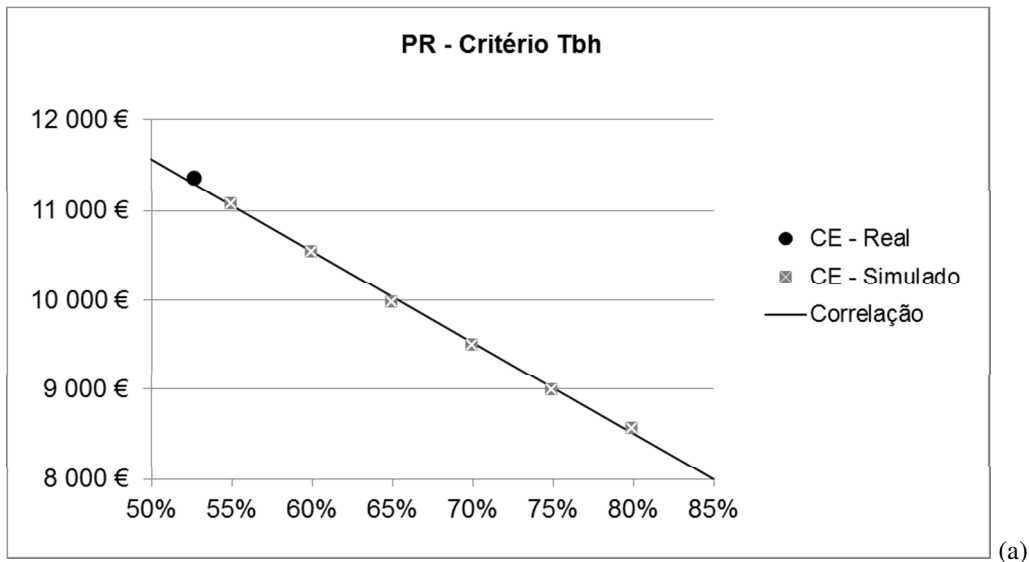


Figura 5.10 – Correlação linear do  $CE_{AVAC}$  da PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

**Modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$**

O modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$ , já apresentado no Capítulo 3, pode ser determinado pela seguinte expressão:

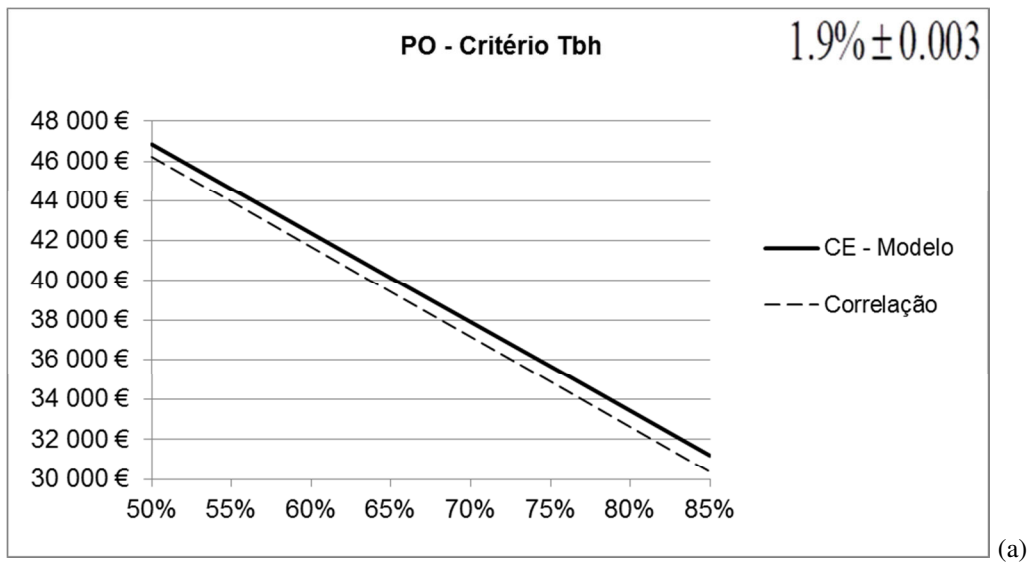
$$CE_{AVAC} = a_{CE} + b_{CE} \times \phi \tag{5.2}$$

Uma boa aproximação para calcular as constantes características  $a_{CE}$  e  $b_{CE}$  é utilizar dois pares de valores extremos conhecidos, nomeadamente o  $CE_{AVAC}$  real e o  $CE_{AVAC}$  da instalação para uma  $\phi$  de 80%. Depois de calculados os valores, estes estão representados na Tabelas 5.23.

**Tabela 5.23 – Constantes  $a_{CE}$  e  $b_{CE}$  do modelo de controlo**

	PO		PR	
	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$	Critério $t_{bh}$	Critério $t_{po}$
CE1	45 827 €	45 827 €	11 355 €	11 355 €
HR1	52.3%	52.3%	52.7%	52.7%
CE2	33 437 €	32 961 €	8 562 €	8 612 €
HR2	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%
$a_{CE}$	69220.04	70119.78	16747.73	16651.21
$b_{CE}$	-44728.44	-46448.79	-10232.15	-10049.00

A evolução do modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$ , assim como a correlação linear dos valores calculados para o  $CE_{AVAC}$ , podem ser visualizados nas Figura 5.11 e 5.12.





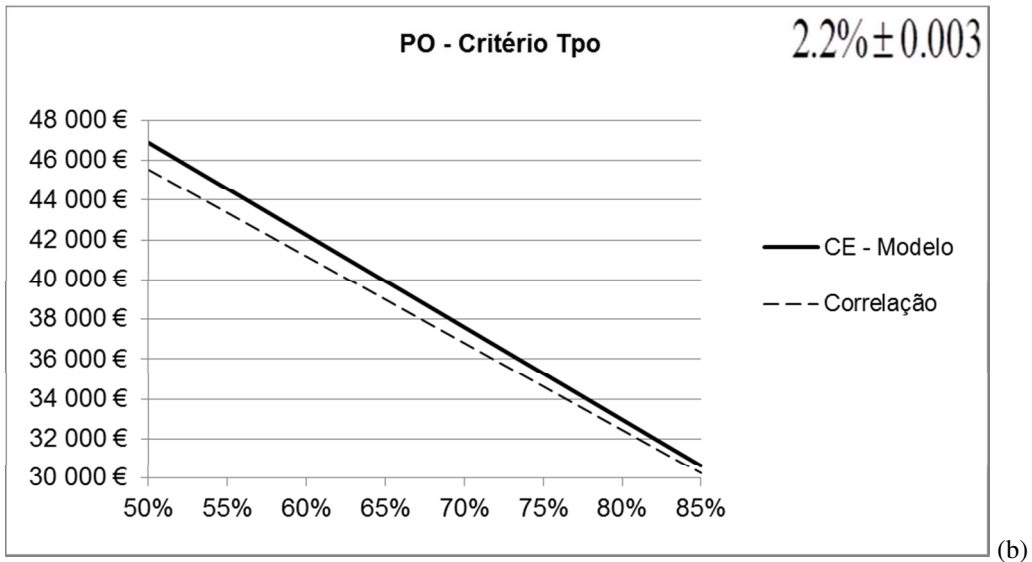


Figura 5.11 – Evolução do  $CE_{AVAC}$  da PO - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

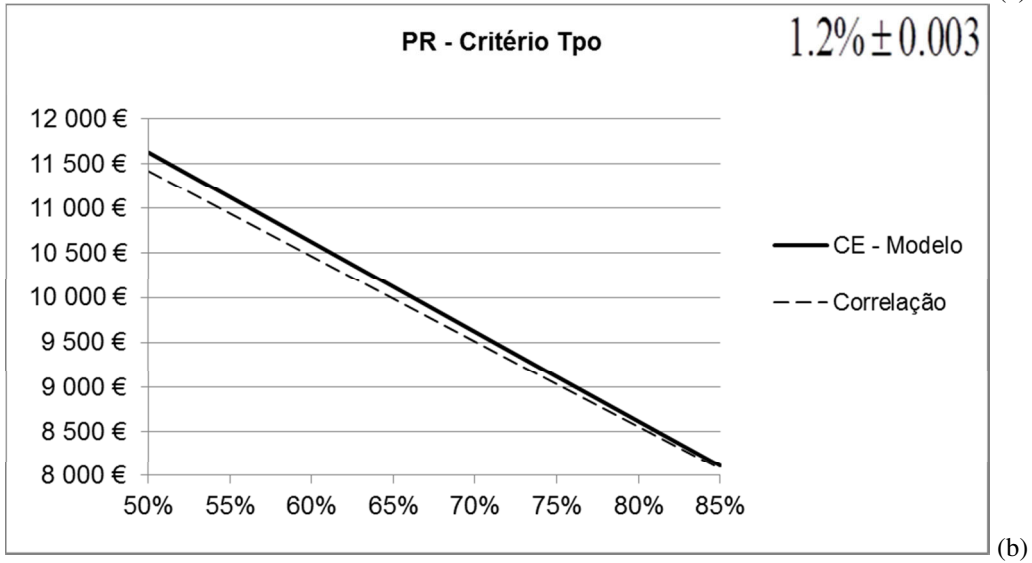
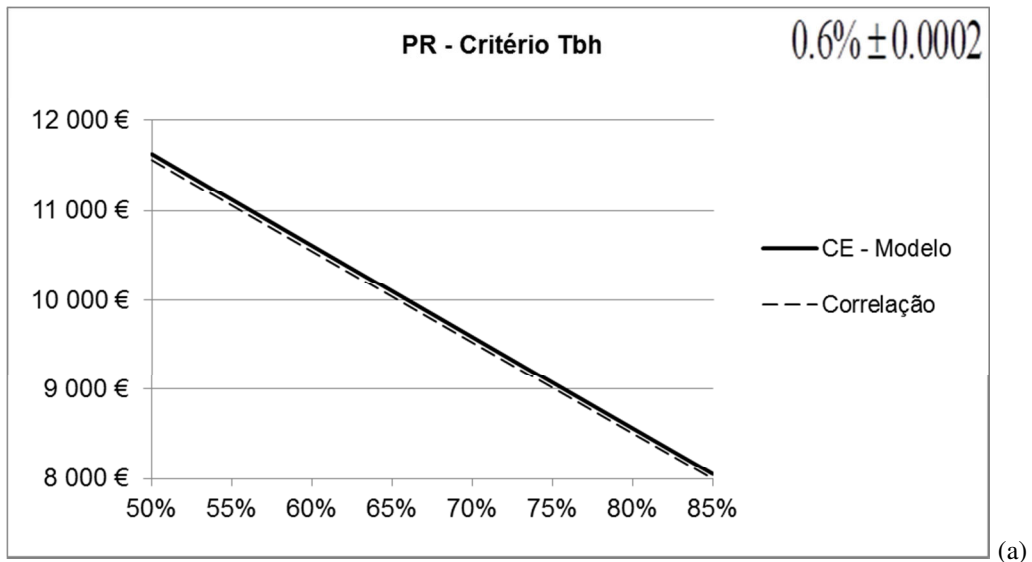


Figura 5.12 – Evolução do  $CE_{AVAC}$  da PR - Critério  $t_{bh}$  (a) e Critério  $t_{po}$  (b)

Similarmente à evolução do  $IEE_{AVAC}$ , e como seria expectável, a correlação linear dos custos energéticos simulados é muito próxima da evolução modelo de controlo do  $CE_{AVAC}$ . A comparação entre os valores simulados e o modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$ , e respectivos desvios, vem representada na tabela 5.24 e 5.25.

**Tabela 5.24 –  $CE_{AVAC}$  (2006) - modelo versus correlação linear, PO**

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	Modelo	Correlação linear	erro	Modelo	Correlação linear	Erro
50%	46.856 €	46.231 €	1,33%	46.895 €	45.549 €	2,87%
55%	44.619 €	43.964 €	1,47%	44.573 €	43.364 €	2,71%
60%	42.383 €	41.696 €	1,62%	42.251 €	41.180 €	2,53%
65%	40.147 €	39.428 €	1,79%	39.928 €	38.995 €	2,34%
70%	37.910 €	37.161 €	1,98%	37.606 €	36.810 €	2,12%
75%	35.674 €	34.893 €	2,19%	35.283 €	34.626 €	1,86%
80%	33.437 €	32.626 €	2,43%	32.961 €	32.441 €	1,58%
85%	31.201 €	30.358 €	2,70%	30.638 €	30.256 €	1,25%

**Tabela 5.25 –  $CE_{AVAC}$  (2006) - modelo versus correlação linear, PR**

Humidade Relativa	Critério $t_{bh}$			Critério $t_{po}$		
	Modelo	Correlação linear	erro	Modelo	Correlação linear	Erro
50%	11.632 €	11.566 €	0,56%	11.627 €	11.419 €	1,78%
55%	11.120 €	11.056 €	0,58%	11.124 €	10.941 €	1,64%
60%	10.608 €	10.546 €	0,59%	10.622 €	10.464 €	1,49%
65%	10.097 €	10.036 €	0,60%	10.119 €	9.986 €	1,32%
70%	9.585 €	9.526 €	0,62%	9.617 €	9.508 €	1,13%
75%	9.074 €	9.016 €	0,64%	9.114 €	9.030 €	0,92%
80%	8.562 €	8.506 €	0,66%	8.612 €	8.553 €	0,69%
85%	8.050 €	7.996 €	0,68%	8.110 €	8.075 €	0,43%

Perante os erros encontrados, será admissível propor que o modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$  é um caminho validado para estimar, em tempo real, o custo energético da climatização de uma nave de piscina.

É possível constatar que a redução do  $CE_{AVAC}$  no limite dos cenários, ou seja  $\phi$  de 80%, é de: 7,5% para o cenário  $t_{bh}$  e 7,7% para o cenário  $t_{po}$ .

A assimetria de evolução do  $CE_{AVAC}$ , por critério, das duas piscinas em relação à evolução do  $IEE_{AVAC}$  é inequívoca. As razões prendem-se, acima de tudo, com o diferente peso relativo da EE em relação ao consumo total, maior na PO e muito menor na PR.

**Influência do preço da energia no modelo de cálculo do  $CE_{AVAC}$** 

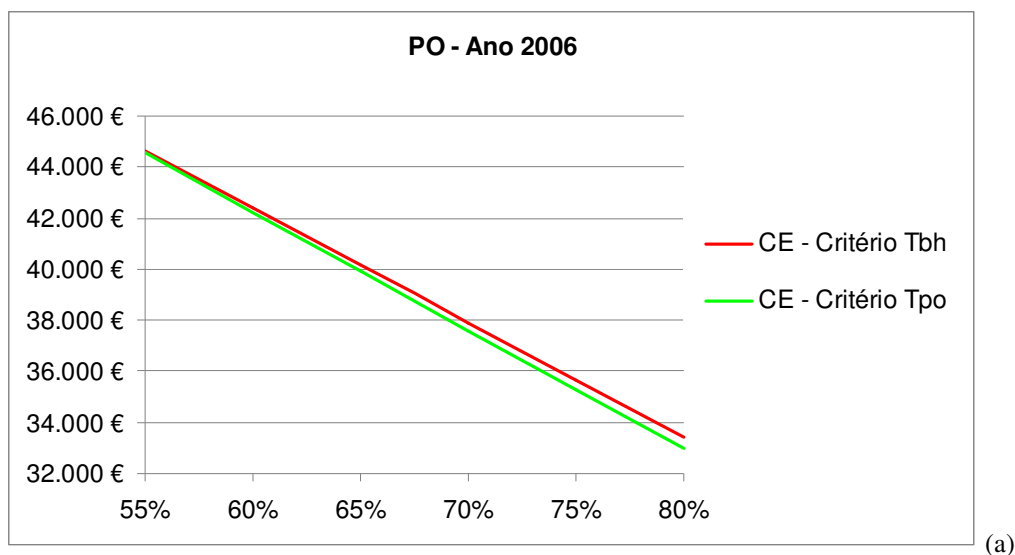
A actualização anual dos preços da EE e do GN cria alguma variabilidade ao  $CE_{AVAC}$ , podendo ocorrer alternância no critério do modelo de controlo que é mais económico.

Utilizando, como referência, os dados de consumo energéticos do ano de 2006 e sabendo os preços médios da EE e do GN (DGEG, 2012a, 2012b) até 2011 (Tabela 5.27), foram determinados os  $CE_{AVAC}$  de 2007 a 2011.

**Tabela 5.26 – Preços médios da EE e do GN**

Ano	EE (€/tep)	GN (€/tep)	Peso Relativo
2006	318,05	334,77	1,05
2007	332,84	340,63	1,02
2008	347,63	486,20	1,40
2009	362,43	503,67	1,39
2010	362,43	393,25	1,09
2011	388,32	535,39	1,38

Nas figuras 5.13 a 5.18 é possível visualizar as evoluções dos preços para cada um dos anos considerados.



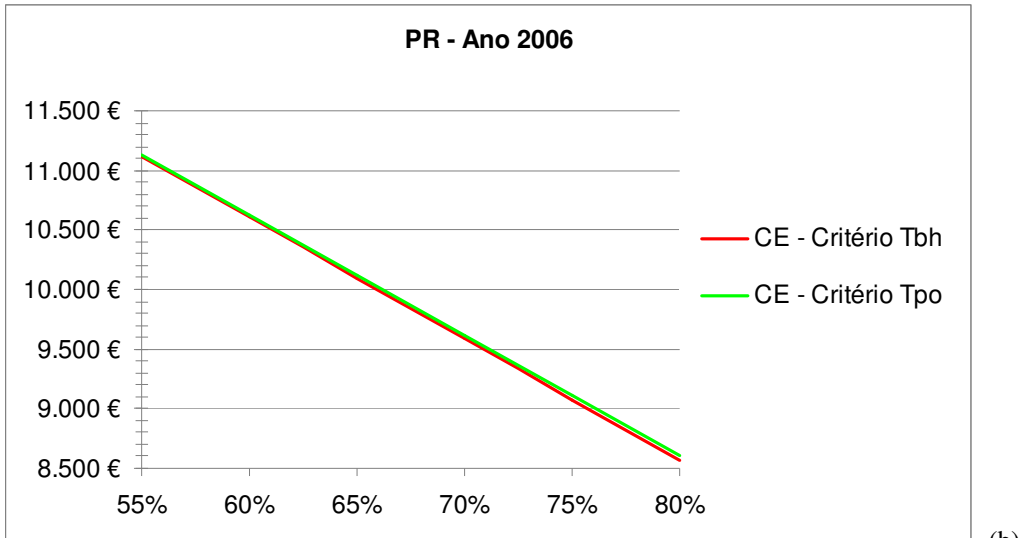


Figura 5.13 –  $CE_{AVAC}$  para o ano de 2006 - PO (a) e PR (b)

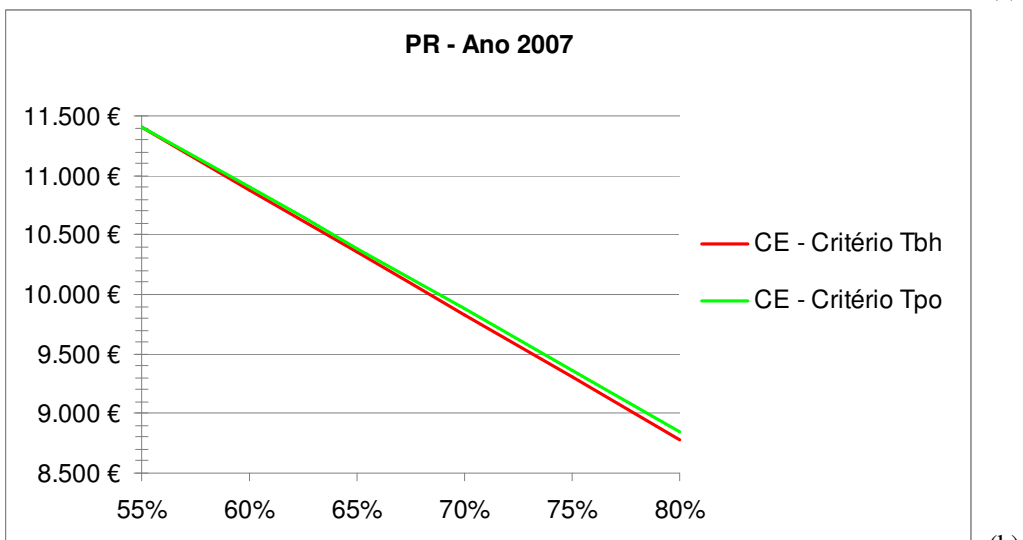
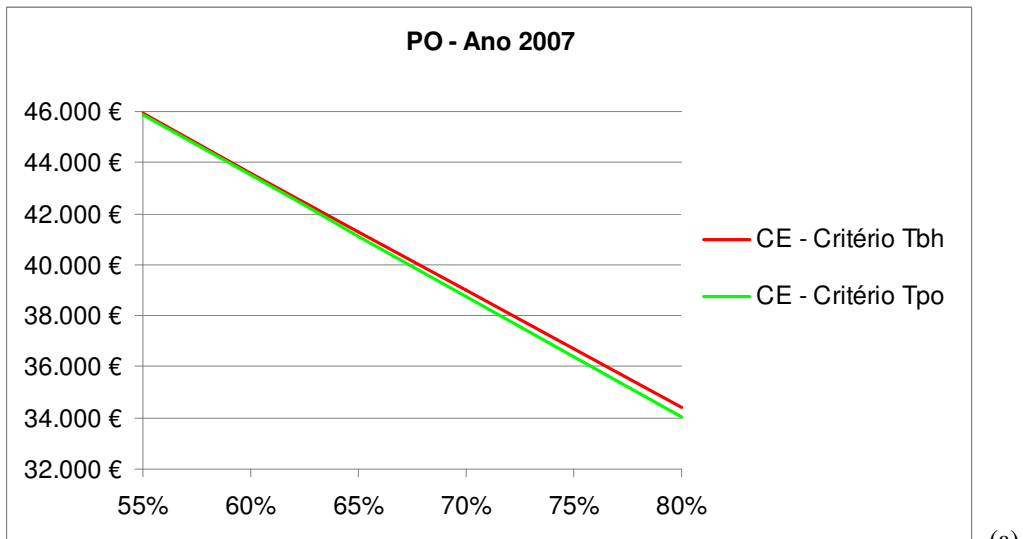
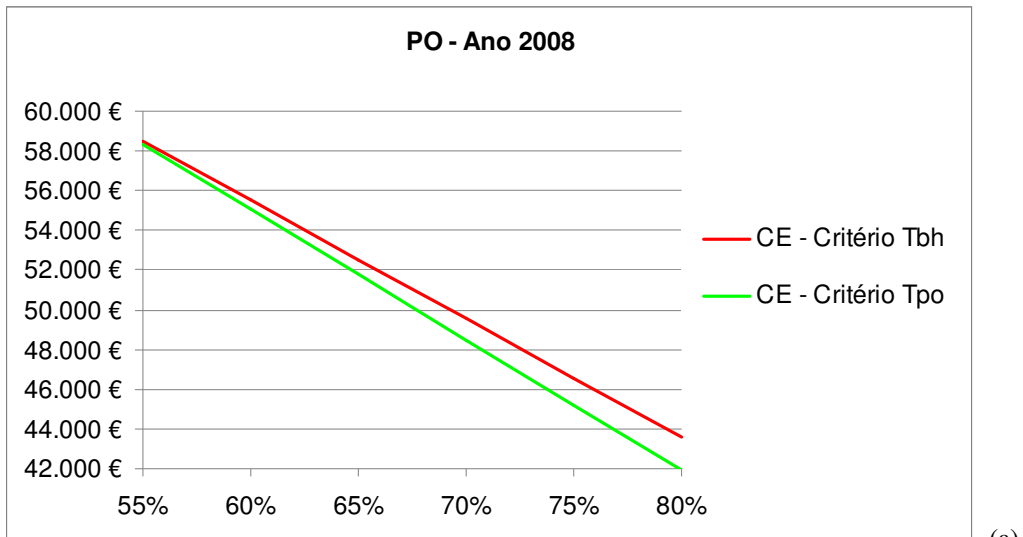
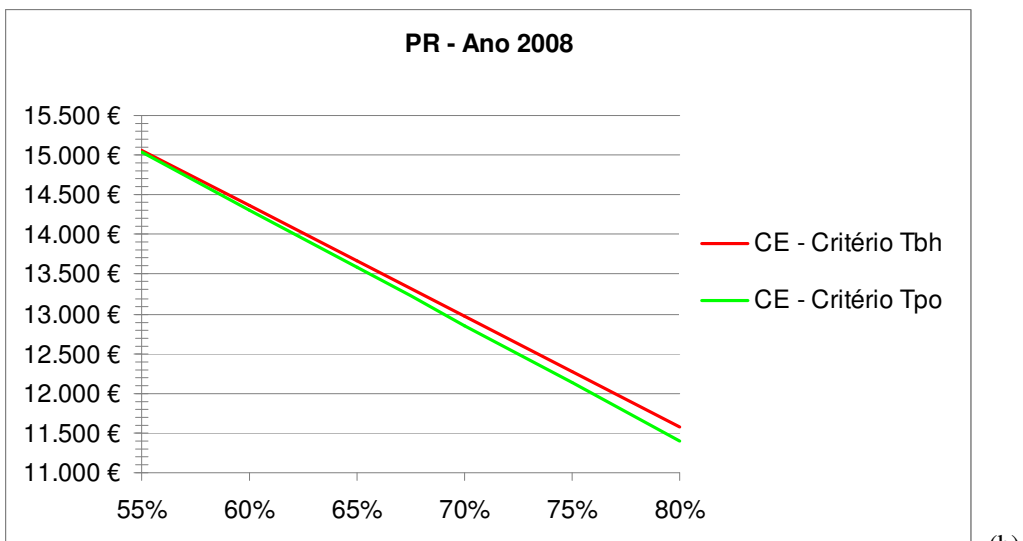


Figura 5.14 –  $CE_{AVAC}$  equivalente para o ano de 2007 - PO (a) e PR (b)

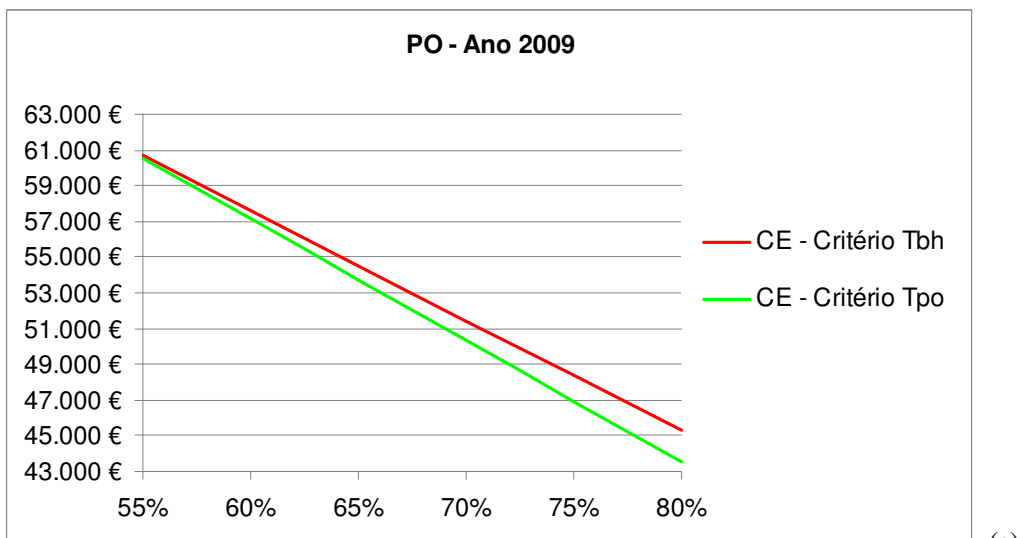


(a)



(b)

Figura 5.15 –  $CE_{AVAC}$  equivalente para o ano de 2008 - PO (a) e PR (b)



(a)

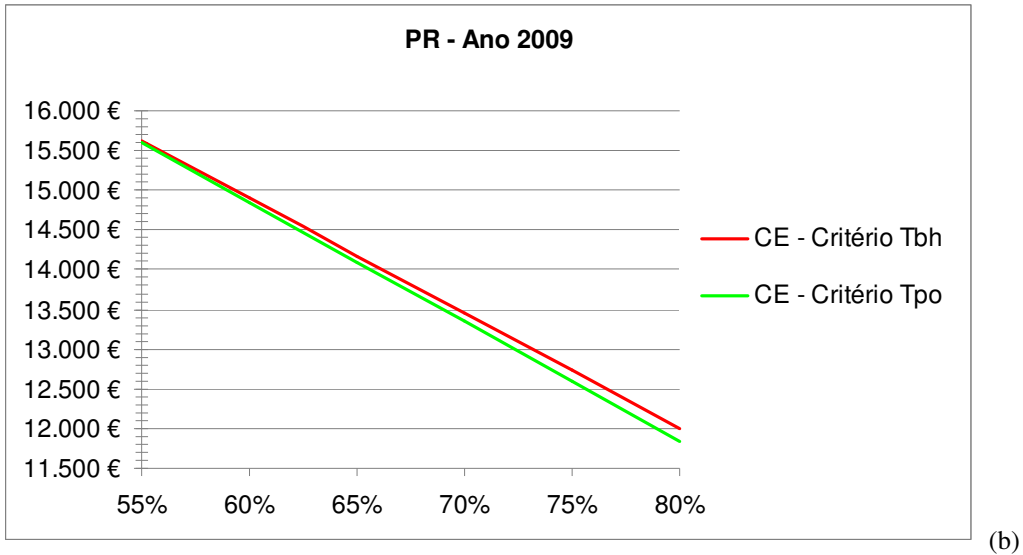


Figura 5.16 –  $CE_{AVAC}$  equivalente para o ano de 2009 - PO (a) e PR (b)

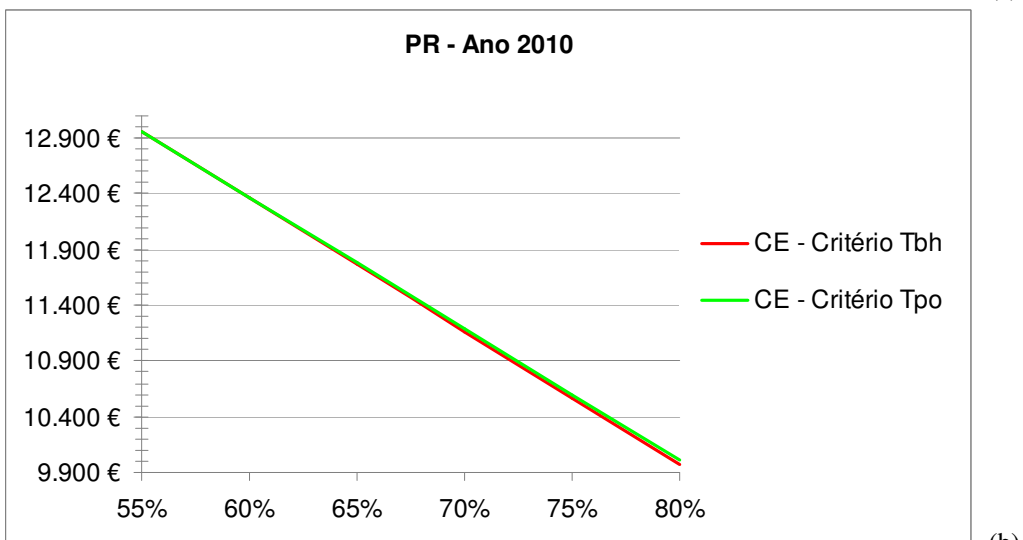
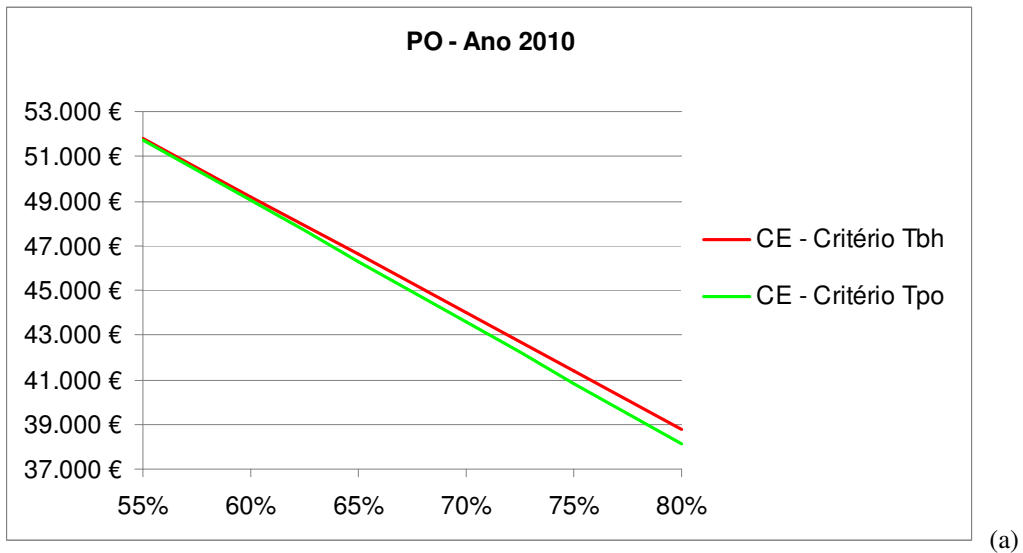


Figura 5.17 –  $CE_{AVAC}$  equivalente para o ano de 2010 - PO (a) e PR (b)

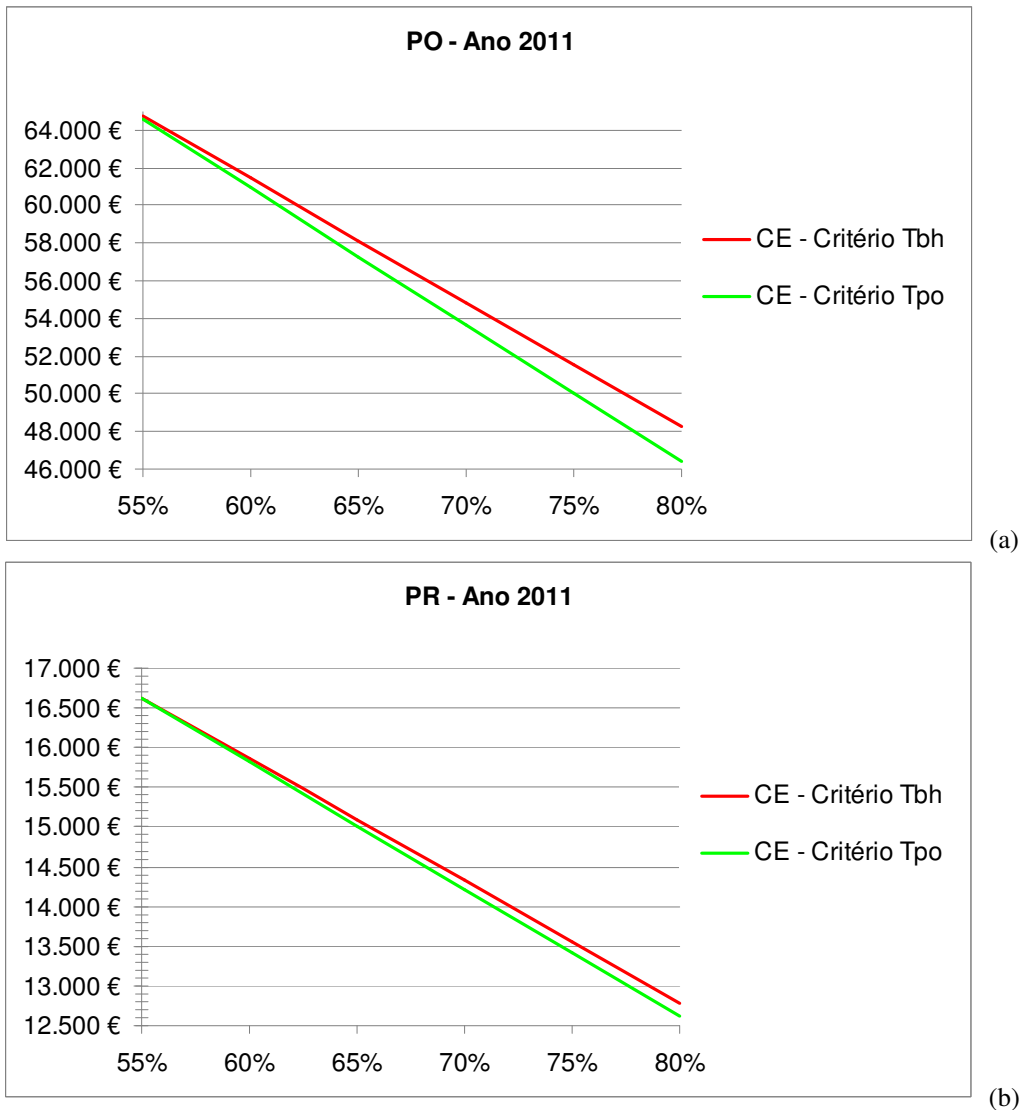


Figura 5.18 –  $CE_{AVAC}$  equivalente para o ano de 2011 - PO (a) e PR (b)

A análise dos gráficos permite constatar que a evolução dos custos energéticos é galopante, vincadamente pelo aumento desenfreado do custo do GN, mas com um caso particular em 2011, elegendo a aplicação do critério  $t_{po}$  como o potenciador de redução de custos energéticos.

A ocorrência de um melhor desempenho do critério  $t_{bh}$  na PR, durante os anos de 2006, 2007 e 2010, advém da particularidade do preço, por kW, do GN e da EE ser quase igual e de ser o critério que induz menor consumo nesta piscina.

### 5.1.2.5. Impacto das ORC

#### *Cobertura do plano de água*

O impacto da cobertura do plano de água foi calculado segundo as formulações do balanço energético do edifício e tanque anteriormente descritas, em termos do impacto no IEE do edifício e nos custos energéticos referentes ao ano de 2006.

A evolução do IEE em relação aos cenários propostos é visível na Figura 5.19, tendo como referência o valor real.

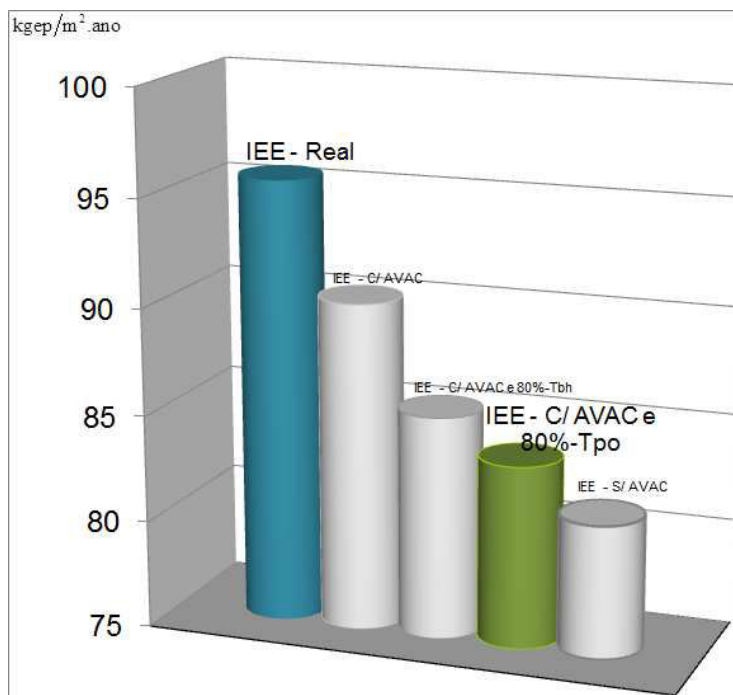


Figura 5.19 – Impacto da cobertura do plano de água no IEE

Como seria de esperar, no cenário **Com AVAC**, a redução do IEE é evidente, ultrapassando os 5,3 pontos (redução de 5,6%).

O cenário mais favorável é o **Sem AVAC**, chegando aos 14,4 pontos de redução do IEE (15,1%). Embora seja o cenário mais favorável, não é passível de ser adoptado uma vez que as condições ambientais que iria gerar durante o período nocturno seriam de tal ordem que potenciarão os danos estruturais de toda a nave. Durante o período nocturno a  $\phi$  pode chegar aos 91,3% na PO e 100% na PR. Ao nível da  $t_{amb}$  pode atingir os 10°C na PO e 10,7°C na PR e no caso da  $t_{po}$  tem como limiar os 1,2°C na PO e 0,9°C na PR.

Dentro da conjugação da cobertura do plano de água e sistema de AVAC regulado pelo modelo de controlo proposto, o cenário mais favorável é o **Com AVAC e 80%-Tpo**, ou seja,



modelo de controlo com variáveis ambientais que respeitem o critério  $t_{po}$  e 80% de  $\phi$ . Neste cenário, a redução do IEE é considerável, atingindo os 12,1 pontos (redução de 12,7%).

Esta ORC terá repercussões para além da redução do IEE do edifício e também são expectáveis variações ao nível dos custos energéticos do edifício (Figura 5.20).

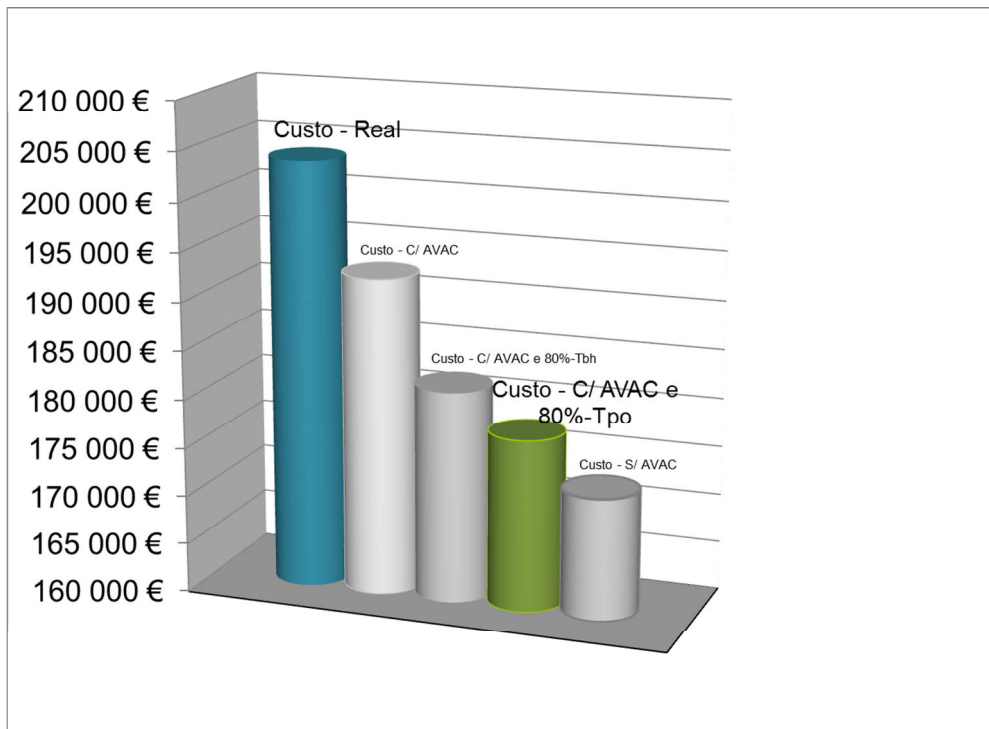


Figura 5.20 – Potencial de poupança da cobertura do plano de água

Na mesma linha da análise para o IEE, o cenário **Com AVAC e 80%-Tpo** permite também a redução dos custos energéticos anuais de 26.124€ (redução de 12,8%).

### ***Redução dos consumos em horas de ponta***

O potencial de redução de consumos em horas de ponta foi obtido partindo dos dados das simulações efectuadas, o que permitiu quantificar a energia sensível e latente consumida pelo edifício nas condições ambientais anteriormente definidas para cada um dos critérios.

Utilizando as formulações do balanço energético do edifício e tanque, anteriormente descritas, é possível determinar o consumo da EE e GN de cada um dos critérios, que, por comparação com o consumo real do edifício, permite determinar o potencial de redução do consumo da EE em horas de ponta.

A Tabela 5.28 apresenta este potencial de redução de consumo, utilizando para os cálculos os preços reais da EE em horas de ponta (0,1019€/kWh) no ano de 2006 (ERSE, 2010), considerando o tipo de contrato de que dispõe o edifício em causa (Venda a clientes finais em média tensão – tarifa tri-horária de longas utilizações).

**Tabela 5.27 – Redução do custo de EE em horas de ponta/ano**

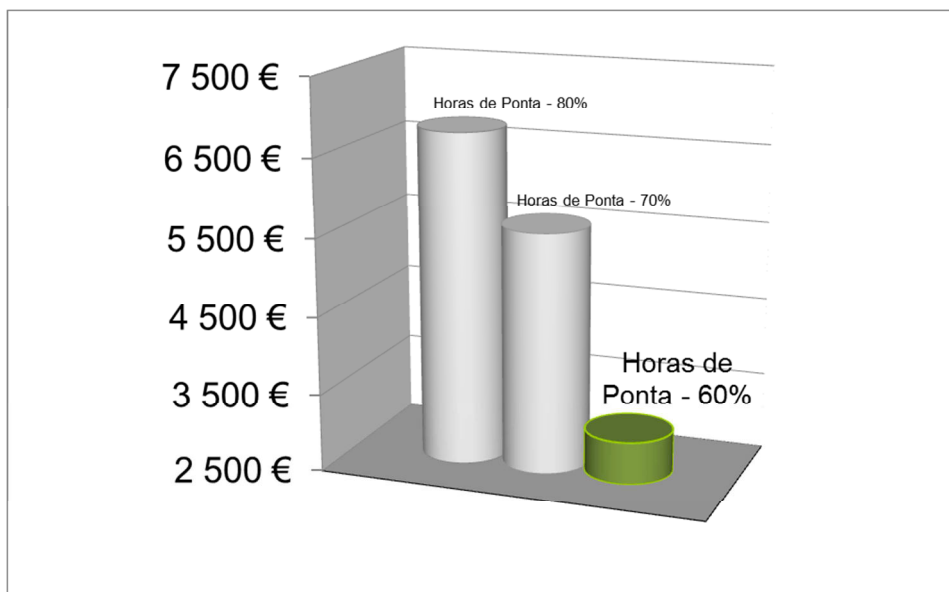
Variável	Valor
Horas de Ponta - 60%	1.904 €
Horas de Ponta - 70%	3.505 €
Horas de Ponta - 80%	4.242 €

Além da poupança ao nível da EE consumida em horas de ponta, também a redução da potência tomada em horas de ponta permite obter impacto na factura energética. Segundo a tabela de preços em vigor no ano de 2006, o encargo de potência em horas de ponta era de 0,2624€/kW dia. Partindo do cálculo da potência eléctrica que se consegue diminuir em horas de ponta, é possível estimar os encargos neste caso (Tabela 5.28).

**Tabela 5.28 – Redução do custo da potência média em horas de ponta/ano**

Variável	Valor
Horas de Ponta - 60%	1 136 €
Horas de Ponta - 70%	2 087 €
Horas de Ponta - 80%	2 525 €

Considerado o conjunto das poupanças ao nível da EE consumida e da potência média em hora de ponta, podemos estimar o potencial de redução de consumos desta ORC (Figura 5.21).



**Figura 5.21 – Potencial de redução dos consumos em horas de ponta**

A consideração dos cenários **Horas de Ponta - 70%** e **Horas de Ponta - 80%** foi efectuada com o intuito de mostrar os potenciais de redução de custos energéticos em horas de ponta, chegando a redução anual a ser aproximadamente de 6.800€ para o cenário **Horas de Ponta - 80%**. Todavia, segundo a Norma NP EN 15288-1, os sistemas de AVAC deverão proporcionar condições ambientais agradáveis e confortáveis ao utilizador, mas que evitem a deterioração das estruturas internas do edifício, sendo especificado que a  $\phi$  poderá variar entre os 40% e os 80% (mas de preferência inferior a 60%).

O cenário **Horas de Ponta - 60%** será aquele que estará dentro da Norma e permite uma poupança potencial próxima de 3.100€ (1,5%).

Não é só no custo energético que esta medida tem repercussões: ao nível do IEE do edifício também é expectável um contributo para a sua redução. Na Figura 5.22 é apresentada a evolução do IEE em função dos critérios identificados.

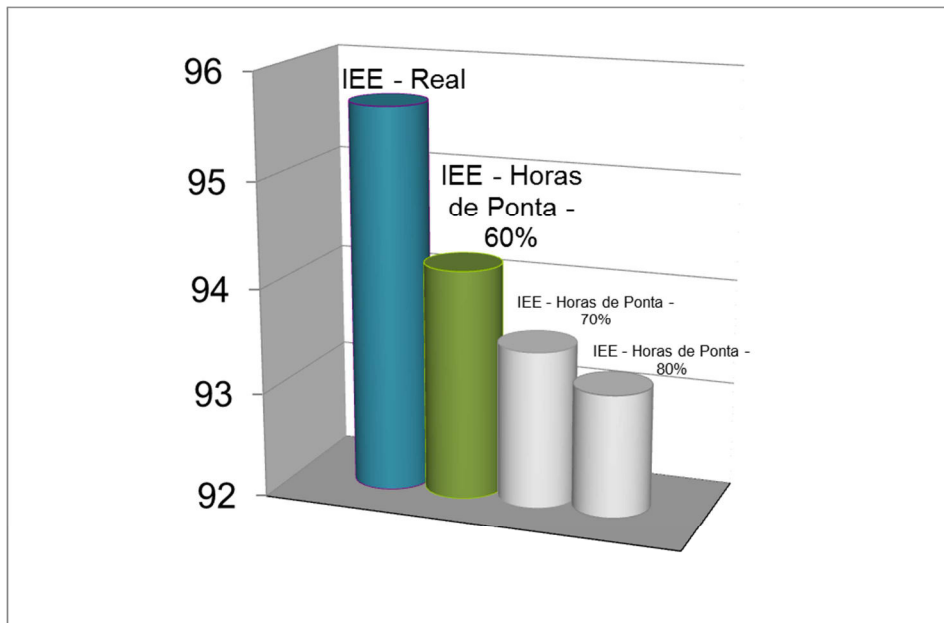


Figura 5.22 – Impacto da redução dos consumos em horas de ponta no IEE

O cenário **Horas de Ponta - 60%** vai permitir reduzir em aproximadamente 1,5 pontos o IEE do edifício, podendo diminuir perto de 2,5 pontos no cenário **Horas de Ponta - 80%**.

## 5.2. Sistema de bombagem de recirculação

O modelo de controlo do SB de recirculação, como já foi referido, assenta na determinação da potência eléctrica solicitada em função do caudal pretendido na instalação. O passo seguinte será a validação do modelo de controlo, no intuito de se poder avaliar qual é o impacto na redução de consumos da aplicação do modelo de controlo no caso de estudo.

### 5.2.1. Validação do modelo de controlo

A validação do modelo de controlo é efectuada partindo do estudo preconizado por Carlson (2000) ao nível do modo mais correcto de determinar as poupanças energéticas conseguidas pela introdução de variadores electrónicos de velocidade num SB. O estudo em causa considerou a existência de uma só bomba em funcionamento, sendo os parâmetros da instalação especificados na Tabela 5.29.

**Tabela 5.29 – Parâmetros do SB de validação**

$a_b$	$c_b$	$a_{sh}$	$c_{sh}$	$a_{bh}$	$c_{bh}$	$d$
1219,2	$-6,03 \times 10^{-5}$	304,8	$8,06 \times 10^{-5}$	1491,4	1,82	1

A quantificação da potência eléctrica solicitada pela instalação em regime nominal e velocidade variável, para diferentes valores de caudal, está apresentada na Tabela 5.30, considerando o modelo proposto por Carlson em comparação com o proposto.

**Tabela 5.30 – Modelo de Carlson versus Modelo de controlo proposto**

	Velocidade				
	Variável				Nominal
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	318	477	636	795	1.214
<b>Modelo de Carlson</b>					
Potência hidráulica da Bomba (kW)	430	650	978	1448	3.699
Eficiência eléctrica do conjunto	0,88	0,87	0,91	0,91	0,94
Potência eléctrica da Bomba (kW)	489	747	1.074	1.591	3.935
<b>Modelo de controlo proposto</b>					
Potência hidráulica da Bomba (kW)	421	647	986	1470	3700
Eficiência eléctrica do conjunto	0,88	0,87	0,91	0,91	0,94
Potência eléctrica da Bomba (kW)	479	744	1.083	1.616	3.937
Erro	2,12%	0,49%	-0,84%	-1,52%	-0,04%

Os resultados obtidos permitem afirmar que o modelo de controlo proposto é válido, apresentando um erro relativo negligenciável por comparação ao modelo de referência.

### 5.2.2. Resultados e análise do modelo de controlo

A exposição dos resultados obtidos e a sua análise irá ser feita ao longo dos seguintes pontos. Inicialmente é especificado o contributo do SB para o valor do IEE e CE do edifício. A contabilização dos resultados da aplicação do modelo de controlo proposto para o SB será o passo seguinte, finalizando com a análise dos dados apresentados anteriormente.

#### 5.2.2.1. Componente IEE da responsabilidade do SB

A determinação da componente IEE da responsabilidade do SB ( $IEE_{SB}$ ) é importante para determinar as reais possibilidades de redução, aplicando o modelo de controlo descrito. Com este intuito, o cálculo do contributo do SB da PO e PR, para o IEE (Tabela 5.31), pode ser feito partindo dos dados especificados no ponto 4.2.2 (Capítulo 4) sobre a potência tomada pelas bombas dos dois SB e do seu regime de funcionamento.

**Tabela 5.31 – IEE real do SB**

Índice	Valor	Peso
$IEE$ do Edifício	95,7	100%
$IEE_{SB}$ da PO	17,9	18,7%
$IEE_{SB}$ da PR	3,8	4,0%

É de salientar que 21,7% do IEE do edifício é de responsabilidade do SB das duas piscinas.

#### 5.2.2.2. CE da responsabilidade do SB

O cálculo do CE de responsabilidade do SB ( $CE_{SB}$ ) para o caso real, ano de referência de 2006, foi calculado (Tabela 5.32) partindo dos dados descritos na Tabela 5.31 e dos preços médios da EE (DGEG, 2012b).

**Tabela 5.32 – CE real do SB**

Índice	Valor	Peso
CE total do Edifício	203.766 €	100%
$CE_{SB}$ da PO	37.490 €	18,4%
$CE_{SB}$ da PR	8.047 €	3,9%

Analogamente, como no IEE, 22,3% do CE do edifício é da responsabilidade dos SB.

### 5.2.2.3. Aplicação do modelo de controlo

Para a aplicação do modelo de controlo é necessário saber os parâmetros da instalação.

A determinação dos parâmetros para a PO (Tabela 5.33) e PR (Tabela 5.34) foram efectuadas partindo das especificações definidas no ponto 4.2.2 (Capítulo 4) e pelas formulações identificadas no ponto 3.2 (Capítulo 3).

**Tabela 5.33 – Parâmetros do SB da PO**

$n$	$a_b$	$c_b$	$a_s$	$c_s$	$a_h$	$c_h$	$d$	$pe$	$pd$
5	26,6	$-3,57 \times 10^{-4}$	19,48	$2,37 \times 10^{-5}$	4,71	0,038	1	0,146	0,228

**Tabela 5.34 – Parâmetros do SB da PR**

$n$	$a_b$	$c_b$	$a_s$	$c_s$	$a_h$	$c_h$	$d$	$pe$	$pd$
3	23,3	$-6,019 \times 10^{-4}$	9,25	$8,379 \times 10^{-4}$	2,24	0,052	1	0,02	0,032

Para melhor compreensão do modelo de controlo também foi determinado um cenário onde a PO teria um regime de funcionamento perto do teórico (no caderno de encargos está definida a existência de cinco bombas em funcionamento com um caudal nominal de  $650 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

**Tabela 5.35 – Parâmetros do SB da PO regime teórico**

$n$	$a_b$	$c_b$	$a_s$	$c_s$	$a_h$	$c_h$	$d$	$pe$	$pd$
5	26,6	$-3,57 \times 10^{-4}$	19,32	$1,8 \times 10^{-6}$	4,71	0,038	1	0,146	0,228

Em consequência das particularidades dos sistemas de bombagem das duas piscinas, a aplicação do modelo de controlo e respectivos resultados deverão ser tratados separadamente.

#### ***Piscina Olímpica***

Ao nível da PO, e partindo dos dados da Tabela 5.31, é possível aferir o limite máximo do caudal (Tabela 5.36) partindo da conjugação das cinco bombas disponíveis ( $n=5$ ) em velocidade nominal. Estes valores poderão ser diferentes aquando da alteração da característica do Sistema Hidráulico, nomeadamente: limpeza dos filtros, alteração de elementos constituintes do circuito, etc.

**Tabela 5.36 – Caudais máximos da PO**

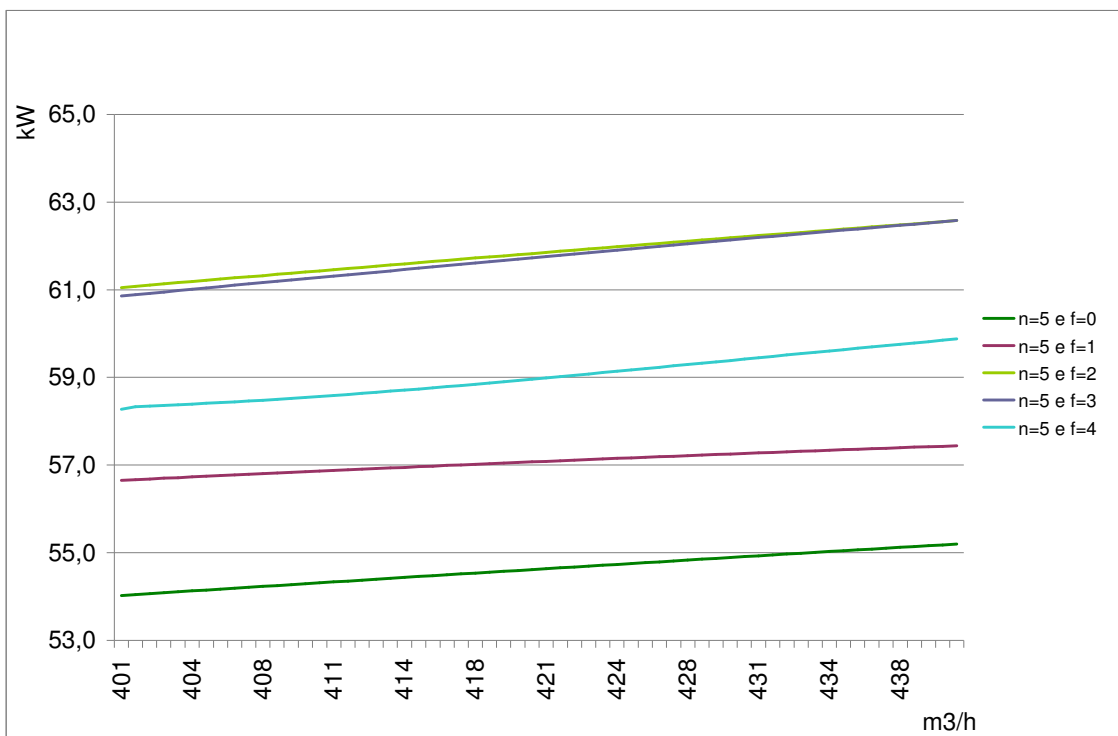
$n$	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
1	139
2	255
3	341
4	400
5	440

Partindo dos caudais descritos anteriormente, são identificados quatro cenários (Tabela 5.37) e respectivas combinações para o funcionamento das bombas. As combinações de funcionamento vão depender dos arranjos possíveis do par  $(n, f)$ , ou seja, número de bombas em funcionamento e o número de bombas em velocidade nominal.

**Tabela 5.37 – Cenário para a PO**

Cenário	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)	Combinações
1	440	400	(5,0), (5,1), (5,2), (5,3) e (5,4)
2	400	342	(4,0), (4,1), (4,2) e (4,3)
3	342	256	(3,0), (3,1) e (3,2)
4	256	139	(2,0) e (2,1)

A aplicação do modelo de controlo será o passo seguinte, de modo a determinar a potência eléctrica solicitada pelas bombas, sendo a sua evolução crescente para cada cenário e similar à Figura 5.23, onde é apresentado o cenário 1.



**Figura 5.23 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO)**

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (5,0).

***Piscina Recreativa***

Ao nível da PR, e partindo dos dados da Tabela 5.32, é possível aferir o limite máximo do caudal (Tabela 5.38) partindo da conjugação das três bombas disponíveis ( $n=3$ ) em velocidade nominal. Analogamente, estes valores poderão ser diferentes aquando da alteração da característica do Sistema Hidráulico.

**Tabela 5.38 – Caudais máximos da PR**

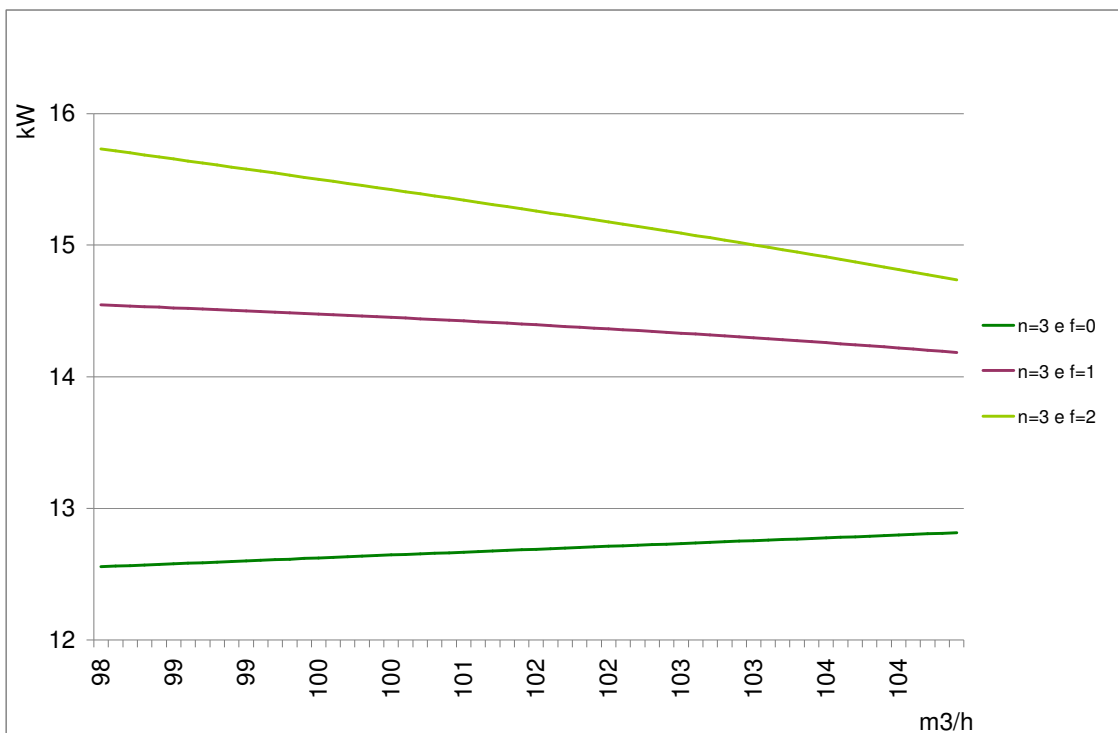
$n$	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
1	80
2	97
3	101

Partindo dos caudais descritos anteriormente, são identificados dois cenários (Tabela 5.39) e respectivas combinações para ao funcionamento das bombas.

**Tabela 5.39 – Cenário para a PR**

Cenário	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)	Combinações
1	101	98	(3,0), (3,1) e (3,2)
2	98	80	(2,0) e (2,1)

Aplicando o modelo de controlo verifica-se uma evolução similar para cada cenário e idêntico à Figura 5.24, onde é apresentado o cenário 1.





**Figura 5.24 – SB com três bombas em funcionamento (PR)**

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (3,0).

### ***Piscina Olímpica regime teórico***

Ao nível da PO, e partindo dos dados da Tabela 5.33, é possível aferir o limite máximo do caudal (Tabela 5.40) partindo da conjugação das cinco bombas disponíveis ( $n=5$ ) em velocidade nominal.

**Tabela 5.40 – Caudais máximos da PO regime teórico**

$n$	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
1	139
2	275
3	407
4	533
5	650

Vamos ter à mesma quatro cenários (Tabela 5.41) e respectivas combinações para o funcionamento das bombas.

**Tabela 5.41 – Cenário para a PO**

Cenário	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)	Combinações
1	650	533	(5,0), (5,1), (5,2), (5,3) e (5,4)
2	533	407	(4,0), (4,1), (4,2) e (4,3)
3	407	275	(3,0), (3,1) e (3,2)
4	275	139	(2,0) e (2,1)

Da aplicação do modelo de controlo verifica-se uma evolução assimétrica para cada cenário e idêntico à Figura 5.25, onde é apresentado o cenário 1.

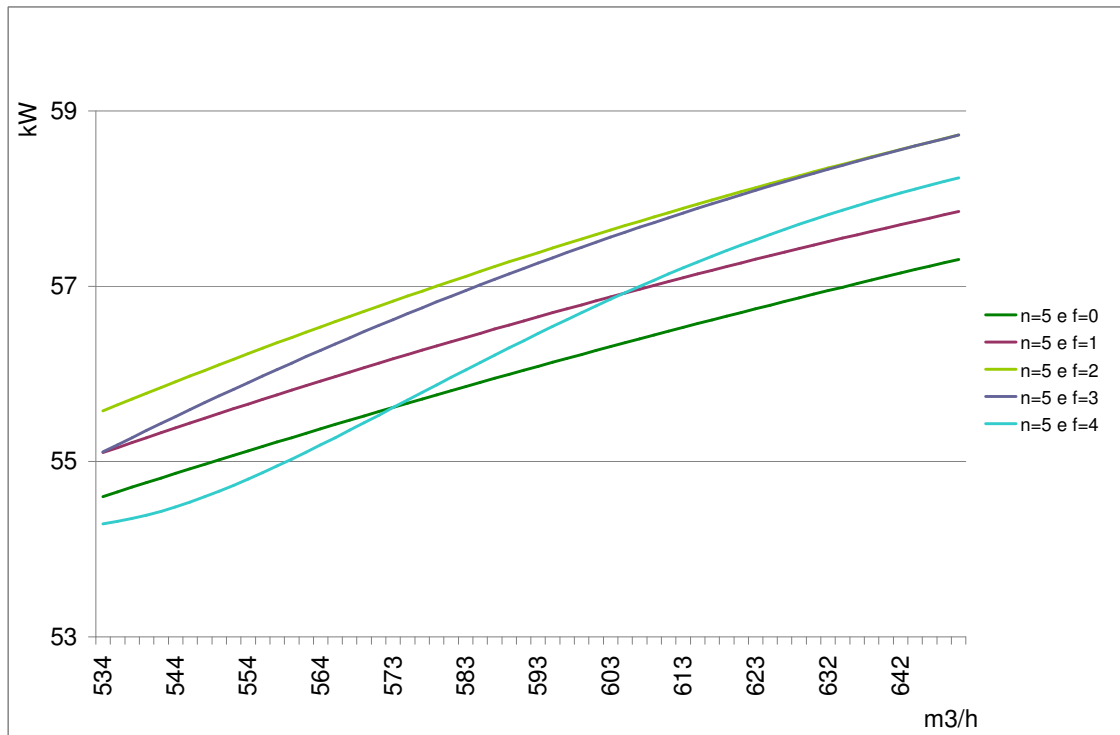


Figura 5.25 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO regime teórico)

Verifica-se que, a partir de um caudal de  $573 \text{ m}^3/\text{h}$ , o par (5,0) solicita menor potência eléctrica, mas para valores inferiores de caudal é o par (5,4) o mais adequado.

O estudo detalhado destas três topologias vem discriminado no Anexo D

### **Resultados obtidos**

A aplicação do modelo de controlo na íntegra implica estudar a influência na redução do consumo energético, tendo em consideração que vai existir redução de caudal em dois períodos distintos: nocturno e horas de ponta.

O período diurno será similar ao anterior, ou seja, o regime de funcionamento para a PO será de  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  e para a PR de  $97 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo que os pares que minimizam a potência tomada pela instalação são para o caso da PO (4,0) e para PR (2,0), onde a potência eléctrica solicitada é, respectivamente  $46,4 \text{ kW}$  e  $9,96 \text{ kW}$ .

No caso do período nocturno e horas de ponta, o regime de funcionamento será  $2/3$  do regime diurno, sendo de  $267 \text{ m}^3/\text{h}$  para a PO e de  $65 \text{ m}^3/\text{h}$  para a PR e sendo que os pares que minimizam a potência tomada pela instalação são para o caso da PO (3,0) e para PR (1,0), onde a potência eléctrica solicitada é, respectivamente,  $34,6 \text{ kW}$  e  $6,0 \text{ kW}$ .

Perante os dados descritos anteriormente, o cálculo do  $IEE_{SB}$  é obvio (Tabela 5.39) e directo.

**Tabela 5.42 –  $IEE_{SB}$  do modelo de controlo**

Índice	Real	Modelo de controlo	Redução
$IEE$ do Edifício	95,7	91,6	4,3%
$IEE_{SB}$ da PO	17,9	14,9	16,7%
$IEE_{SB}$ da PR	3,8	2,8	27,1%

Em consonância com o ponto anterior, o custo energético foi calculado (Tabela 5.40) tendo como base preços médios da EE no ano de 2006 (DGEG, 2012b), excepto no caso das reduções de consumos no período das horas de ponta, onde foram utilizados os preços reais da EE (0,1019€/kWh) e encargos de potência (0,2624€/kW.dias) (ERSE, 2010).

**Tabela 5.43 –  $CE_{SB}$  do modelo de controlo**

Índice	Real	Modelo de controlo	Redução
CE do Edifício	203.766 €	193.416 €	5,1%
$CE_{SB}$ da PO	37.490 €	30.004 €	20,0%
$CE_{SB}$ da PR	8.047 €	5.535 €	31,2%

Embora para a implementação deste modelo de controlo ser necessário a instalação de meios auxiliares, nomeadamente VEV, é imperativo estimar o período de retorno desta medida. Os cálculos referentes a esta problemática (Tabela 5.41) foram efectuados considerando os custos reais dos equipamentos (TIDSL, 2011), assim como os custos de mão obra, que neste caso foram considerados iguais ao do equipamento.

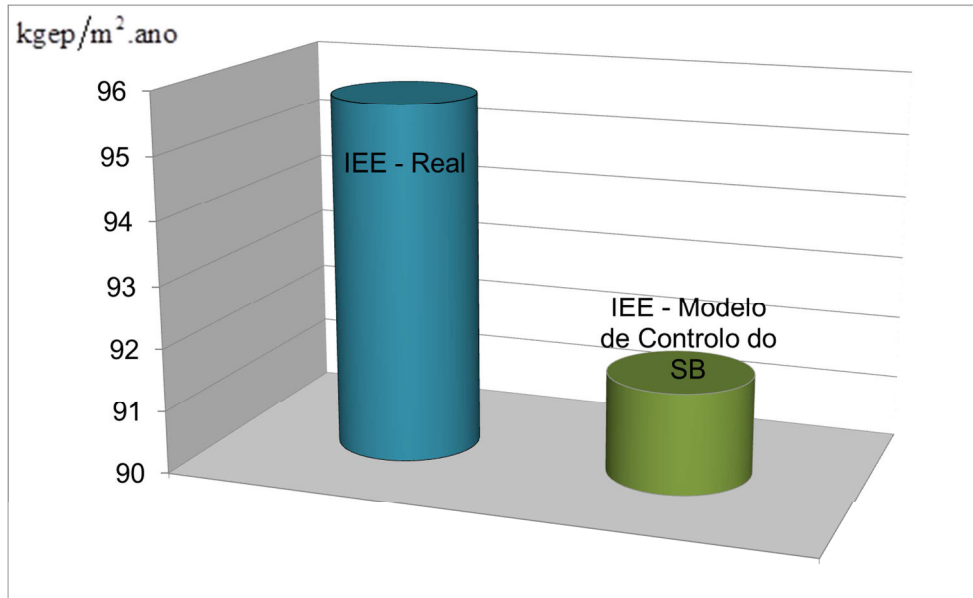
**Tabela 5.44 – Período de retorno do modelo de controlo do SB**

Equipamento	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
VEV para PO (ABB - ACS550-01-031A-4 15kW)	1.378,00 €	5	6.890 €
VEV para PR (ABB - ACS550-01-023A-4 11kW)	1.091,00 €	3	3.273 €
Mão-de-obra			10.163 €
Total			20.326 €
Redução anual de consumos			9.999 €
		Período de retorno	2,0 anos

Com um período de retorno desta grandeza a sua aplicabilidade é directa, considerando as recomendações do RSECE (2006).

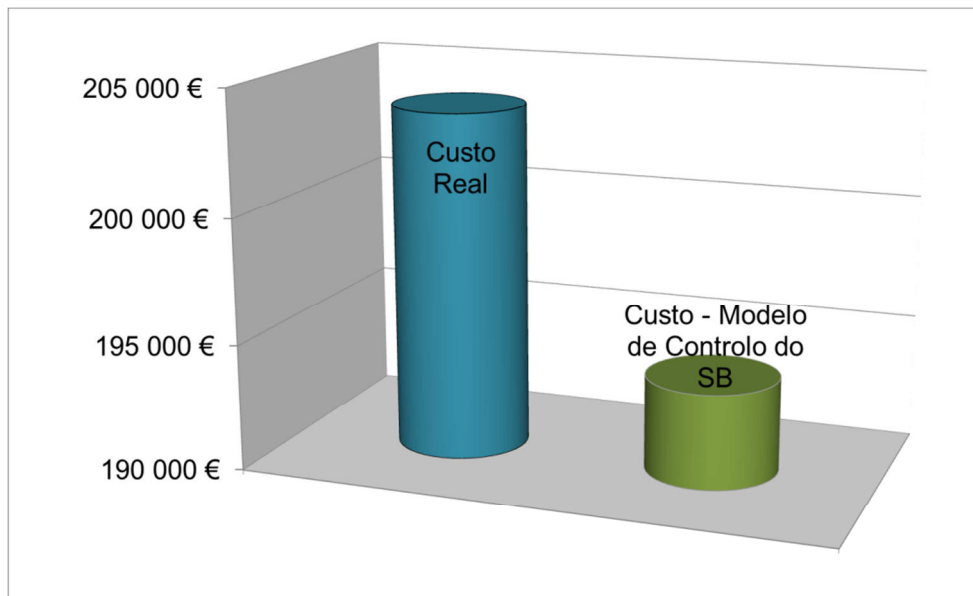
**Análise de resultados**

A influência das medidas propostas tem um grande impacto ao nível da redução do IEE do edifício (Figura 5.26), com reflexo na melhoria da classificação energética do edifício. A simples aplicação do modelo de controlo proposto permite reduzir em quase 5 pontos o IEE do edifício.



**Figura 5.26 – Impacto do SB no IEE**

O mesmo se pode constatar no consumo energético (Figura 5.27), onde a redução de consumos representa 5% do CE total.



**Figura 5.27 – Impacto do SB no CE**



## 6. Sistema de gestão técnica

Os Sistemas de Gestão Técnica em Complexos de Piscinas (SGTCP) devem ser dotados de meios que permitam a monitorização energética dos processos, preconizada pelo RSECE, assim como a implementação de estratégias de controlo que permitam a optimização do uso da energia.

Analisando os processos energéticos existentes em Complexos de Piscinas, dividem-se em duas grandes formas de energia: térmica e eléctrica.

- \* A energia térmica é necessária para o sistema de climatização (aquecimento do ar a insuflar) e aquecimento da água da piscina e AQS.
- \* A EE é necessária para os sistemas de bombagem, climatização (desumidificação do ar a tratar) e iluminação.

Neste capítulo é abordada de uma forma sucinta a constituição de um SGTCP ao nível dos meios físicos necessários, das variáveis a serem auditadas, das estratégias de controlo a implementar e, por último, da abrangência da monitorização. A descrição detalhada do SGTCP vem especificada no Anexo E.

Foi considerado um complexo desportivo genérico constituído por uma piscina interior. A replicação para mais do que uma piscina é directa.

### 6.1. Estrutura Física do SGTCP

A estrutura física do SGTCP é composta pela rede sensorial e de actuadores e por um conjunto de dispositivos que permitem monitorizar e controlar subprocessos. A rede sensorial e de actuadores é caracterizada pelas variáveis a auditar e a controlar. Os dispositivos são normalmente ligados em rede (*Modbus*, ou outros).

Nos pontos seguintes é descrita a estrutura física necessária para monitorizar e controlar a piscina, começando pela monitorização dos consumos globais de EE e energia térmica e depois passando aos quatro processos descritos anteriormente.

#### 6.1.1. Monitorização dos consumos globais

A monitorização dos consumos globais será efectuada pela medição em contínuo do consumo EE e energia térmica da instalação.

Ao nível dos dispositivos ligados em rede, afectos à monitorização dos consumos globais, serão utilizados dispositivos para monitorização da EE e da energia térmica.

Na Tabela 6.1 vêm especificadas as variáveis e respectivos códigos dos dispositivos referentes à monitorização dos consumos globais.

**Tabela 6.1 - Variáveis da monitorização dos consumos globais**

Variável	Designação	Sigla
$eea_{total}$	EE activa consumida pelo edifício (kWh)	D-500
$et_{total}$	Energia térmica consumida pelo edifício (kWh)	D-501

### 6.1.2. Sistema AVAC

Neste caso o SGTCP irá controlar o sistema de climatização de modo a garantir o conforto térmico dos utilizadores e a boa gestão energética, bem como monitorizar os gastos energéticos deste processo e a qualidade do ar interior.

Ao nível do sistema de climatização, os complexos de piscinas são normalmente equipados com Unidade de Tratamento de Ar (UTA), de forma a desumidificar e aquecer ou arrefecer o ar das naves das piscinas. As variáveis a considerar neste caso são a temperatura ambiente e a humidade relativa interiores.

Na monitorização será considerada a medição em contínuo do consumo da EE e energia térmica do processo, assim como a avaliação da qualidade do ar ambiente partindo da medição da concentração de dióxido de carbono, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. É feita também a monitorização da temperatura ambiente e da humidade relativa exteriores.

A rede sensorial afecta ao sistema AVAC é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar as seguintes variáveis físicas: temperatura ambiente interior e exterior, humidade relativa interior e exterior, nível de dióxido de carbono, nível de monóxido de carbono, concentração de ozono e concentração de compostos orgânicos voláteis (THM e cloraminas).

Ao nível dos dispositivos ligados em rede, afectos ao sistema AVAC, serão utilizados dispositivos para parametrização da UTA, monitorização da EE e contagem da energia térmica.

Na Figura 6.1 é apresentado um esquema de princípio da localização dos sensores necessários para a recolha das variáveis pretendidas.

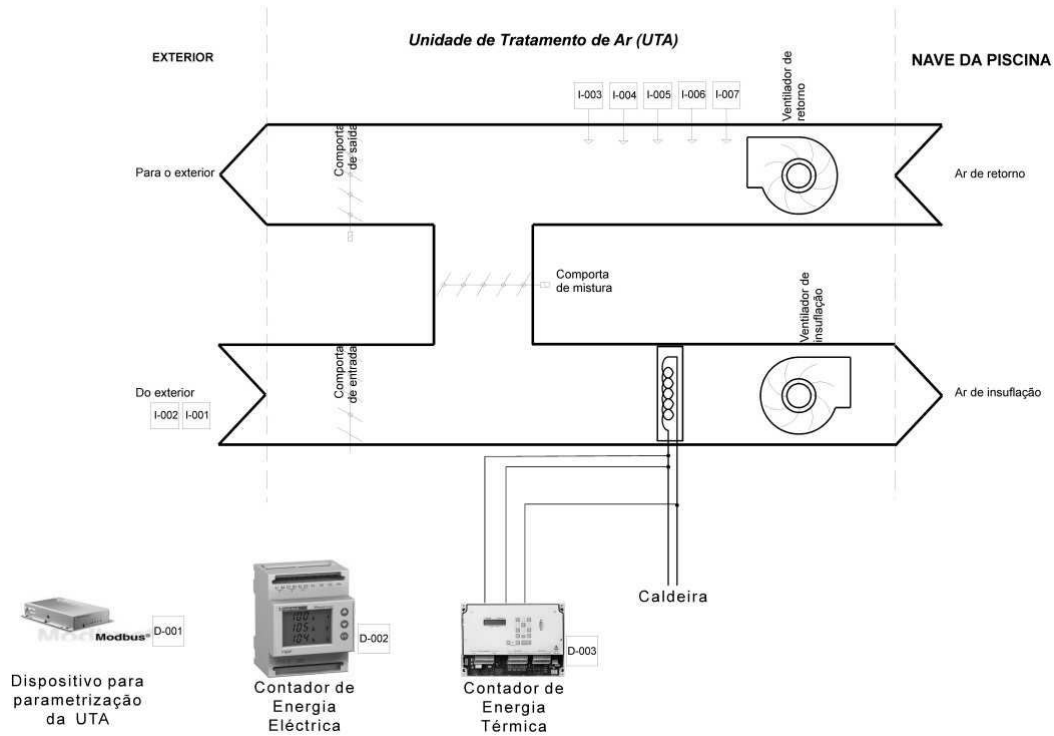


Figura 6.1 – Planta de pormenor de localização dos sensores na UTA

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura 6.1 e respectiva variáveis é apresentada na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Variáveis do Sistema AVAC

Variável	Designação	Sigla
$t_{amb\_ext}$	Temperatura ambiente exterior (°C)	I-001
$\phi_{ext}$	Humidade relativa exterior (%)	I-002
$t_{amb}$	Temperatura ambiente interior (°C)	I-003
$\phi$	Humidade relativa interior (%)	I-004
$co_2$	Dióxido de carbono (PPM)	I-005
$co$	Monóxido de carbono (PPM)	I-006
$oz$	Ozono (PPM)	I-007
$cov\_THM$	Compostos orgânicos voláteis - THM (%)	I-008
$cov\_NCL3$	Compostos orgânicos voláteis - Cloraminas (%)	I-009
$t_{avac\_sp}$	Temperatura ambiente interior pretendida (°C)	D-001
$\phi_{avac\_sp}$	Humidade relativa interior pretendida (%)	D-001
$eea_{avac}$	EE activa consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-002
$et_{avac}$	Energia térmica consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-003

### 6.1.3. Sistema de Bombagem

O SGTCP controlará também o funcionamento do SB de modo a fazer uma gestão dos consumos de energia, bem como monitorizar os principais gastos energéticos deste processo e a qualidade da água da piscina. As bombas do SB devem ser dotadas de variadores electrónicos de velocidade com capacidade de comunicação (*ModBus* ou outro).



Na monitorização será considerado a medição em contínuo do consumo da EE e energia térmica do processos, das pressões à entrada e saída das bombas e dos filtros. A avaliação da qualidade da água será feita partindo da medição da concentração total de sólidos dissolvidos, cálcio em termos de carbonato de cálcio, alcalinidade em termos de carbonato de cálcio e pH.

A rede sensorial afecta ao SB é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar as seguintes variáveis físicas: temperatura da água da piscina, caudal, pressão, nível de pH da água, total de sólidos dissolvidos, concentração de cálcio em termos de carbonato de cálcio e a alcalinidade em termos de carbonato de cálcio.

Ao nível dos dispositivos ligados em rede, afectos ao SB, serão utilizados dispositivos com vista a: controlar da qualidade da água da piscina, monitorizar a EE e a energia térmica, e fazer variar a velocidade das bombas.

Na Figura 6.2 é apresentado um esquema de princípio do SB da água da piscina, que é constituído por:  $n$  bombas,  $x$  filtros de areias, um permutador de placas e a rede sensorial e de dispositivos.

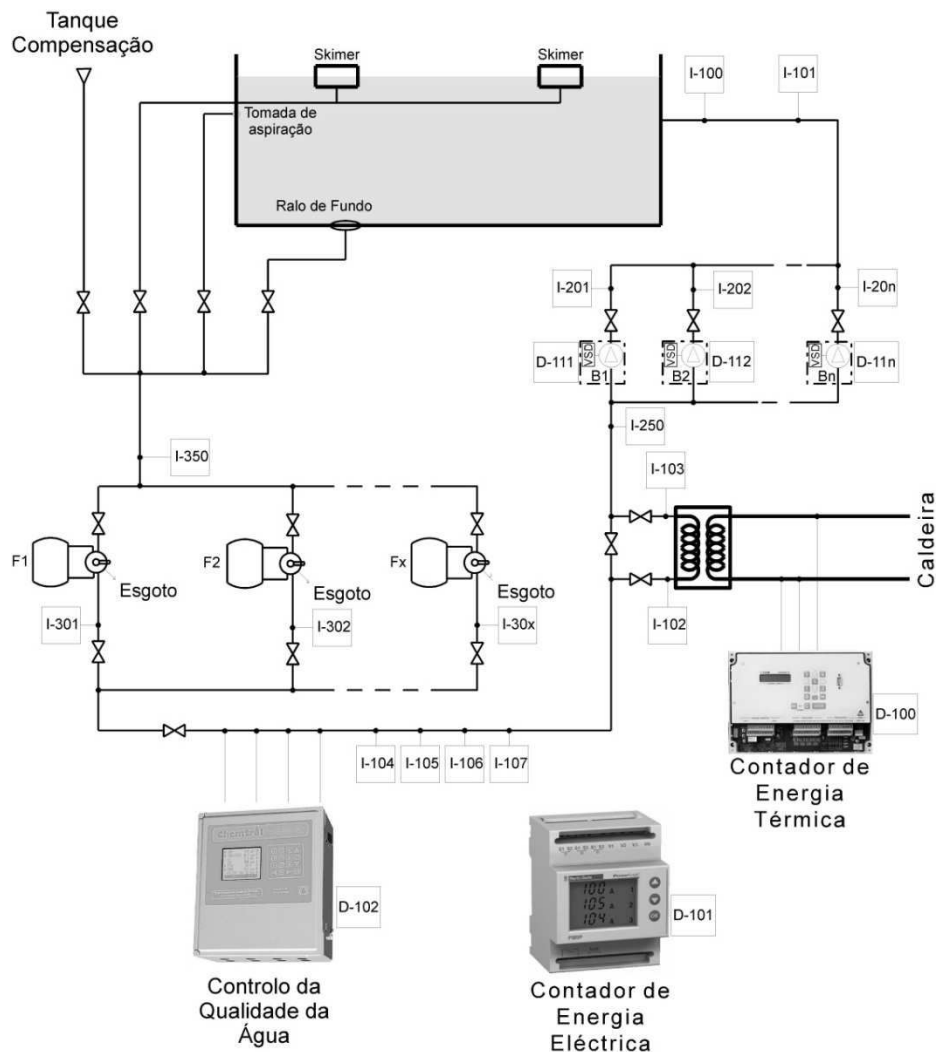


Figura 6.2 – Esquema de princípio do SB

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura 6.2 e respectivas variáveis está detalha na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3 - Variáveis do SB**

Variável	Designação	Sigla
$t_{in}$	Temperatura da água a introduzir na piscina (°C)	I-100
$q_p$	Caudal da água no circuito hidráulico da piscina (m <sup>3</sup> /h)	I-101
$P_{i\_p}$	Pressão à entrada do permutador da piscina (Pa)	I-102
$P_{o\_p}$	Pressão à saída do permutador da piscina (Pa)	I-103
$P_{i\_gb}$	Pressão à entrada do grupo de bombas da piscina (Pa)	I-250
$P_{o\_bi}$	Pressão à saída da bomba nº i da piscina (Pa)	I-20i
$P_{i\_f}$	Pressão à entrada dos filtros piscina (Pa)	I-350
$P_{o\_fi}$	Pressão à saída do filtro nº i da piscina (Pa)	I-30i
$pH$	Nível de pH da água	I-104
$tds$	Total de sólidos dissolvidos (mg/L)	I-105
$c_a$	Concentração de cálcio em termos de carbonato de cálcio (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	I-106
$al$	Alcalinidade em termos de carbonato de cálcio (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	I-107
$et_{SB}$	Energia térmica consumida pela piscina (kWh)	D-100
$eea_{SB}$	EE activa consumida pelo SB (kWh)	D-101
$pH_{pool}$	Nível de pH da água antes do controlador	
$cl_{pool}$	Nível de cloro residual livre da água	
$s_{pool}$	Condutividade da água antes do controlador	D-102
$t_{pool}$	Temperatura da água antes do controlador	
$rdx_{pool}$	Potencial de oxidação/redução da água	
$B_i$	Bomba nº i	D-11i

#### 6.1.4. Sistema de Iluminação

O SGTCP irá controlar o funcionamento da iluminação em todos os espaços existente na instalação, tendo sempre em contra a sua ocupação, de modo a minimizar o seu tempo de funcionamento. Em espaços com iluminação natural é efectuada a medição do seu nível no interior, para avaliar a necessidade de ligar a iluminação artificial. É ainda efectuada a monitorização dos principais gastos energéticos em todo o SI.

A rede sensorial afecta ao SI é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar os níveis de iluminação e movimentos no espaço.

Ao nível dos dispositivos ligados em rede, afectos ao SI, será utilizado o de monitorização de EE.

Todos os espaços terão um detector de ocupação e só os espaços com iluminação natural dispõem de um sensor de nível iluminação. A relação entre o código dos sensores e dispositivo e respectivas variáveis a usar nos itens seguintes está apresentada na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4 - Variáveis no SI**

Variável	Designação	Sigla
$mov_i$	Detector de movimento do espaço i	I-40i
$luz_i$	Sensor de iluminação do espaço i	I-45i
$ILM_i$	Comando da iluminação do espaço i	O-40i
$eea_{SI}$	EE activa consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-200

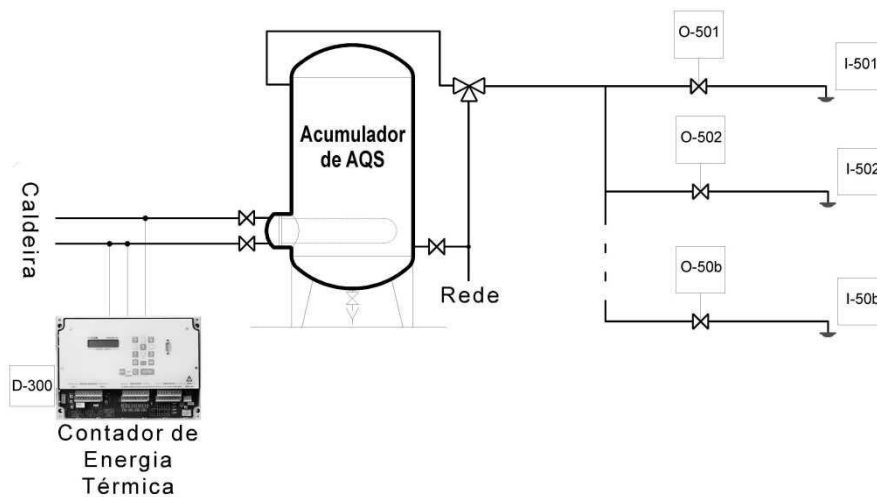
### 6.1.5. Sistema de AQS

O SGTCP irá controlar o funcionamento dos chuveiros de modo a minimizar o seu tempo de funcionamento, bem como monitorizar os principais gastos energéticos no SPAQS.

A rede sensorial afecta ao sistema de AQS é composta por um conjunto de sensores capazes de detectar a ocupação dos chuveiros.

Ao nível dos dispositivos ligados em rede, afectos ao sistema de AQS, será utilizado o que permite a contagem da energia térmica.

Na Figura 6.3 é apresentado um esquema de princípio do sistema de AQS que é constituído por:  $b$  electroválvulas,  $b$  detectores de ocupação, um acumulador de AQS e o dispositivo.



**Figura 6.3 – Esquema de princípio do Sistema de AQS**

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura 6.3 e respectivas variáveis é representada na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5 - Variáveis no Sistema de AQS**

Variável	Designação	Sigla
$ocp_i$	Detector de ocupação do chuveiro i	I-50i
$CHV_i$	Comando do chuveiro i	S-50i
$et_{AQS}$	Energia térmica consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-300

## 6.2. Controlo e monitorização dos processos

O controlo de todos os processos é efectuado tendo em consideração o modo de utilização temporal da instalação, sendo a monitorização efectuada em contínuo. Assim, é definido o termo **Espaço em Utilização**, que é representado por uma matriz temporal: dia de semana versos horário de funcionamento da instalação.

A monitorização dos processos deverá efectuar as seguintes tarefas: mostrar e guardar (*MosGua*) mensalmente as variáveis independentes e dependentes existentes com períodos de leitura definidos e emitir aviso (*EmAvi*) quando uma determinada variável ultrapassa um valor limite.

### 6.2.1. Monitorização dos consumos globais

Os critérios para a monitorização dos consumos globais vêm expressos na Tabela 6.6.

**Tabela 6.6 – Monitorização das variáveis independentes dos consumos globais**

Variável	Sigla	<i>MosGua</i>	Referência	Fonte	<i>EmAvi</i>	
					Aviso emitido	
$eea_{total}$	D-500	60 min	-	-	-	
$et_{total}$	D-501	60 min	-	-	-	

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitam avaliar outras condições de funcionamento do edifício (Tabela 6.7), sendo que neste caso:

- A previsão do *IEE* do edifício ( $IEE_{pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais será dada por

$$IEE_{pe} = (0,086 \times et_{total} + 0,29 \times eea_{total} / A_{util}) \times (12/mes).$$

- A previsão dos custos energéticos do edifício ( $CE_{pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais será dada por

$$CE_{pe} = (p_{gn} \times et_{total} + p_{ee} \times eea_{total}) \times (12/mes).$$

**Tabela 6.7 – Monitorização das variáveis dependentes dos consumos globais**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IEE_{pe}$	60 min	$IEE_{pe} > 35$	(RSECE, 2006)	“Valor limite dos consumos globais específicos para a topologia do edifício ultrapassado”
$CE_{pe}$	60 min	-	-	-

### 6.2.2. Sistema de AVAC

Nos passos seguintes são descritas as variáveis necessárias para o sistema AVAC, assim como a formulação da estratégia de controlo e monitorização a implementar.

As variáveis do Sistema de AVAC são, na essência, de dois tipos distintos: as características técnicas da instalação e as de monitorização do processo.

Ao nível das características técnicas da instalação, as variáveis são de dois tipos dependentes e independentes. As variáveis independentes (Tabela 6.8), que em alguns dos casos são invariantes no tempo, podem ser determinadas pelo caderno de encargos ou usando simulação dinâmica de edifícios. As variáveis dependentes são determinadas partindo das independentes. As variáveis associadas à monitorização do processo já se encontram descritas na Tabela 6.2.

O modelo de controlo pressupõe a alteração das variáveis de controlo, nos períodos de não utilização da piscina, que minimizem energeticamente a instalação considerando dois critérios: temperatura de bolbo húmido e temperatura de orvalho.

A base deste modelo tem como referência as equações que nos caracterizam a evolução, em função da humidade relativa, do  $IEE_{avac}$  (equação 3.23) e  $CE_{avac}$  (equação 3.24). As variáveis de controlo a aplicar serão as que permitem optimizar o CE do edifício,  $CE_{avac}$ . O cálculo do  $IEE_{avac}$  é meramente para monitorização do processo.

Algoritmo:  
**Controlo do AVAC**

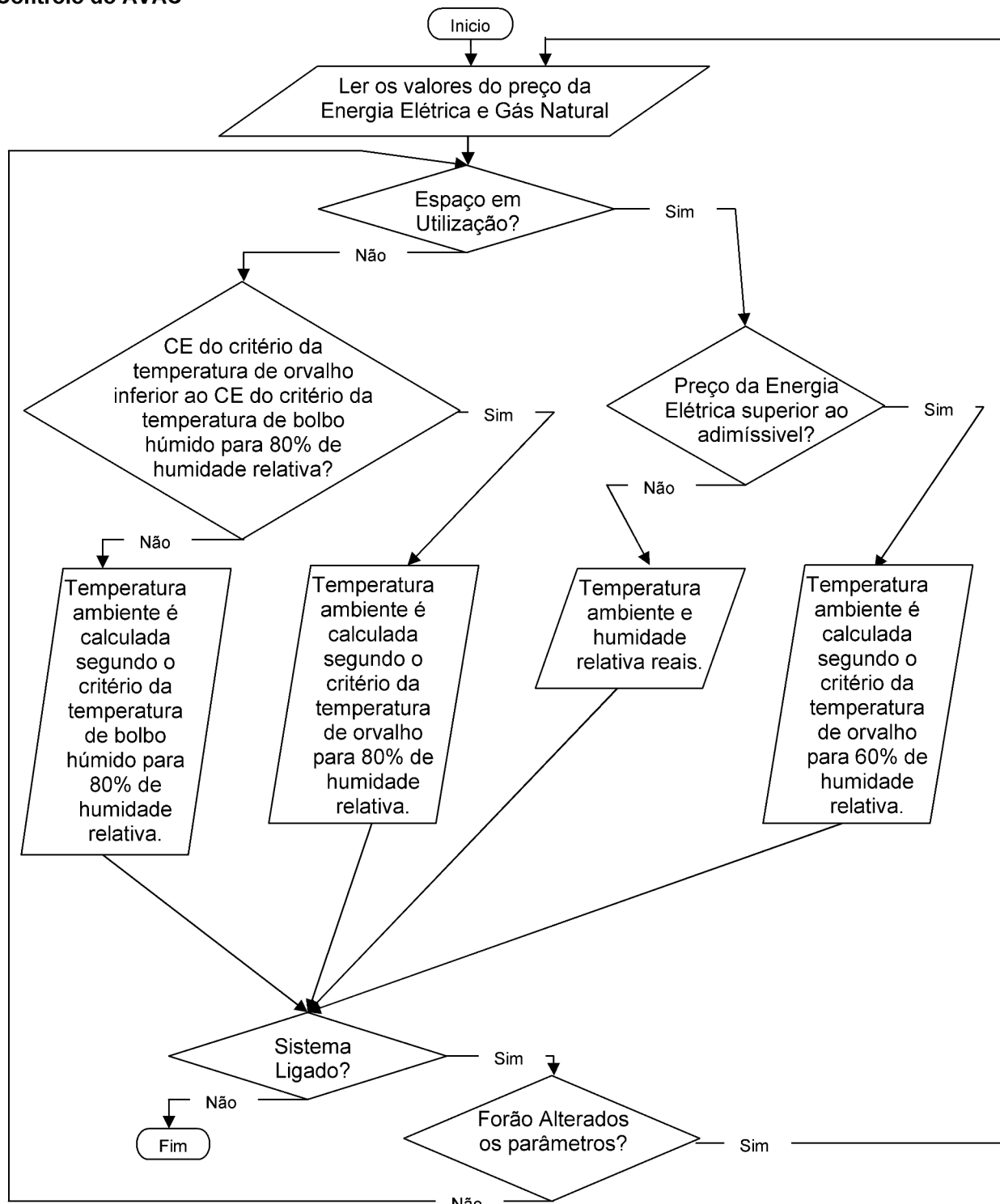


Figura 6.4 – Estratégia de controlo do sistema de AVAC

Os critérios para a monitorização das variáveis independentes do sistema AVAC vêm expressos na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Monitorização das variáveis independentes do Sistema AVAC

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi	
					Aviso emitido
$t_{amb\_ext}$	15 min	-	-	-	-
$\phi_{ext}$	15 min	-	-	-	-
$t_{amb}$	15 min	$0 < t_{amb} - t_{in} > 4$	(IPQ, 2009A)	-	“A diferença entre a temperatura ambiente relativamente à temperatura da água da piscina não está no intervalo recomendado”
$\phi$	15 min	80 %	(IPQ, 2009A)	-	“A humidade relativa ultrapassou o valor máximo recomendado”
$CO_2$	15 min	$1800 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de dióxido de carbono ultrapassou o máximo de referência”
$CO$	15 min	$12,5 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de monóxido de carbono ultrapassou o máximo de referência”
$O_3$	15 min	$0,2 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de ozono ultrapassou o máximo de referência”
$cov\_THM$	15 min	$36 \text{ } \mu\text{g/m}^3$	(WHO, 2006)	-	“Concentração de THM ultrapassou a zona de conforto para exposições moderadas”
$cov\_NCL3$	15 min	$0,5 \text{ mg/m}^3$	(Héry, 1994)	-	“Concentração de cloraminas ultrapassou a zona de conforto para exposições de longa duração”
$eea_{avac}$	60 min	-	-	-	-
$et_{avac}$	60 min	-	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do sistema (Tabela 6.9), sendo neste caso:

- Concentração total dos compostos orgânicos voláteis ( $T_{cov}$ ), que uma boa aproximação será dada por  $T_{cov} = cov\_THM + cov\_NCL3$ .
- Evolução do  $IEE$  de responsabilidade do sistema AVAC previsto ( $IEE_{AVAC\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $IEE_{AVAC\_pe} = (0,086 \times et_{AVAC} + 0,29 \times eea_{AVAC} / A_{util}) \times (12/mes)$ .
- Evolução do  $CE$  de responsabilidade do AVAC previsto ( $CE_{AVAC\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{AVAC\_pe} = (p_{gn} \times et_{AVAC} + p_{ee} \times eea_{AVAC}) \times (12/mes)$ .

Tabela 6.9 – Monitorização das variáveis dependentes do Sistema AVAC

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi	
					Aviso emitido
$T_{cov}$	15 min	$0,6 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração dos compostos orgânicos voláteis totais ultrapassou o máximo de referência”
$IEE_{AVAC\_pe}$	60 min	$IEE_{AVAC\_pe} > 0,43 \times 35$	(RSECE, 2006)	-	“O consumo específico do sistema AVAC está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{AVAC\_pe}$	60 min	-	-	-	-

### 6.2.3. Sistema de Bombagem

O controlo e monitorização do SB dispõem de uma rede sensorial detalhada, com o intuito de controlar as bombas de uma forma eficiente e monitorizar os parâmetros de funcionamento do SB ao nível das bombas e dos filtros

As variáveis do SB são na essência de três tipos: as características técnicas da instalação, as de monitorização do processo e as auxiliares.

Ao nível das características técnicas da instalação as variáveis são dependentes, podendo ser estimadas com a instalação em funcionamento ou partindo dos dados disponíveis do caderno de encargos ou ainda dos outros documentos técnicos.

Para controlar o funcionamento das bombas é fulcral determinar os parâmetros associados ao SB, que são a curva característica de uma bomba, do sistema de bombas e da instalação.

O modelo de controlo (Figura 6.5) tem como objectivo principal garantir o caudal mínimo regulamentar, durante os períodos normais de utilização, e um caudal inferior ao regulamentar para os períodos de não utilização, com a garantia da avaliação da qualidade da água em tempo real. Neste sentido, é expectável a redução do caudal da instalação para metade do caudal nominal, nas seguintes situações:

- Durante o período de não utilização das instalações;
- Nos períodos em que os custos energéticos são mais elevados (horas de ponta).

Contudo devemos ter sempre atenção à qualidade da água e se esta se começar a degradar deve aumentar-se gradualmente o caudal da instalação até garantir as condições satisfatórias de IS.

O escalonamento das bombas é efectuado de modo a verificar-se uma rotatividade de funcionamento, ou seja, sempre que existir uma alteração do caudal existirá uma nova sequência de bombas em funcionamento, sendo o escalonamento feito de modo que a primeira bomba a entrar em velocidade nominal seja a imediatamente a seguir à última que esteve nestas condições.



Algoritmo:  
Controlo do SB

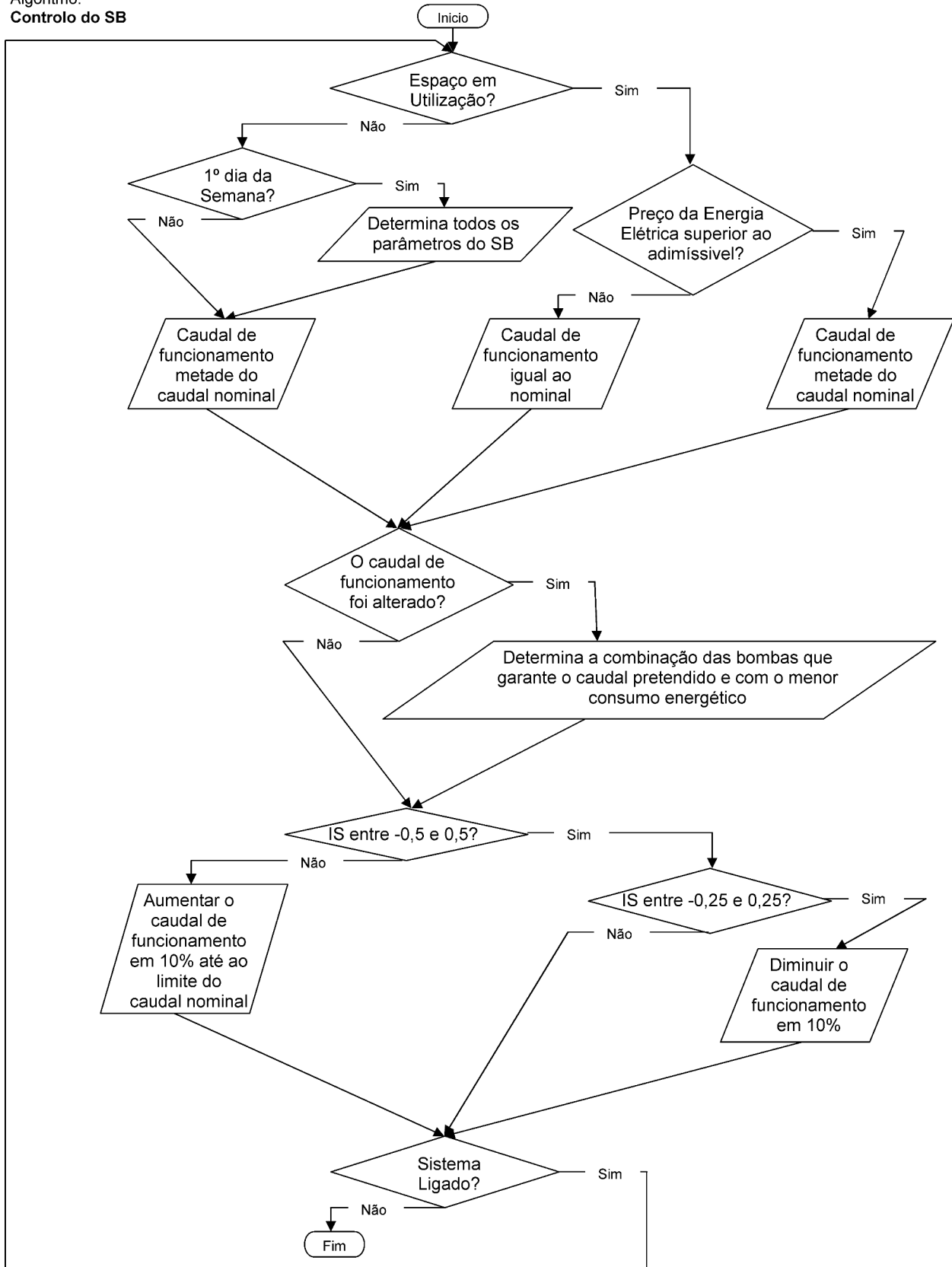


Figura 6.5 – Estratégia de controlo do SB

Os critérios para a monitorização das variáveis independentes do SB vêm expressos na Tabela 6.10.

**Tabela 6.10 – Monitorização das variáveis independentes do SB**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$t_{in}$	15 min	-	-	-
$q_p$	15 min	-	-	-
$p_{i\_p}$	15 min	-	-	-
$p_{o\_p}$	15 min	-	-	-
$p_{i\_gb}$	15 min	-	-	-
$p_{o\_bi}$	15 min	-	-	-
$p_{i\_f}$	15 min	-	-	-
$p_{o\_fi}$	15 min	-	-	-
$pH$	15 min	$6.9 < pH > 8.0$	CNQ 23/93	“O pH da água da piscina está fora dos parâmetros recomendados”
$tds$	15 min	-	-	-
$c_a$	15 min	-	-	-
$al$	15 min	-	-	-
$eea_{SB}$	60 min	-	-	-
$et_{SB}$	60 min	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do sistema (Tabela 6.11), sendo neste caso:

- O IS ou índice de Langelier (Perkins, 2000; Dąbrowski *et al.*, 2002; Langelier, 1936) é considerado satisfatório quando pertence ao intervalo: -0,5 e +0,5 (DHSS, 2003), (Stachecki & Haan, 1997) e (DHHS, 2005).
- A lavagem dos filtros deve ser quando a perda de carga excede 0.5Bar o valor da perda de carga estabelecida com o filtro lavado, logo a perda de carga do filtro  $x$  é dado por:  $pc_{fx} = p_{i\_f} - p_{i\_fx}$ .
- O funcionamento deficiente das bombas partindo da avaliação dos respectivos parâmetros.
- A evolução do IEE de responsabilidade do SB previsto ( $IEE_{SB\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $IEE_{SB\_pe} = (0,086 \times et_{SB} + 0,29 \times eea_{SB} / A_{util}) \times (12/mes)$ .
- A evolução do CE de responsabilidade do SB previsto ( $CE_{SB\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{SB\_pe} = (p_{gn} \times et_{SB} + p_{ee} \times eea_{SB}) \times (12/mes)$ .

**Tabela 6.11 – Monitorização das variáveis dependentes do SB**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IS$	15 min	$ IS  > 0.5$	(DHSS, 2003)	“A qualidade da água da piscina está fora dos parâmetros considerados satisfatórios”
$pc_{fi}$	15 min	$pc_{f\_l} - pc_{fi} > 0.5$	CNQ 23/93	“Lavagem obrigatório do filtro i”
$a_{bi}$	15 min	$0.95 \times a_{b\_in} - a_{bi} > 0$	-	“Bomba i com anomalia ao nível da elevação”
$c_{bi}$	15 min	$0.95 \times c_{b\_in} - c_{bi} > 0$	-	“Bomba i com anomalia ao nível da elevação”
$IEE_{SB\_pe}$	60 min	$IEE_{SB\_pe} > 0,26 \times 35$	(RSECE, 2006)	“O consumo específico do SB está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{SB\_pe}$	60 min	.	-	-

#### 6.2.4. Sistema de Iluminação

As variáveis independentes do SI vêm apresentadas na Tabela 6.12.

**Tabela 6.12 - Variáveis independentes do SI**

Variável	Designação
$mov_x$	Detector de movimento do espaço x
$luz_x$	Sensor de iluminação do espaço x
$ILM_x$	Iluminação do espaço x

A regulação do funcionamento da iluminação pressupõe a capacidade de determinação de ocupação do espaço, em tempo real, como princípio base. Para o caso de espaços com iluminação natural, a avaliação do nível de iluminância será efectuada e incorporada no controlo.

Os critérios para a monitorização do SI vêm expressos na Tabela 6.13.

**Tabela 6.13 – Monitorização das variáveis independentes do SI**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$ILM_1$		-	-	-
$ILM_2$		-	-	-
...		-	-	-
$ILM_a$		-	-	-
$eea_{SI}$	60 min	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do SI (Tabela 6.14), sendo neste caso:

- A previsão do *IEE* do SI ( $IEE_{SI\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $IEE_{SI\_pe} = (0,29 \times eea_{SI} / A_{util}) \times (12/mes)$ .
- A previsão dos custos energéticos do SI ( $CE_{SI\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{SI\_pe} = (p_{ee} \times eea_{total}) \times (12/mes)$ .

**Tabela 6.14 – Monitorização das variáveis dependentes do SI**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IEE_{SI\_pe}$	60 min	$IEE_{SI\_pe} > 0,9 \times 35$	(RSECE, 2006)	“O consumo específico do SI está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{SI\_pe}$	60 min	-	-	-

### 6.2.5. Sistema de Produção de AQS

Ao nível das variáveis independentes SPAQS restringem-se na essência às apresentadas na Tabela 6.15.

**Tabela 6.15 - Variáveis independentes do AQS**

Variável	Designação
$ocp_y$	Detector de ocupação do chuveiro y
$CHV_y$	Electroválvula do chuveiro y

A estratégia de controlo assenta na detecção de presença de utilizador por baixo do chuveiro. Os critérios para a monitorização dos consumos globais vêm expressos na Tabela 6.16.

**Tabela 6.16 – Monitorização das variáveis independentes do AQS**

Variável	Sigla	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
					Aviso emitido
$et_{AQS}$	D-501	60 min	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do AQS (Tabela 6.17), sendo neste caso:

- A previsão do *IEE* do AQS ( $IEE_{AQS\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $IEE_{AQS\_pe} = (0,086 \times et_{AQS} / A_{util}) \times (12/mes)$ .

- A previsão dos custos energéticos do AQS ( $CE_{AQS\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{AQS\_pe} = (p_{gn} \times et_{AQS}) \times (12/mes)$ .

**Tabela 6.17 – Monitorização das variáveis dependentes do AQS**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi Aviso emitido
$IEE_{AQS\_pe}$	60 min	$IEE_{AQS\_pe} > 0,12 \times 35$	(RSECE, 2006)	“ O consumo específico do SPAQS está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{AQS\_pe}$	60 min	-	-	-

## 7. Conclusões e perspectivas futuras

Numa sociedade onde o consumo energético tem tido um crescimento desenfreado, este trabalho consegue otimizar energeticamente um dos grandes consumidores do sector dos serviços. É possível reduzir, em termos gerais, o consumo energético, nos complexos desportivos com piscinas, em 7,4 % no sistema de climatização e os 5% no sistema de bombagem (Tabela 7.1).

**Tabela 7.1 - Variáveis da monitorização dos consumos globais**

	Consumo (tep)			Redução	Custo (€) - 2006			Redução
	EE	GN	Total		EE	GN	Total	
Global	427	203	630		135 807 €	67 959 €	203 766 €	
AVAC	88	108	195		27 840 €	36 018 €	63 859 €	
SB	143		143		45 537 €		45 537 €	
SPAQS		751	75			25 145 €	25 145 €	
SI	60		60		19 013 €		19 013 €	
Global com:	412	203	614.8	2.4%	130 973 €	57 615 €	188 587 €	7.4%
AVAC (Modelo de Controlo)	72	76.7	149		23 006 €	25 674 €	48 680 €	
Global com:	391	159	550	12.7%	124 516 €	48 174 €	172 690 €	15.3%
AVAC (Modelo de Controlo + Cobertura plano de água)	52	48	100		16 550 €	16 233 €	32 783 €	
Global com:	401	203	604	4.2%	127 346 €	67 959 €	195 305 €	4.2%
SB (Modelo de Controlo)	117		117		37 076 €		37 076 €	
Global com:	365	144	509	19.2%	116 055 €	48 174 €	164 229 €	19.4%
AVAC (Modelo de Controlo + Cobertura plano de água)	52	48	100		16 550 €	16 233 €	32 783 €	
SB (Modelo de Controlo)	117		117		37 076 €		38 076 €	

Um dos grandes contributos deste trabalho é o modelo de controlo que gere o funcionamento do sistema AVAC. Este apresenta como linha condutora a alteração das condições ambientais das naves das piscinas durante o período de encerramento, o que permite minimizar o consumo energético em 7,4%, havendo situações em que só se obtém a minimização do custo energético devido à particularidade do custo real da energia.

Foi ainda reforçada e demonstrada a aplicabilidade da cobertura do plano de água como medida de racionalização de consumos, assim como a identificação do seu potencial de poupança em 15,3%.

Pensando no sistema tarifário actual, mas com fácil adaptação para o mercado livre, foi quantificado o potencial de redução de consumos em horas de ponta em 1,5% , assim como as condições que se devem verificar para tal ocorrer.

Outra das mais-valias é a inovação criada com o modelo de controlo do sistema de bombagem, que exigiu uma interligação muito apurada de duas ciências distintas e cuja implementação requiere a instalação de variadores electrónicos de velocidade em todas as bombas.

Foi ainda possível demonstrar que se pode obter uma redução de consumo na ordem dos 4.2% e que o período de retorno deste investimento é de dois anos.

Por último, e não menos importante, foi concebido um sistema de gestão técnica genérico que permite implementar os modelos de controlo já enumerados e que permite, em tempo real, saber o contributo de cada um dos processos para o consumo global da instalação.

Para a sua concepção, foram abordadas as três áreas de intervenção típicas: estrutura física, âmbito da monitorização e especificação do controlo.

Para tal foi especificada a estrutura física que suporta este SGT, que é constituído por uma rede sensorial e de actuadores e por um conjunto de dispositivos que permitem monitorizar e/ou controlar subprocessos.

Na monitorização foram definidas regras para registo de algumas variáveis do processo e foram especificadas as condições limite a partir das quais serão emitidos avisos.

Ao nível do controlo foram implementados não só os modelos já referidos como também um modelo de escalonamento de funcionamento de bombas que garante rotatividade entre elas.

Na concepção também foram tidas em conta as ferramentas que permitem ter uma interligação com uma rede eléctrica inteligente, ou *Smart Grids*, de modo a poder interagir e ajustar o consumo da energia eléctrica em função do preço praticado.

No que respeita a trabalho futuro, haverá naturalmente margem para um melhor desenvolvimento do tema proposto, nomeadamente através dos seguintes pontos:

- Evoluir em relação ao perfil de consumo definido pelo RSECE para os CPI. A existência de pelo menos 410 CPI já permite efectuar uma caracterização exaustiva do perfil de consumo energético. Por exemplo, propunha a criação de perfis de consumo em função da área de plano de água, da zona climática, do tipo de utilizador, etc.
  
- o modelo de controlo do sistema AVAC é baseado no princípio da manutenção constante dos níveis de humidade absoluta, baseados no valores de referência. A razão principal prende-se com o facto de não degradar as condições ao nível de humidade absoluta, o que tem implicações directas na corrosão das estruturas do edifício. Estudos complementares deverão ser efectuados de modo a quantificar as condições limite da humidade absoluta. Quanto maior for a humidade absoluta maior é o potencial de poupança energética.
  
- o sistema de filtragem condiciona fortemente a eficiência do SB. Quando os filtros começam a ficar colmatados, a capacidade de débito do SB decresce significativamente, comprometendo em grande escala a garantia da qualidade da água. Para a minimização de tais efeitos propõe-se a implementação de ciclos de limpeza dos filtros, via SGT, que permitem otimizar o desempenho do SB. Será importante estabelecer o equilíbrio entre o custo associado à limpeza dos filtros, em relação ao custo de funcionamento do SB. Custo este que poderá ser correlacionado com a perda de carga do sistema hidráulico.
  
- o sistema de aquecimento da água é efectuado com recurso a permutadores de placas, com controlo da temperatura por válvula mecânica de três vias. Esta regulação afecta em muito a capacidade de débito do SB, pela perda de carga que induz. A concepção de soluções mais eficientes, ao nível do controlo e conversão, pode ser explorada assim como o potencial de integração com um SGT.





## 8. Referências

(AEC, 2004) - Architectural Energy Corporation; *VisualDOE 4.1 Media Release*; Architectural Energy Corporation ; <http://www.archenergy.com/products/visualdoe>, acessido em 3/04/2009; 2004.

(Albarracín *et al.*, 2005) - Albarracín, E.M.; Sanabria, J.; Maillo, A.; *Ahorro de Energía en Piscinas Cubiertas*; 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems; <http://www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAlbarracin-CIATESA.pdf>, acessido em 16/11/2009; 2005.

(Almeida, 2009) - Almeida, A.T.; *Motors with Adjustable Speed Drives: Testing Protocol and Efficiency Standard*; 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems; <http://www1.cetim.fr/eemods09/pages/programme/038-Brunner-final.pdf>, acessido em 16/11/2009; 2009.

(Asdrubali, 2009) - Asdrubali, F.; *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*; *Energy and Buildings* 41:311-319; 2009.

(Barbosa,1986) - Barbosa, J.N.; *Mecânica dos fluidos e hidráulica geral*; Porto Editora; 1986.

(Beleza & Costa, 2007) - Beleza, V.M.; Costa, R.M.S.S.; *Renovação do Ar e da Água em Piscinas Cobertas: sua Correlação*; III Encontro de Saúde em Piscinas; 2007.

(Berbash *et al.*, 1994) - Berbash, Y.; Chandrashekar, M.; Calamai, P.; *Technology for sustainable development: A case study of solar domestic hot water heating in Ontario*; *Energy* 20:495–510; 1994.

(Burkert, 2008) - Christian Bürkert GmbH & Co. KG; *Resistance Thermometer Pt100*; [http://www.burkert.com/products\\_data/datasheets/DSTST001-Compact-EU-EN.pdf](http://www.burkert.com/products_data/datasheets/DSTST001-Compact-EU-EN.pdf), acessido em 22/11/2011.; 2008.

(Burkert, 2012A) - Christian Bürkert GmbH & Co. KG; *Electromagnetic Flow Transmitter*; [http://www.buerkert.com/products\\_data/datasheets/DS8041-Standard-EU-EN.pdf](http://www.buerkert.com/products_data/datasheets/DS8041-Standard-EU-EN.pdf), acessido em 22/11/2011.; 2012.

(Burkert, 2012B) - Christian Bürkert GmbH & Co. KG; *Pressure transmitter for general applications, 0-25 bar*; [http://www.burkert.com/products\\_data/datasheets/DS8323-Standard-EU-EN.pdf](http://www.burkert.com/products_data/datasheets/DS8323-Standard-EU-EN.pdf), acessido em 22/11/2011.; 2012.

(Carel, 2011) - Carel Industries S.p.A.; *BMS (Building Management System) interface*; [http://www.carel.com/carelcom/web/eng/catalogo/gamma\\_dett.jsp?id\\_gamma=39&id\\_tipologia](http://www.carel.com/carelcom/web/eng/catalogo/gamma_dett.jsp?id_gamma=39&id_tipologia)

Prodotti=55&id\_mercato=1 e  
[http://www.carel.com/carelcom/web/download?nome\\_file=/carelcom/web/@extsrc/@ita\\_eng/@catalogo/@documenti/@manuali/030221100.pdf](http://www.carel.com/carelcom/web/download?nome_file=/carelcom/web/@extsrc/@ita_eng/@catalogo/@documenti/@manuali/030221100.pdf), acedido em 2/10/2011; 2011.

**(Carlson, 2000)** - Carlson, R.; The correct method of calculating energy savings to justify adjustable-frequency drives on pumps; IEEE Transactions on Industry Applications; 2000.

**(Cassan et al., 2006)** - Cassan, D.; Mercier, B.; Castex, F.; Rambaud. A.; Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool; Chemosphere 62; 2006.

**(Chemtrol, n.d.)** - Chemtrol; *CHEMTROL® PC7000*;  
<http://www.sbcontrol.com/bropc7.pdf>, acedido em 25/11/2011.; n.d..

**(Chine et al., 2007)** - Chine, A., Haddouche, A.; Haouari, K.; Bouazza, S.E.; *Energy Losses Minimization in Induction Motor by the Frequencial Regulation of the Speed* ; International Journal of Electrical and Power Engineering; <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/ijepe/2007/200-205.pdf>, acedido em 20/3/2010; 2007.

**(Clarke, 1997)** - Clarke, J.A.; *Environmental systems performance*; Universidade de Strathclyde, Glasgow, Reino Unido; 1997.

**(Clarke, 2001)** - Clarke, J.A.; *Energy simulation in building design (2nd Edition)*; Butterworth-Heinemann. ISBN 0-750-65082-6. Oxford, Reino Unido; 2001.

**(CNQ, 1993)** - Conselho Nacional da Qualidade nº23/93; *A qualidade das piscinas de uso público*; Conselho Nacional da Qualidade; 1993.

**(Coeckelenbergh et al., 2008)** - Coeckelenbergh, C.; Achten, K.; Baudin, P. (2008); *Optimizing Operational Energy Performance through Dynamic Computer Simulations*; IEEE Energy2030 Atlanta 17-18); 2008.

**(Dąbrowski et al., 2002)** - Dąbrowski, W.; Buchta, R.; Mackie, R.I.; *Calcium Carbonate Equilibria in Water Supply Systems*; 5th International Conference on Hydro-Science and Engineering; 2002.

**(Dardour et al., 2009)** - Dardour, H.; Mazouz, S.; Bellagi, A.; *Numerical Analysis of Plate Heat Exchanger Performance in Co-Current Fluid Flow Configuration*; International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering; 2009.

**(DGEG, 2004)** - Direcção Geral de Energia e Geologia; Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial; DGEG; 2004.

**(DGEG, 2010A)** - Direcção Geral de Energia e Geologia; *Preços Médios do Gás Natural no Sector Indústria*; <http://www.dgge.pt?cr=8637>, acedido em 13/5/2010; 2010.

**(DGEG, 2010B)** - Direcção Geral de Energia e Geologia; *Preços Médios de Energia Eléctrica no sector indústria*; <http://www.dgge.pt?cr=8810>, acedido em 13/5/2010; 2010.

**(DHHS, 2005)** - Department of Health and Human Services; *Swimming pool and spa manual and operators course*; Nebraska Government; <http://www.nlc.state.ne.us/epubs/H8353/H001-2005.pdf>, acedido em 9/12/2009; 2005.

**(DHSS, 2003)** - Department of Health & Social Services; *4464 Public Swimming Pools*; State of Delaware Regulations; <http://regulations.delaware.gov/AdminCode/title16/4000/4400/4464.shtml>, acedido em 9/12/2009; 2003.

**(Donald & Gatley, 2004)** - Donald, P.; Gatley, P.E.; *Psychrometric Chart Celebrates 100th Anniversary*; ASHRAE Journal 46(11):16-20; <http://bookstore.ashrae.biz/journal/download.php?file=22915gatley.pdf>, acedido em 21/4/2010; 2004.

**(Doppelbauer, 2009)** - Doppelbauer, M.; *Guide for the Selection and Application of Energy-efficient Motors*; 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems; <http://www1.cetim.fr/eemods09/pages/programme/003-Doppelbauer-final.pdf>, acedido em 16/11/2009; 2009.

**(EC, 2002)** - European Community; *Energy consumption in the services sector Surveys of EU Member States*; Official Publications of the European Communities; [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-43-02-042/EN/KS-43-02-042-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-43-02-042/EN/KS-43-02-042-EN.PDF), acedido em 24/1/2013; 2002.

**(EC, 2012)** - European Community; *Energy - Country Factsheets*; Statistics & Market observatory; <http://ec.europa.eu/energy/observatory/countries/doc/2012-country-factsheets.pdf>, acedido em 9/12/2012; 2012.

**(ERSE, 2010)** - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; *Tarifas e preços para a energia eléctrica e outros serviços em 2006 e Parâmetros para o período de regulação 2006-2008*; <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/Documents/TVCF2006/DOCUMENTOFINALDez.pdf>, acedido em 15/11/2010; 2010.

**(ESRU, 2002)** - Energy Systems Research Unit; *The ESP-r System for Building Energy Simulation: User Guide Version 10 Series*; University of Strathclyde, Glasgow, Escócia; [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/ESP-r\\_userguide.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/ESP-r_userguide.pdf), acedido em 3/04/2008; 2002.

**(ESRU, 2004)** - Energy Systems Research Unit; *ESP-r Overview*; University of Strathclyde, Glasgow, Escócia; [http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r\\_overview.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm), acedido em 3/04/2009; 2009.

**(Fantuzzi et al., 2001)** - Fantuzzi, G.; Righi, E.; Predieri, G.; Ceppelli, G.; Gobba, F.; Aggazzotti, G.; *Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools*; The Science of the Total Environment 264; 2001.

**(Fernandes et al., 2005)** - Fernandes, M. R.; Lima, A.M.; Melo, H.N.; *Determinação do Índice de Larson e de saturação em uma lagoa poluída com efluentes oriundos da produção de petróleo*; 2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás; <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/6165.pdf>, acedido em 8/2/2010; 2005.

**(Flexim, 2010)** - Flexim Group; *Precision Ultrasonic Flow and Chiller Plants Thermal Energy Meters*; [www.flexim.com/files/bubtuv1-1en.pdf](http://www.flexim.com/files/bubtuv1-1en.pdf), acedido em 22/11/2011.; 2010.

**(Grundfos, 2006)** - Grundfos Group; *Grundfos Industry - Pump handbook*; Grundfos; <http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/downloads/pumphandbook.pdf> e <http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/documentation.html>, acedido em 8/2/2010; 2006.

**(Grundfos, 2007)** - Grundfos Group; *Grundfos - SP Engineering Manual*; Grundfos; <http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/downloads/engineering-manual.pdf> e <http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/documentation.html>, acedido em 8/2/2020; 2007.

**(Grundfos, 2008)** - Grundfos Group; *Grundfos - Pump handbook*; Grundfos; [http://www.us.grundfos.com/web/download.nsf/Pages/B92DAE4D5D726E2A882574B30070ACD2/\\$File/L-IND-HB-01.pdf](http://www.us.grundfos.com/web/download.nsf/Pages/B92DAE4D5D726E2A882574B30070ACD2/$File/L-IND-HB-01.pdf) e <http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/documentation.html>, acedido em 8/2/2010; 2008.

**(Haby, 2010)** - Haby, J.; *Shortcut to Calculating Wet-Bulb*; THE ULTIMATE WEATHER EDUCATION WEBSITE; <http://www.rhsystems.net/papers/its90form.pdf>, acedido em 11/5/2010; 2010.

**(Hach, 2013)** - Hach Company; *APA6000 Low Range Hardness Analyzer, Range 50 to 10,000 ug/L*; <http://www.hach.com/apa6000-low-range-hardness-analyzer-range-50-to-10-000-ug-l/product-details?id=7640279927>, acedido em 17/02/2013; 2013.

**(Hager, 2011)** - Hager Group; *Energy Efficiency through Lighting Management - 2011 Catalogue*;

[http://download.hager.com/hager.in/files\\_download/Catalog/E2LM\\_Catalogue\\_1.pdf](http://download.hager.com/hager.in/files_download/Catalog/E2LM_Catalogue_1.pdf), acessido em 26/11/2011; 2011.

**(Hameiria et al., 2009)** - Hameiria, Z.; Spooner, T.; Sproula, A.B.; *High efficiency pool filtering systems utilising variable frequency drives*; Renewable Energy 34:450–455; 2009.

**(Hepbasli & Kalinci, 2009)** - Hepbasli, A.; Kalinci, Y.; *A review of heat pump water heating systems*; Renewable and Sustainable Energy Reviews; 2009.

**(Hery et al., 1994)** - Hery, M.; Hecht, G.; Gerber, J.M.; Gendre, J.C.; Hubert, G.; Blachere, V.; Rebuffaud, J.; Dorotte, M.; *Exposition aux chloramines dans les atmospheres des halls de piscines*; Chieres de notes documentaries INRS, n° 156 (285-292); 1994.

**(Holloway, 2010)** - Holloway, J.; *Chapter 8 - Dimmers and Lighting Control*; Illustrated Theatre Production Guide (Second Edition), Elsevier; [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ImageURL&\\_imagekey=B6MF5-4YY31GT-1N-1T&\\_cdi=1297&\\_user=10&\\_pii=B9780240812045000089&\\_check=y&\\_origin=search&\\_coverDate=07%2F07%2F2010&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkzS&md5=15e46dbcf4e7cc9580a6677bfc66f15c&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ImageURL&_imagekey=B6MF5-4YY31GT-1N-1T&_cdi=1297&_user=10&_pii=B9780240812045000089&_check=y&_origin=search&_coverDate=07%2F07%2F2010&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkzS&md5=15e46dbcf4e7cc9580a6677bfc66f15c&ie=/sdarticle.pdf), acessido em 7/10/2010; 2010.

**(Hyland & Wexler, 1983)** - Hyland, R. W.; Wexler, J.; Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H<sub>2</sub>O from 173.15 K to 473.15 K; ASHRAE Transactions 89(2A):500-19; 1983.

**(Intech, n.d.)** - Intech Instruments LTD; *TWN-LUX Light Sensor*; <http://www.intech.co.nz/products/plc/twnlux/TWN-LUX.pdf>, acessido em 26/11/2011.; n.d..

**(Inverno et al., 2004)** - Inverno, A.C.; Lamarão, A.H.; Ruivo, C.R.; *Comportamento Térmico de uma Piscina Coberta – Controlo da Evaporação*; Workshop-Utilização de Colectores Solares em Infra-Estruturas Turísticas; 2004.

**(IPQ, 2007)** - NP 4448; Instituto Português da Qualidade; Norma NP 4448:2006 - Aquecimento solar, Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas, Regras de dimensionamento, concepção e instalação; Instituto Português da Qualidade; 2007.

**(IPQ, 2009A)** - NP EN 15288-1; Instituto Português da Qualidade; *NP EN 15288-1:2009 - Piscinas Parte 1: Requisitos de segurança para a concepção*; Instituto Português da Qualidade; 2009.

**(IPQ, 2009B)** - NP EN 15288-2; Instituto Português da Qualidade; *NP EN 15288-2:2009 - Piscinas Parte 2: Requisitos de segurança para o funcionamento*; Instituto Português da Qualidade; 2009.

**(Izquierdo et al., 2008)** - Izquierdo, M.D.Z.; Jiménez, J.J.S.; Sol, A.M.; Matlab Software to Determine the Saving in Parallel Pumps Optimal Operation Systems, by Using Variable Speed ; IEEE Energy 2030 Conference, 1-8; 2008.

**(Johansson & Westerlund, 2001)** - Johansson, L.; Westerlund, L.; *Energy savings in indoor swimming pools: comparison between different heat-recovery systems*; Applied Energy 70:281–303; 2001.

**(Jones, 2001)** - Jones, W. P.; *Air conditioning engineering*; Butterworth-Heinemann; 2001.

**(Kayacan et al. , 2010)** - Kayacan, E.; Ulutas, B.; Kaynak, O.; *Grey system theory-based models in time series prediction*; Expert Systems with Applications; 2010.

**(Kumar, 2009)** - Kumar, J.N.; *Ahorro de energia en piscinas cubiertas*; Publicação CIATESA; <http://www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAlbarracin-CIATESA.pdf>, acedido em 7/10/2008; 2009.

**(Lacerda, 2007)** - Lacerda, H.; *Previsão do Comportamento Térmico de um Complexo de Piscinas Interiores*; Projecto de Investigação - Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; 2007.

**(Lam & Chan, 2001)** - Lam, J.C.; Chan, W.W.; *Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools*; Energy Conversion and Management 42:1299–1306; 2001.

**(Langelier, 1936)** - Langelier, W.H.; *The analytical control of anti-corrosion water treatment*; Journal AWWA 28(10):1500-1521; 1936.

**(Laszczyk & Richalet, 1999)** - Laszczyk, P.; Richalet, J.; *Application of Predictive Control to a Heat Exchanger*; Dynamic Control and Management Systems in Manufacturing Processes; 1999.

**(Lawrence, 2005)** - Lawrence, M.G.; *The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air - A Simple Conversion and Applications*; AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY; <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-86-2-225>, acedido em 20/5/2010; 2005.

**(Lazzarin & Longo, 1994)** - Lazzarin, R.M.; Longo, G.A.; *Comparison of heat recovery systems in public indoor swimming pools*; Applied Thermal Engineering DOI:10.1016/1359-4311(95)00059-3; 1994.

**(Lee & Kung, 2008)** - Lee, W.L.; Kung, C.K.; *Optimization of heat pump system in indoor swimming pool using particle swarm algorithm*; Applied Thermal Engineering 28:1647–1653; 2008.

**(Leephakpreed, 2005)** - Leephakpreed, T.; *Adaptive Occupancy-based Lighting Control via Grey Prediction*; Building and Environment 40:881-886; 2005.

**(Lianzhonga, & Zaheeruddina, 2008)** - Lianzhonga, L.; Zaheeruddina, M.; *Dynamic modeling and fuzzy augmented PI control of a high-rise building hot water heating system*; Energy for Sustainable Development 12:49-55; 2008.

**(LNEG, 2010)** - Laboratório Nacional de Energia e Geologia; *SolTerm - Análise de desempenho de sistemas solares*; Software distribuído pelo LNEG; 2010.

**(Lourencettia et al., 2010)** - Lourencettia, C.; Ballester, C.; Fernández, P.; Marcoa, E.; Pradob, C.; Periagob, J.F.; Grimalta, J.O.; *New method for determination of trihalomethanes in exhaled breath: Applications to swimming pool and bath environments*; Analytica Chimica Acta, Doi: 10.1016/j.aca.2009.12.040.; 2010.

**(Maile et al., 2007)** - Maile, T.; Fischer, M.; Bazjanac, V.; *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*; Working Paper WP107, Stanford University; <http://www-leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP107.pdf>, acedido em 31/01/2008; 2007.

**(Mallika et al., 2008)** - Mallika, P.; Sarisak, S.; Pongsri, P.; *Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water*; Journal of Environmental Sciences 2008, 372-380; 2008.

**(Mandin et al., 2003)** - Mandin, C.; Meininghaus, R.; Cicolella, A.; Use of a sensory irritation potential index to characterize improvement of indoor air quality in French schools by ventilation; Proceedings of Healthy Buildings 2003 Conference 2:388-391; 2003.

**(Marques, 2009)** - Marques, J.L.; *Manutenção da Água das Piscinas*; IV Encontro de Saúde em Piscinas; 2009.

**(Martínez, 1994)** - Martínez, A.T.; *On the evaluation of the wet bulb temperature as a function of dry bulb temperature and relative humidity*; Atmósfera 7:179-184; <http://www.ejournal.unam.mx/atm/Vol07-3/ATM07304.pdf>, acedido em 16/3/2009; 1994.

**(Matos et al., 2006)** - Matos, A.; Alves, S.; Duarte, M.E.; Pacheco, P.; Pires, A.F.; *Evaluation of the Indoor Air Quality in Swimming Pools*; Proceedings of Healthy Buildings 2006 Conference; 2006.

**(Matos, 2007)** - Matos, A.; *Avaliação da Qualidade do Ar em Piscinas Cobertas*; III Encontro de Saúde em Piscinas; 2007.

**(Matthew, 2009)** - Matthew, J.D. ; *A TRaNsient SYstems Simulation Program*; University of Wisconsin-Madison; <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>, acedido em 3/04/2009; 2009.



**(Omron, 2002)** - Omron Corporation; *Frequency inverters*; <http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Motion%20and%20Drives/Frequency%20Inverters/Pumps%20&%20Fans/E7/I21E/I21E-EN-02+Varispeed-E7+Datasheet.pdf>, acedido em 25/11/2011; 2002.

**(Omron, 2011)** - Omron Corporation; *Compact Photoelectric Sensor with Built-in Amplifier*; [http://www.ia.omron.com/data\\_pdf/data\\_sheet/e3z\\_ds\\_csm438.pdf](http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/e3z_ds_csm438.pdf), acedido em 26/11/2011; 2011.

**(Pedersen & Yang, 2008)** - Pedersen, K.M.; Yang, Z.; *Efficiency Optimization of a MultiPump Booster System*; Proceeding of: Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2008; <ftp://ftp.cs.bham.ac.uk/snapshot/hourly.5/pub/authors/W.B.Langdon/biblio/gecco2008/docs/p1611.pdf>, acedido em 16/11/2009; 2008.

**(Pedrini, 2003)** - Pedrini, A.; *Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate*; Universidade de Queensland, Austrália; 2003.

**(Perkins, 2000)** - Perkins, P.H.; *Swimming Pools*; Taylor & Francis e-Library; 2000.

**(Pires & Matos, 2006)** - Pires, A.F.; Matos, A. (2006); *Indoor Air Quality in Swimming Pools, Occupants Assessment*; Proceedings of Healthy Buildings 2006 Conference; 2006.

**(Pirilä et al., 2003)** - Pirilä, P.Y.; Jauhiainen, T.; Kujanpää, L.; Hirvonen, A.; Halonen, R.; Reiman, M.; Kokotti, H.; Raunemaa, T.; *Survey of indoor air quality in three indoor swimming pools*; Proceedings of Healthy Buildings 2003 Conference 2:568-573; 2003.

**(Raj, 2009)** - Raj, C.T.; *Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor - A Review*; International Journal of Computer and Electrical Engineering 1:1793-8198; 2009.

**(Ren, 2004)** - Ren, He-Sheng ; *Construction of a generalized psychrometric chart for different pressures*; Journal of Mechanical Engineering Education 32:212-222; [http://www.manchesteruniversitypress.co.uk/uploads/docs/s3\\_13.pdf](http://www.manchesteruniversitypress.co.uk/uploads/docs/s3_13.pdf), acedido em 18/3/2009; 2004.

**(Rodrigues, 2007)** - Rodrigues, P.; *Climatização de Recintos com Piscinas Interiores – Eficiência Energética*; Projecto de Investigação - Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; 2007.

**(Roriz, 2006)** - Roriz, L.; *Climatização - Concepção, Instalação e Condução de Sistemas*; Edições Orion - Portugal; 2006.

**(RSECE, 2006)** - Decreto-lei nº79, de 4 de Abril de 2006, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações; *Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*; Decreto-Lei Nº 79/06; 2006.

**(Ruiz & Martínez, 2010)** - Ruiz, E.; Martínez, P.J.; Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model; *Solar Energy* 84:116–123; 2010.

**(S+S, 2010)** - S+S Regeltechnik GmbH; *Room ozone sensor (O3)*; <http://www.spluss.eu/5-air-quality-sensor-flow/16-air-quality-sensor-co2-sensor/66-room-ozone-sensor-o3/123-ro3/en>, acedido em 22/11/2011; 2010.

**(S+S, 2012)** - S+S Regeltechnik GmbH; *Duct air quality sensor (VOC)*; <http://www.spluss.eu/5-air-quality-sensor-flow/16-air-quality-sensor-co2-sensor/60-duct-air-quality-sensor-voc/en>, acedido em 2/10/2012; 2012.

**(SAHC, 1992)** - South Australian Health Commission, Department of Human Services; *Inspection and Maintenance of Swimming Pools and Spa Pools in South Australia*; South Australian Government; <http://www.health.sa.gov.au/pehs/publications/code-swimpool-insp-maint.pdf>, acedido em 9/12/2009; 1992.

**(Sargent, 1980)** - Sargent, G.P.; Computation of vapour pressure, dew-point and relative humidity from dry- na wet- bulb temperature; *Meteorology Magazine*; 1980.

**(Schneider, 2006)** - Schneider Electric Industries SAS; *Power Meter Series PM9*; [http://www.shmcomms.co.uk/images/PDFs/Man\\_Sch\\_Inst\\_PM9C.pdf](http://www.shmcomms.co.uk/images/PDFs/Man_Sch_Inst_PM9C.pdf), acedido em 22/11/2011.; 2006.

**(Selbas et al., 2009)** - Selbas, R.; Sencan, A.; Kılıç, B.; *Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger*; *Heat and Mass Transfer* 45:323-329; 2009.

**(Shah, 1992)** - Shah, M.M.; *Calculating evaporation from pools and tanks*; *Heating Piping Air Conditioning* 64:69-71; 1992.

**(Shah, 2003)** - Shah, M.M.; *Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools*; *Energy and Buildings* 36:707–713; 2003.

**(Shah, 2004)** - Shah, M.M.; *Calculating Evaporation From Indoor Water Pools*; *HPAC Engineering* 76:21-29; 2004.

**(Shah, 2011)** - Shah, M.M.; *Simplified Method of Calculating Evaporation From Swimming Pools*; *HPAC Engineering* 83:38-48; <http://www.hpac.com/humidification-dehumidification/simplified-calculating-evaporation-1011>, acedido em 25/4/2011; 2011.

**(Siemens, 2005)** - Siemens Building Technologies; *Outside temperature Sensors*; [http://cn.siemens.com/cms/cn/English/SBT/downloading/HVAC\\_Product\\_Home/Temperature\\_Sensor\\_Home/Documents/Shiwai/2010.pdf](http://cn.siemens.com/cms/cn/English/SBT/downloading/HVAC_Product_Home/Temperature_Sensor_Home/Documents/Shiwai/2010.pdf), acedido em 22/11/2011; 2005.

**(Siemens, 2006A)** - Siemens Building Technologies; *Duct Temperature Sensors*; [https://hit.sbt.siemens.com/HIT/DB/HQEU/en/Assets/10859\\_Data%20Sheet%20for%20Product\\_Duct%20temperature%20sensors%20QAM2161.040,%20QAM2171.040\\_en.pdf](https://hit.sbt.siemens.com/HIT/DB/HQEU/en/Assets/10859_Data%20Sheet%20for%20Product_Duct%20temperature%20sensors%20QAM2161.040,%20QAM2171.040_en.pdf), acedido em 22/11/2011; 2006.

**(Siemens, 2006B)** - Siemens Building Technologies; *Duct Air Quality Sensors*; [https://www.siemens.be/cmc/upload/cms/docs/sbt/hvac/Brochures\\_Datasheets\\_manuals/FR/08\\_Sondes\\_Symaro/Datasheets/N1962\\_QPM21...\\_EN.pdf](https://www.siemens.be/cmc/upload/cms/docs/sbt/hvac/Brochures_Datasheets_manuals/FR/08_Sondes_Symaro/Datasheets/N1962_QPM21..._EN.pdf), acedido em 22/11/2011; 2006.

**(Siemens, 2009A)** - Siemens Building Technologies; *Q-Series Duct Relative Humidity and Relative Humidity & Temperature Sensors*; <http://www.us.sbt.siemens.com/sbttemplates/library/pdf/149991.pdf>, acedido em 22/11/2011; 2009.

**(Siemens, 2009B)** - Siemens Building Technologies; *Q-Series Outdoor Air Relative Humidity and Relative Humidity & Temperature Sensors*; <http://www.us.sbt.siemens.com/sbttemplates/library/pdf/129416.pdf>, acedido em 22/11/2011; 2009.

**(Silva et al., 2006)** - Silva, M.; Pires, J.; Fernandes, E.; Alexandre, J.; *Piscina Energeticamente Eficiente*; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial; 2006.

**(Sonntag, 1990)** - Sonntag, D.; Important new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90 and Psychrometer formulae; *Zeitschrift fur Meteorologie*; <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/viewfile/Atlas/SctEnvSoftware?rev=1;filename=Sonntag90.pdf>, acedido em 11/5/2010; 1990.

**(Spenser, 2003)** - Spenser, S.T.; *Colectores Solares para Aquecimento de Água – Pavilhões Desportivos e Piscinas*; Workshop Colectores Solares em Equipamentos Municipais; [http://www.aguaquentesolar.com/noticiaseventos/e4/IP-AQSpP\\_Spencer.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/noticiaseventos/e4/IP-AQSpP_Spencer.pdf), acedido em 11/5/2009; 2003.

**(Stachecki & Haan, 1997)** - Stachecki, J.; Haan, W.; *Swimming Pool Pest Management: A Training Guide for Commercial Pesticide Applicators & Swimming Pool Operators*; Kent County Health Department;

<http://www.pested.msu.edu/Resources/bulletins/pdf/2621/E2621.pdf>, acedido em 20/3/2010; 1997.

**(Stack et al., 2000)** - Stack, M.A.; Fitzgerald, G.; O'Connell, S.; James, K.J.; Measurement of trihalomethanes in potable and recreational waters using solid phase micro extraction with gas chromatography-mass spectrometry; *Chemosphere* 41:1821-1827; 2000.

**(Szokolay, 2004)** - Szokolay, S.V.; *Solar Energy in Buildings*; Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition); 2004.

**(Taesler, 1991)** - Taesler, R.; *Climate and building energy management*; Energy and Buildings 15:599-608; 1991.

**(Thur et al., 2006)** - Thur, A.; Furbo, S.; Shah, L.J.; *Energy savings for solar heating systems*; Solar Energy 80:1463-1474; 2006.

**(TIDSL, 2011)** - The Inverter Drive Supermarket Limited ; *The Inverter Drive Supermarket*; <http://www.inverterdrive.com/cart.aspx>, acedido em 18/1/2011; 2011.

**(Titan, 2009)** - Titan Products Ltd; *CARBON MONOXIDE SENSOR: TPCO/WM & TPCO/DS*; <http://www.titanproducts.com/download/datasheets/49.pdf>, acedido em 22/11/2011.; 2009.

**(Trianti-Stournaa et al., 1998)** - Trianti-Stournaa, E.; Spyropouloub, K.; Theofylaktosa, C.; Droutsac, K.; Balarasc, C.A.; Santamourisa, M.; Asimakopoulosc, D.N.; Lazaropouloua, G.; Papanikolaoua, N.; *Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools*; Energy and Buildings 27:123–135; 1998.

**(USDE, 2006)** - United States Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy ; *A Consumer's Guide to Energy Efficiency and Renewable Energy - Swimming Pool Covers*; US Department of Energy; [http://www.eere.energy.gov/consumer/your\\_home/water\\_heating/index.cfm/mytopic=13140](http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/water_heating/index.cfm/mytopic=13140), acedido em 8/11/2006; 2006.

**(Vasconcelos & Duarte, 2006)** - Vasconcelos, J.L.C.; Duarte, A.A.L.S.; *Tratamento da água de piscinas públicas : análise comparativa de sistemas de desinfecção aplicada a um caso de estudo*; Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental (APESB); [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6149/4/Aduarte\\_12%c2%baENaASB\\_2006.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6149/4/Aduarte_12%c2%baENaASB_2006.pdf), acedido em 20/3/2010; 2006.

**(Venkannah, 2002)** - Venkannah, S.; Reducing fuel consumption and CO2 emission by properly selecting the parameters for pool heating; 6th IEEE AFRICON; 2002.

**(Vernier, 2001)** - Vernier Software & Technology, LLC; *Sensor DAQ Specifications*; <http://www.vernier.com/files/manuals/sdaq-specifications.pdf>, acedido em 25/11/2011.; 2001.

**(Vernier, 2012A)** - Vernier Software & Technology, LLC; *Conductivity Probe*; <http://www.vernier.com/files/manuals/con-bta.pdf>, acedido em 25/11/2012; 2012.

**(Vernier, 2012B)** - Vernier Software & Technology, LLC; *Ion Selective Electrodes*; <http://www.vernier.com/files/manuals/ise-bta.pdf>, acedido em 25/11/2012; 2012.

**(Vernier, 2013)** - Vernier Software & Technology, LLC; *pH Sensor*; <http://www.vernier.com/files/manuals/ph-bta.pdf>, acedido em 17/02/2013; 2013.

**(Viholainen et al., 2009)** - Viholainen, J.; Kortelainen, J.; Ahonen, T.; Aranto, N.; Vakkilainen, E.; *Energy-efficiency in Variable Speed Drive (VSD) controlled parallel pumping*; 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems; <http://www1.cetim.fr/eemods09/pages/programme/006-Viholainen-final.pdf>, acedido em 16/11/2009; 2009.

**(WHO, 2000)** - World Health Organization ; *Air Quality Guidelines for Europe*; World Health Organization Regional Office for Europe; [http://www.euro.who.int/air/activities/20050223\\_4](http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4), acedido em 13/11/2006; 2006.

**(Woolley et al., 2011)** - Woolley, J.; Harrington, C; Modera, M.; *Swimming pools as heat sinks for air conditioners: Model design and experimental validation for natural thermal behavior of the pool*; *Building and Environment* 20:1-9; 2011.

**(Yamaguchi & Tomioka, 2003)** - Yamaguchi, M.; Tomioka, K.; *The application of semiconductor-based odour sensors capable of measuring and evaluating indoor air quality*; *Proceedings of Healthy Buildings 2006 Conference*; 2003.

**(Yang et al., 2005)** - Yang, X.; Yang, G.; Hu, Z.; Wang, Y.; *Plate heat exchanger temperature computer control system*; *Heat and Mass Transfer* 30:279-282; 2005; .

## ANEXOS

### Anexo A - Perfis de consumo

Este anexo é dedicado à apresentação do perfil de consumo energético da UE e de Portugal (EC, 2012) ao longo de duas décadas.

Em relação à EU, o consumo energético de 1990 a 2010 vem representado na Tabela A1.1.

**Tabela A.1 – Evolução do consumo de energia final na UE**

Ano	Total (MTep)	Sector									
		Indústria		Transportes		Doméstico		Serviços		Outros	
1990	1076.5	366.6	34.1%	281.4	26.1%	273.5	25.4%	107.8	10.0%	47.2	4.4%
1991	1083.4	347.4	32.1%	283.8	26.2%	289.5	26.7%	114.4	10.6%	48.3	4.5%
1992	1054.5	326.8	31.0%	292.1	27.7%	279.6	26.5%	111.5	10.6%	44.5	4.2%
1993	1057.2	317.9	30.1%	295.4	27.9%	288.5	27.3%	111.1	10.5%	44.3	4.2%
1994	1052	321.1	30.5%	298.8	28.4%	278	26.4%	111.5	10.6%	42.6	4.0%
1995	1070.7	328.2	30.7%	302.7	28.3%	281.7	26.3%	114	10.6%	44.1	4.1%
1996	1117.9	329.9	29.5%	312.9	28.0%	306.1	27.4%	124.1	11.1%	44.9	4.0%
1997	1105.9	331.3	30.0%	318.5	28.8%	294.5	26.6%	118.7	10.7%	42.9	3.9%
1998	1114.1	325.7	29.2%	330.5	29.7%	294.8	26.5%	120.9	10.9%	42.2	3.8%
1999	1112.3	318.6	28.6%	339.8	30.5%	290.2	26.1%	123.8	11.1%	39.9	3.6%
2000	1120.9	329.7	29.4%	341.4	30.5%	292.2	26.1%	115.5	10.3%	42.1	3.8%
2001	1145	328.9	28.7%	344.7	30.1%	301.6	26.3%	127.3	11.1%	42.5	3.7%
2002	1132.2	325.4	28.7%	347.6	30.7%	292.9	25.9%	125	11.0%	41.3	3.6%
2003	1171.5	338	28.9%	352.7	30.1%	298.5	25.5%	131.3	11.2%	51.0	4.4%
2004	1186.4	336.1	28.3%	363	30.6%	302	25.5%	133.9	11.3%	51.4	4.3%
2005	1191.4	331.5	27.8%	366.7	30.8%	303	25.4%	135.9	11.4%	54.3	4.6%
2006	1192	324.3	27.2%	374.4	31.4%	300.2	25.2%	138.6	11.6%	54.5	4.6%
2007	1165.4	323.1	27.7%	379.8	32.6%	284.8	24.4%	135.7	11.6%	42.0	3.6%
2008	1173.7	312.7	26.6%	377.6	32.2%	296.9	25.3%	144.1	12.3%	42.4	3.6%
2009	1112.2	267.8	24.1%	366.9	33.0%	294.3	26.5%	143.3	12.9%	39.9	3.6%
2010	1153.3	291.6	25.3%	365.2	31.7%	307.3	26.6%	152.4	13.2%	36.8	3.2%
Taxa de Variação	7.1%	-20.5%		29.8%		12.4%		41.4%		-22.0%	

A evolução do consumo energético em Portugal, no período homólogo, vem representada na Tabela A1.2.

**Tabela A.2 – Evolução do consumo de energia final em Portugal**

Ano	Total (MTep)	Sector									
		Indústria		Transportes		Doméstico		Serviços		Outros	
1990	11.8	4.7	39.8%	3.7	31.4%	2.3	19.5%	0.6	5.1%	0.5	4.2%
1991	12.3	4.8	39.0%	4	32.5%	2.4	19.5%	0.6	4.9%	0.5	4.1%
1992	12.7	4.8	37.8%	4.3	33.9%	2.4	18.9%	0.7	5.5%	0.5	3.9%
1993	12.8	4.7	36.7%	4.5	35.2%	2.5	19.5%	0.7	5.5%	0.4	3.1%
1994	13.4	4.9	36.6%	4.7	35.1%	2.5	18.7%	0.8	6.0%	0.5	3.7%
1995	13.7	4.9	35.8%	4.9	35.8%	2.6	19.0%	0.9	6.6%	0.4	2.9%
1996	14.5	5	34.5%	5.1	35.2%	2.7	18.6%	0.9	6.2%	0.8	5.5%
1997	15.1	5.4	35.8%	5.3	35.1%	2.7	17.9%	1.1	7.3%	0.6	4.0%
1998	16.1	5.8	36.0%	5.7	35.4%	2.7	16.8%	1.2	7.5%	0.7	4.3%
1999	16.8	6	35.7%	6.1	36.3%	2.8	16.7%	1.3	7.7%	0.6	3.6%
2000	17.7	6.3	35.6%	6.5	36.7%	2.8	15.8%	1.4	7.9%	0.7	4.0%
2001	18	6.2	34.4%	6.6	36.7%	2.9	16.1%	1.9	10.6%	0.4	2.2%
2002	18.4	6.3	34.2%	6.8	37.0%	3	16.3%	1.9	10.3%	0.4	2.2%
2003	18.4	5.8	31.5%	7.1	38.6%	3.1	16.8%	1.8	9.8%	0.6	3.3%
2004	18.9	5.9	31.2%	7.3	38.6%	3.2	16.9%	1.9	10.1%	0.6	3.2%
2005	19	5.9	31.1%	7.1	37.4%	3.2	16.8%	2.2	11.6%	0.6	3.2%
2006	18.7	5.8	31.0%	7.2	38.5%	3.2	17.1%	2	10.7%	0.5	2.7%
2007	19	5.9	31.1%	7.3	38.4%	3.2	16.8%	2	10.5%	0.6	3.2%
2008	18.5	5.6	30.3%	7.4	40.0%	3.1	16.8%	2	10.8%	0.4	2.2%
2009	18.3	5.2	28.4%	7.3	39.9%	3.2	17.5%	2	10.9%	0.6	3.3%
2010	18.2	5.4	29.7%	7.4	40.7%	3	16.5%	1.9	10.4%	0.5	2.7%
Taxa de Variação	54.2%	14.9%		100.0%		30.4%		216.7%		0.0%	

## Anexo B - Complexos desportivos com piscina existentes em Portugal

O levantamento aproximado do número de complexos desportivos com piscina(s) coberta(s) existente em Portugal vem apresentado, de uma forma detalhada, neste anexo. É de referir que este trabalho foi efectuado no início de 2013 e com especial incidência nos complexos municipais existentes em Portugal. A caracterização ao nível distrital vem expressa na Tabela A2.3, sendo contabilizada por concelho em cada distrito e apresentada nas Tabelas A2.4 a A2.23.

**Tabela B.1 – Número de complexos desportivos com piscinas por distrito**

Distrito	Nº Complexos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Lisboa	65	109	1
Porto	45	87	4
Aveiro	30	54	7
Viseu	26	36	30
Setúbal	24	36	9
Santarém	23	41	24
Leiria	23	36	5
Coimbra	22	39	12
Braga	18	29	7
Portalegre	15	17	20
Guarda	15	26	28
Faro	15	34	10
Viana do Castelo	15	22	2
Évora	14	16	34
Beja	13	15	17
Vila Real	12	15	9
Castelo Branco	11	17	22
Bragança	10	16	18
Madeira	8	16	4
Açores	7	10	0
Total	411	671	263

**Tabela B.2 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Lisboa**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alenquer	Complexo Municipal Victor Santos	2	2
Amadora	Complexo de Piscinas da Reboleira	3	
	Piscina Municipal Primeira Braçada	2	
Arruda dos Vinhos	Piscina Municipal de Aprendizagem de Arruda dos Vinhos	1	
Azambuja	Piscinas da Azambuja	2	
Cadaval	Piscina Municipal do Cadaval	2	
Cascais	Piscinas ABVE - Alapraia	1	
	Piscinas Municipais da Abóboda	2	
	Piscinas Municipais de Alcabideche	2	
Lisboa	Complexo Desportivo do CNN	1	1
	Complexo de Piscinas EDP	2	
	Piscinas do Multidesportivo do Sporting	2	
	Estádio Universitário de Lisboa	3	
	Piscina Municipal do Rego	2	
	Centro Desportivo Universitário de Lisboa	3	



	Complexo da Lapa - IND	1	
	Instalações Desportivas da Junta de Freguesia de Benfica	1	
	Piscina do Inatel	2	
	Piscina do Mega Craque Clube	1	
	Piscina Municipal da Ameixoeira	2	
	Piscina Municipal de Campo de Ourique	2	
	Piscina Municipal do Casal Vistoso	1	
	Piscina Municipal Vale Fundão	2	
	Clube Nacional de Natação	1	
	Olaias Clube	1	1
	Piscinas Municipais de Lisboa	2	
	Piscina do Instituto Superior Técnico	1	
	Piscina Municipal Bairro Boavista	1	
	Piscina Municipal de Alfama	1	
	Piscina Municipal do Alvito	2	
	Piscina Municipal do Oriente	2	
	Piscina Municipal do Restelo	2	
Loures	Piscina Municipal de Loures	2	
	Piscina Municipal Sto António Cavaleiros	3	
	Piscinas Municipais da Portela	2	
	Complexo de Piscinas de Santa Iria da Azóia	2	
Lourinhã	Piscina Municipal da Lourinhã	2	
	Piscina Municipal de Marteleira	1	
	Piscinas para o Desenvolvimento de Cabeça Gorda	1	
Mafra	Parque Desportivo Municipal Eng.º Ministro dos Santos	1	1
	Piscinas Municipais da Venda do Pinheiro	2	
	Piscinas Municipais da Azueira	2	
	Piscinas Municipais da Ericeira	2	
	Piscinas Municipais da Encarnação	2	
Odivelas	Piscina Municipal de Odivelas	2	
Oeiras	Estádio Náutico Rodrigo Bessone Basto	2	
	Piscinas do Centro Desportivo Nacional do Jamor	2	
	Piscina da Escola Náutica Infante Dom Henrique	1	
	Piscina Municipal de Barcarena	1	
	Piscina Municipal de Linda-a-Velha	1	
	Piscina Municipal de Outurela / Portela	2	
Sintra	Piscina Municipal de Aqualva	1	
	Piscina Municipal de Colares	2	
	Piscina Municipal de Massamá	1	
	Piscina Municipal de Santa Maria e São Miguel	1	
	Piscina Municipal de S. Pedro de Penaferrim	1	
	Complexo Desportivo Municipal de Ouressa	2	
	Complexo Desportivo Municipal João Cifuentes	2	
	Piscina Municipal de Mira Sintra	1	
	Piscina Municipal de Fitaes	2	
Sobral de Monte Agraço	Piscina Municipal de Sobral de Monte Agraço	2	
Torres Vedras	Piscinas Municipais de Torres Vedras	2	
	Piscinas da Junta de Freguesia de A-dos-Cunhados	2	
	Piscina do Pisão	1	
Vila Franca de Xira	Piscina Municipal de Vila Franca de Xira	1	
	Piscina Municipal de Alverca do Ribatejo	2	
	Piscinas da Quinta Municipal da Subserra	1	1
	Piscina Municipal da Póvoa de Santa Iria	1	1
	Piscina Municipal de Calhandriz	1	
	Piscinas Baptista Pereira em Vila Franca de Xira	1	
	Piscinas Municipais de Alverca	1	
	Piscina Municipal Qtª das Drogas	1	
	Piscinas da Junta de Freguesia de A-dos-Cunhados	1	
Total		109	5

**Tabela B.3 – Complexos desportivos com piscinas no distrito do Porto**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Amarante	Piscinas Municipais de Amarante	1	
	Piscinas Municipais de Vila Meã	2	
Baião	Piscina Municipal de Baião	1	1
Felgueiras	Piscinas Municipais de Felgueiras	3	1
	Piscina da Lixa	1	
Gondomar	Piscinas Municipais de Baguim do Monte	2	
	Piscinas Municipais de Fânzeres	2	
	Piscinas Municipais de Gondomar	2	
	Piscinas Municipais de Medas	2	
	Piscinas Municipais de Rio Tinto	2	
	Piscinas Municipais de São Pedro da Cova	2	
	Piscinas Municipais de Valbom	2	
Lousada	Piscinas Municipais de Lousada	2	
Maia	Complexo Municipal de Piscinas de Águas Santas	3	
	Complexo Municipal de Piscinas de Gueifães	2	
	Complexo Municipal de Piscinas de Folgosa	2	
Marco de Canaveses	Complexo Desportivo do Marco de Canaveses		2
Matosinhos	Piscina de Perafita em Matosinhos	2	
	Piscina Municipal de Custóias	2	
	Piscina Municipal de Guifões	2	
	Piscina Municipal de Leça do Balio	1	
	Piscina Municipal de Matosinhos	2	
	Piscina Municipal de S. Mamede de Infesta	2	
	Piscina Municipal da Senhora da Hora	2	
	Piscinas Municipais de Paços de Ferreira	1	
Paços de Ferreira	Piscina Municipal de Freamunde	1	
	Piscina Municipal de Paredes	2	
Paredes	Piscina Municipal de Lordelo	2	
	Piscina Municipal de Rebordos	2	
	Piscina Municipal Rota dos Móveis	2	
	Complexo das Piscinas Municipais de Penafiel	2	
Penafiel	Piscina da Constituição	2	
	Piscina Engº Armando Pimental	3	
	Piscina Municipal de Campanha	3	
	Piscina Municipal de Cartes	1	
Póvoa de Varzim	Piscinas do Clube Desportivo da Póvoa de Varzim	2	
	Complexo de Piscinas Municipais	2	
Santo Tirso	Piscinas Municipais de Santo Tirso	2	
	Piscinas do Ginásio Clube de Santo Tirso	1	
Trofa	Piscinas Municipais de trofa	2	
Valongo	Piscina Municipal de Valongo	1	
	Piscina Municipal de Alfena	3	
	Piscina Municipal de Ermesinde	1	
Vila do Conde	Piscina Municipal de Vila do Conde	1	
	Piscinas de Mindelo	2	
Vila Nova de Gaia	Piscina Municipal de Vila d'Este	2	
	Piscina Municipal da Granja	1	2
	Piscina Municipal de Vila Nova de Gaia	2	
Total	45	87	4

**Tabela B.4 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Aveiro**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Águeda	Piscina Municipal de Águeda	2	1
Albergaria-a-Velha	Piscinas Municipais de Albergaria-a-Velha	2	
	Piscina Municipal de São João de Loure	1	
	Piscina Municipal da Branca	2	
Anadia	Piscinas Municipais de Anadia	3	
Arouca	Piscina Municipal de Arouca	1	2
	Complexo de piscinas de Escariz	2	
Aveiro	Piscina da Delegação do Instituto do Desporto em Aveiro	1	
	Piscina Interior do Sport Club de Beira-Mar em Aveiro	3	
	Piscina Interior do Sporting Clube de Aveiro	2	
Castelo de Paiva	Piscina Municipal de Castelo de Paiva	1	
Espinho	Piscina Municipal de Espinho	2	
Estarreja	Complexo de Piscinas de Estarreja	2	
	Piscina Municipal de Avanca	1	
Ílhavo	Piscina Municipal de Ílhavo	2	
	Piscina Municipal da Gafanha da Nazaré	2	
Mealhada	Piscinas Municipais da Mealhada	2	
Murtosa	Piscinas do Município da Murtosa	2	
Oliveira de Azeméis	Piscina municipal de Oliveira de Azeméis	2	
Oliveira do Bairro	Piscinas Municipais de Oliveira do Bairro	3	
Ovar	Piscina dos Bombeiros Voluntários de Esmoriz	2	
	Piscina Municipal de Ovar	2	
	Piscinas de Inverno de Esmoriz	1	
Santa Maria da Feira	Piscinas Municipais de Santa Maria da Feira	2	
	Piscinas Municipais de Fiães	2	
	Piscinas Municipais de Lourosa	1	
São João da Madeira	Piscina Municipal de São João da Madeira	1	1
Sever do Vouga	Piscinas Municipais de Sever do Vouga	1	
Vagos	Piscina Municipal de Vagos	2	
Vale de Cambra	Piscinas Municipais de Vale de Cambra	2	3
Total	30	54	7

**Tabela B.5 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Viseu**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Armamar	Piscinas Municipais de Armamar	2	
Carregal do Sal	Piscinas Municipais de Carregal do Sal	1	1
Castro Daire	Piscinas Municipais de Castro Daire	2	
	Piscina das Termas do Carvalhal		2
Cinfães	Piscina Municipal Descoberta - Cinfães	2	
	Piscina Municipal Coberta - Cinfães		1
Lamego	Piscinas Municipais Cobertas de Lamego	2	
	Piscinas Municipais Descobertas da cidade de Lamego	2	
Mangualde	Piscinas Municipais de Mangualde	2	2
	Piscinas Públicas de Abrunhosa-a-Velha		2
Moimenta da Beira	Piscina Municipal Dr. Amadeu Baptista Ferro	1	
Mortágua	Piscinas Municipais de Mortágua	1	1
Nelas	Complexo das Piscinas Municipais	1	2
	Piscinas de Canas de Senhorim		2
Oliveira de Frades	Piscina Municipal de Oliveira de Frades	1	1
Penalva do Castelo	Piscinas Municipais de Penalva do Castelo	1	1

Penedono	Piscinas Municipais de Penedono	1	2
Resende	Piscinas Municipais de Resende	1	2
Santa Comba Dão	Piscinas Municipais de Santa Comba Dão	1	2
São João da Pesqueira	Piscinas Municipais de São João da Pesqueira	1	1
São Pedro do Sul	Piscina Municipal de São Pedro do Sul	1	
Sátão	Piscina Municipal de Sátão	1	
Sernancelhe	Complexo Desportivo de Sernancelhe	1	
Tabuaço	Piscinas Cobertas Municipais de Tabuaço	1	
Tarouca	Piscinas Municipais Cobertas de Tarouca	2	
Tondela	Piscina Municipal de Tondela	1	3
	Piscinas Municipais do Campo de Besteiros	1	
Vila Nova de Paiva	Piscinas Municipais de Vila Nova de Paiva	2	
Viseu	Complexo Desportivo da Santa Casa Misericórdia de Viseu	2	1
	Piscinas Municipais do Fontelo	3	
Vouzela	Piscina Municipal de Vouzela	1	
	Parque de Campismo de Vouzela		2
<b>Total</b>		<b>26</b>	<b>30</b>

**Tabela B.6 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Setúbal**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alcácer do Sal	Piscina Coberta Municipal de Alcácer do Sal	1	
	Piscina Descoberta de Alcácer do Sal		1
	Piscina Municipal do Torrão	1	
Alcochete	Piscinas Municipais de Alcochete	1	
Almada	Piscinas da Academia de Instrução e Recreio Almadense	1	2
	Complexo Municipal de Desportos	2	
	Piscina do Clube Lisnave	1	
	Complexo Municipal de Piscinas na Charneca de Caparica	2	
	Complexo Municipal de Piscinas na Sobreira	2	
	Complexo Municipal de Piscinas na Caparica	1	
	Piscina 25 de Abril	4	
Barreiro	Piscina Municipal do Barreiro	1	
	Piscina Municipal do Lavradio	1	
Grândola	Piscina Municipal de Grândola	2	
Moita	Piscinas Municipais de Alhos Vedros	1	
Montijo	Piscinas Municipais do Montijo	2	
Palmela	Piscina Municipal de Palmela	1	
	Piscina Municipal do Pinhal Novo	2	
Santiago do Cacém	Piscina Municipal de Santiago do Cacém	2	
	Piscinas do Parque Urbano Rio de Figueira		1
Seixal	Piscinas Municipais de Corroios	1	
	Piscina Municipal de Amora	1	
	Piscina Municipal da Torre da Marinha		2
Sesimbra	Fascínio Health Club	1	
Setúbal	Complexo de Piscinas das Manteigadas		3
	Piscina Municipal das Palmeiras	2	
	Piscina de Azeitão	1	
Sines	Piscinas Municipais de Sines	2	
<b>Total</b>		<b>36</b>	<b>9</b>

**Tabela B.7 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Santarém**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Abrantes	Piscina Municipal de Abrantes	3	1
	Piscinas de Vale de Mós		2
Alcanena	Piscina Municipal de Alcanena	1	1
	Piscinas Municipais de Minde	2	
Almeirim	Piscinas Municipais de Almeirim	3	3
Alpiarça	Complexo das Piscinas Municipais de Alpiarça	1	1
Benavente	Piscinas Municipais de Benavente	2	1
Cartaxo	Piscinas Municipais do Cartaxo	2	4
Chamusca	Piscinas Municipais da Chamusca	2	
Constância	Piscina Municipal de Constância	1	
Coruche	Piscinas Municipais de Coruche	2	3
Entroncamento	Piscinas Municipais de Entroncamento	3	
Ferreira do Zêzere	Piscina Municipal Coberta de Ferreira do Zêzere	1	
Golegã	Piscinas Municipais da Golegã	2	2
Mação	Piscinas Municipais de Mação	2	
Ourém	Piscinas Municipais de Ourém	1	1
	Piscinas Municipais de Caxarias	1	
Rio Maior	Piscinas Municipais de Rio Maior	3	1
Salvaterra de Magos	Piscinas Municipais de Salvaterra de Magos	1	
Santarém	Piscinas Municipais do Sacapeito	1	2
Sardoal	Piscina Municipal do Sardoal	1	
Tomar	Piscina Municipal Vasco Jacob		2
	Complexo Desportivo Municipal de Tomar	3	
Torres Novas	Piscina Municipal Fernando Cunha	2	
Vila Nova da Barquinha	Piscina Municipal de Vila Nova da Barquinha	1	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>41</b>	<b>24</b>

**Tabela B.8 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Leiria**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alcobaça	Piscinas Municipais de Alcobaça	2	
	Piscinas Municipais da Benedita	2	
	Piscinas Municipais de Pataias	2	
Alvaiázere	Piscina Municipal de Alvaiázere	1	2
Ansião	Piscina Municipal de Ansião	2	
Batalha	Piscinas Municipais da Batalha	2	
	Piscina Municipal de Reguengo do Fetal		1
Bombarral	Piscina Municipal do Bombarral	1	
Caldas da Rainha	Piscinas Municipais de Caldas da Rainha	2	
	Piscina Escolar Raul Proença	1	
	Piscina de Santa Catarina	1	
	Piscina de A-dos-Francos	2	
Castanheira de Pera			
Figueiró dos Vinhos	Piscinas Municipais de Figueiró dos Vinhos	1	
Leiria	Complexo Municipal de Piscinas de Leiria	3	
	Piscina Municipal da Caranguejeira	1	
	Piscina Municipal da Maceira	1	
Marinha Grande	Piscinas Municipais da Marinha Grande	1	1
	Piscina Municipal de Vieira de Leiria	1	
Nazaré	Piscinas Municipais da Nazaré	2	
Óbidos	Piscinas Municipais de Óbidos	2	

Pedrógão Grande	Piscinas Municipais de Pedrógão Grande	1	
Peniche	Piscinas Municipais de Peniche	2	
Pombal	Piscina Municipal de Pombal	2	
Porto de Mós	Piscinas Municipais de Porto de Mós	1	1
Total	23	36	5

**Tabela B.9 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Coimbra**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Arganil	Piscina Municipal de Arganil	2	
	Piscina da Santa Casa da Misericórdia	1	
Cantanhede	Piscinas Municipais de Cantanhede	2	
Coimbra	Complexo Olímpico de Piscinas	2	
	Parque Residencial de S. Martinho do Bispo	2	
	Complexo de Piscinas Rui Abreu	2	
Condeixa-a-Nova	Piscinas Municipais de Condeixa-a-Nova	2	2
Figueira da Foz	Piscina do Ginásio Clube Figueirense na Figueira da Foz	1	
	Piscina Municipal de Maiorca		1
	Piscinas de Alqueidão		1
	Piscinas de Moinhos da Gândara		1
	Piscinas de Quiaios		1
	Piscinas Municipais de Alhadas	2	
	Piscinas Municipais de Paião	2	
Góis			
Lousã	Piscinas Municipais da Lousã	1	1
Mira	Piscina Municipal de Mira	2	
Miranda do Corvo	Piscinas Municipais de Miranda do Corvo	2	
Montemor-o-Velho	Piscinas Municipais de Montemor-o-Velho	2	
Oliveira do Hospital	Piscinas Municipais de Oliveira do Hospital	2	1
	Piscinas de Rio de Mel	1	1
Pampilhosa da Serra	Piscinas Municipais de Pampilhosa da Serra	2	
Penacova	Piscinas Municipais de Penacova	3	
Penela	Piscina Municipal de Penela	1	
Soure	Piscinas Municipais de Soure	2	1
Tábua	Piscina Municipal de Tábua	1	2
Vila Nova de Poiares	Piscinas Municipais de Vila Nova de Poiares	2	
Total	22	39	12

**Tabela B.10 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Braga**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Amares	Piscina Municipal de Ferreiros	1	
Barcelos	Piscina Municipal de Barcelos	1	1
Braga	Pavilhão e Piscinas de Maximinos em Braga	1	
	Piscina do Complexo Desportivo Rodovia em Brag	2	
Cabeceiras de Basto	Piscina Municipal do Arco de Baúlhe	1	
Celorico de Basto	Piscina Municipal de Celorico de Basto	1	
Esposende	Piscinas Municipais de Forjães	2	
Fafe	Piscina Municipal de Fafe	2	
Guimarães	Complexo de Piscinas Aqua Brito	2	2
	Piscinas Municipais de Guimarães	3	
	Piscinas de Moreira de Cónegos	2	
	Piscina dos Bombeiros Voluntários de Guimarães	2	

Povoa de Lanhoso	Piscinas Municipais de Póvoa de Lanhoso	2	
Terras de Bouro	Piscina Municipal de Terras de Bouro	1	
Vieira do Minho	Piscinas de Vieira do Minho	1	2
Vila Nova de Famalicão	Piscinas Municipais de V. N. Famalicão	2	2
Vila Verde	Complexo de Lazer de Vila Verde	2	
	Piscina Municipal da Vila de Prado	1	
Vizela			
Total		18	29
			7

**Tabela B.11 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Portalegre**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alter do Chão	Piscinas Municipais de Cunheira		2
	Piscinas Municipais de Chancelaria		1
	Piscinas Municipais de Seda		1
	Piscina Municipal de Alter do Chão	1	
Arronches	Piscinas Municipais de Arronches	2	1
Avis	Piscinas Municipais de Avis		1
Campo Maior	Piscinas Municipais de Campo Maior	1	1
Castelo de Vide	Piscinas Municipais de Castelo de Vide	1	
Crato	Piscina Municipal de Crato	1	1
	Piscinas de Vale do Peso		2
Elvas	Piscinas Municipais de Elvas	1	1
	Piscina José Vicente Abreu	1	1
	Piscina do Parque de Elxada		2
Fronteira	Piscinas Municipais de Fronteira	1	1
Gavião	Piscinas Municipais de Gavião	1	
Marvão	Piscinas Municipais de Santo António das Areias	1	
Monforte	Piscinas Municipais de Monforte	1	1
Nisa	Piscinas Municipais de Nisa	1	1
Ponte de Sôr	Piscinas Municipais Cobertas	2	
	Piscinas Municipais Descobertas		2
Portalegre	Piscina Municipal Coberta do Assentos	1	
	Piscina da Ribeira de Nisa		1
Sousel	Piscina do Pavilhão Gimnodesportivo de Sousel	1	
Total		15	20

**Tabela B.12 – Complexos desportivos com piscinas no distrito da Guarda**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Aguiar da Beira	Piscina Municipal de Aguilar da Beira	2	2
	Piscinas da Quinta de Santo Estevão		2
Almeida	Piscinas Municipais de Almeida	2	
	Piscinas Municipais de Vilar Formoso	2	
Celorico da Beira	Piscinas Municipais de Celorico da Beira	2	
	Piscina Municipal de Lajeosa do Mondego		2
Figueira de Castelo Rodrigo	Piscinas Municipais de Figueira de Castelo Rodrigo	2	
	Piscina de Escalhão em Figueira de Castelo		2
Fornos de Algodres			
Gouveia	Piscinas Municipais de Gouveia	2	2
	Piscinas de Vila Nova de Tazém		1
Guarda	Piscinas Municipais da Guarda	3	
	Piscina Descoberta da Castanheira		1

Manteigas	Piscinas Municipais de Manteigas	1	2
Mêda	Piscinas Municipais de Meda	1	2
	Piscina de Barreira		1
	Piscinas de Coriscada		1
Pinhel	Piscinas Municipais de Pinhel	2	
	Piscina de Pereiro		1
	Piscinas de Freixedas		1
	Piscinas de Lamega		2
Sabugal	Piscinas Municipais do Sabugal	2	
Seia	Piscinas Municipais De Seia	1	1
Trancoso	Piscinas Municipais de Trancoso	2	2
	Piscinas Municipais de Vila Franca das Naves	1	
Vila Nova de Foz Côa	Piscina Municipal de Vila Nova de Foz Côa	1	3
Total		15	28

**Tabela B.13 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Faro**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Albufeira	Piscinas Municipais de Albufeira	3	
Alcoutim	Piscina Municipal de Martim Longo	1	
Aljezur	Piscinas Municipais de Aljezur	2	
Castro Marim	Piscina de Aprendizagem Municipal	1	
Faro	Piscina Municipal de Faro	2	3
Lagoa	Piscina Municipal de Lagoa	1	
Lagos	Complexo Desportivo de Lagos	3	
Loulé	Complexo de Piscinas Municipais em Loulé	3	3
	Complexo Desportivo de Quarteira	3	
Monchique	Piscinas Municipais Exteriores de Monchique		2
	Piscina Municipal de Casais		1
	Piscina Municipal de Alferce		1
Olhão	Piscinas Municipais de Olhão	3	
Portimão	Piscina Municipal de Portimão	1	
São Brás de Alportel	Piscinas Municipais de São Brás de Alportel	2	
Silves	Complexo das Piscinas Municipais de Silves	3	
Tavira	Piscinas Municipais de Tavira	4	
Vila do Bispo			
Vila Real de Santo António	Piscinas Municipais de Vila Real de Santo António	2	
Total		34	10

**Tabela B.14 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Viana do Castelo**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Viana do Castelo	Piscina Municipal Frederico Pinheiro	1	
	Piscina Municipal do Atlântico	2	
	Piscina Municipal de Barroelas	1	
Valença	Piscinas Municipais de Valença	1	
Vila Praia de Âncora	Piscina Municipais Vila Praia de Âncora	2	
Monção	Piscina Municipal de Monção	1	1
Ponte de Lima	Piscinas Municipais de Ponte de Lima	2	
	Piscina Municipal de Ponte de Lima (Freixo)	2	
Caminha	Piscinas Municipais de Caminha		
	Piscina de Moledo em Caminha	1	
Ponte da Barca	Piscinas Municipais de Ponte da Barca	2	1



Arcos de Valdevez	Piscina e Ginásio Municipal de Arcos de Valdevez	1	
Paredes de Coura	Piscina Municipal de Paredes de Coura	2	
Vila Nova de Cerveira	Piscina Municipal de Vila Nova de Cerveira	2	
Melgaço	Piscinas Municipais de Melgaço	2	
<b>Total</b>		<b>15</b>	<b>22</b>

**Tabela B.15 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Évora**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alandroal	Complexo desportivo municipal	1	2
Arraiolos	Piscinas Municipais de Arraiolos	1	2
Borba	Piscinas Municipais de Borba	1	3
Estremoz	Piscinas Municipais de Estremoz	1	3
Évora	Piscinas Municipais de Évora	1	5
Montemor-o-Novo	Piscina Coberta Municipal	2	
Mora	Piscina Municipal de Mora	1	2
Mourão	Complexo Municipal de Piscinas Descobertas e Cobertas	1	3
Portel	Piscinas Municipais de Portel	2	2
Redondo	Piscinas Municipais de Redondo	1	2
Reguengos de Monsaraz	Piscinas Municipais de Reguengos de Monsaraz	1	3
Vendas Novas	Piscinas Municipais de Vendas Novas	1	3
Viana do Alentejo	Piscinas Municipais de Viana do Alentejo	1	1
Vila Viçosa	Piscinas Municipais de Vila Viçosa	1	3
<b>Total</b>		<b>14</b>	<b>34</b>

**Tabela B.16 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Beja**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Aljustrel	Piscinas Municipais de Aljustrel	1	1
Almodôvar	Piscinas Municipais de Almodôvar	1	1
Alvito	Piscinas Municipais de Alvito	2	1
Barrancos	Piscinas Municipais de Barranco		2
Beja	Piscinas Municipais de Beja	1	1
Castro Verde	Piscinas Municipais de Castro Verde	1	3
Cuba	Complexo Municipal de Piscinas de Cuba	1	3
Ferreira do Alentejo	Piscina Municipal de Ferreira do Alentejo	1	1
Mértola	Complexo Municipal de Piscinas de Mértola	1	
Moura	Piscina Municipal de Moura	1	1
Odemira	Piscina Municipal de Odemira	2	
Ourique	Piscinas Municipais de Ourique	1	
Serpa	Piscina Municipal Coberta de Serpa	1	2
Vidigueira	Piscina Municipal	1	1
<b>Total</b>		<b>13</b>	<b>17</b>

**Tabela B.17 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Vila Real**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alijó	Complexo de Piscinas Municipais de Alijó	1	
Boticas	Piscinas municipais boticas		2
Chaves	Piscina Municipal de Chaves	2	1
Mesão Frio	Piscina Municipal de Mesão Frio	1	
Mondim de Basto	Piscinas Municipais de Mondim de Basto		1
Montalegre	Piscina Municipal de Montalegre	2	

Murça	Piscinas Municipais de Murça	1	
Peso da Régua	Piscinas Municipais do Peso da Régua	2	
Ribeira de Pena	Piscina Municipal de Ribeira de Pena	1	
Sabrosa	Piscinas Municipais de Sabrosa	1	1
Santa Marta de Penaguião	Piscinas Municipais de Santa Marta de Penaguião	1	1
Valpaços	Piscinas Municipais de Valpaços	1	1
Vila Pouca de Aguiar	Piscinas Municipais de Vila Pouca de Aguiar	1	1
Vila Real	Piscina Municipal de Vila Real	1	1
Total		15	9

**Tabela B.18 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Castelo Branco**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Belmonte	Piscinas Municipais de Belmonte		2
	Piscinas Municipais de Caria		2
Castelo Branco	Piscina Municipal de Castelo Branco	1	1
Covilhã	Piscina ao Ar Livre de Tortosendo na Covilhã		1
	Piscina de Teixoso na Covilhã		1
	Piscinas do Alto das Tapadas na Covilhã		2
	Piscinas do Complexo da Lameira (Erada)		2
	Piscina Municipal da Covilhã	2	
Fundão	Piscinas Municipais do Fundão	2	
Idanha-a-Nova	Piscinas de Zebreira em Idanha-a-Nova		1
	Piscinas de Penha Garcia em Idanha-a-Nova		1
	Piscina Municipal de Idanha-a-Nova	2	2
	Piscinas das Termas de Monfortinho	2	
Oleiros	Piscina Municipal de Oleiros	1	1
Penamacor	Piscina Coberta Municipal de Penamacor	1	
	Piscinas Municipais de Penamacor		2
Proença-a-Nova	Piscina Municipal de Proença-a-Nova	1	
Sertã	Piscina Municipal da Sertã	2	
	Piscinas Municipais de Cernache do Bonjardim		2
Vila de Rei	Piscina Municipal de Vila de Rei	1	
Vila Velha de Ródão	Piscinas Municipais de Vila Velha de Ródão	2	
	Piscina Municipal de Fratel		2
Total		17	22

**Tabela B.19 – Complexos desportivos com piscinas no distrito de Bragança**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Alfândega da Fé	Piscinas da Associação Recreativa Alfandeguense		2
	Piscinas e Pavilhão Municipal de Bragança	2	
Bragança	Piscinas do Clube Académico de Bragança		2
	Piscina Municipal de Carrazeda de Ansiães	2	
Freixo de Espada à Cinta	Piscinas Municipais Cobertas	2	
	Piscina Municipal Descobertas		1
Macedo de Cavaleiros	Piscinas Municipais Cobertas		1
	Piscina Municipal de Macedo de Cavaleiros	1	2
Miranda do Douro	Piscina Municipal de Miranda do Douro	1	1
	Piscinas de Sendim		2
Mirandela	Piscina Municipal de Mirandela	2	
Mogadouro	Piscinas Cobertas de Mogadouro	2	
	Piscinas Descobertas de Mogadouro		2

Torre de Moncorvo	Piscinas Municipais Cobertas de Torre de Moncorvo	2	
Vila Flor	Piscina Municipal de Vila Flor	1	1
Vimioso	Piscinas Municipais de Vimioso		2
Vinhais	Complexo Municipal de Piscinas de Vinhais	1	2
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>16</b>

**Tabela B.20 – Complexos desportivos da região autónoma da Madeira**

Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Calheta	Piscinas Municipais da Calheta em Calheta	2	
Câmara de Lobos	Piscinas de Câmara de Lobos		2
Funchal	Piscinas Olímpicas do Funchal	4	
Machico	Piscinas Municipais de Machico	1	
Ponta do Sol	Piscina Municipal de Ponta do Sol	2	
Porto Moniz	Piscina Municipal de Porto Moniz	1	
Ribeira Brava	Piscinas Municipais de Ribeira Brava	3	
Santa Cruz			
Santana	Piscinas Municipais de Santana	2	
São Vicente	Piscina Municipal de São Vicente		2
Porto Santo	Piscina Municipal do Porto Santo	1	
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>4</b>

**Tabela B.21 – Complexos desportivos da região autónoma dos Açores**

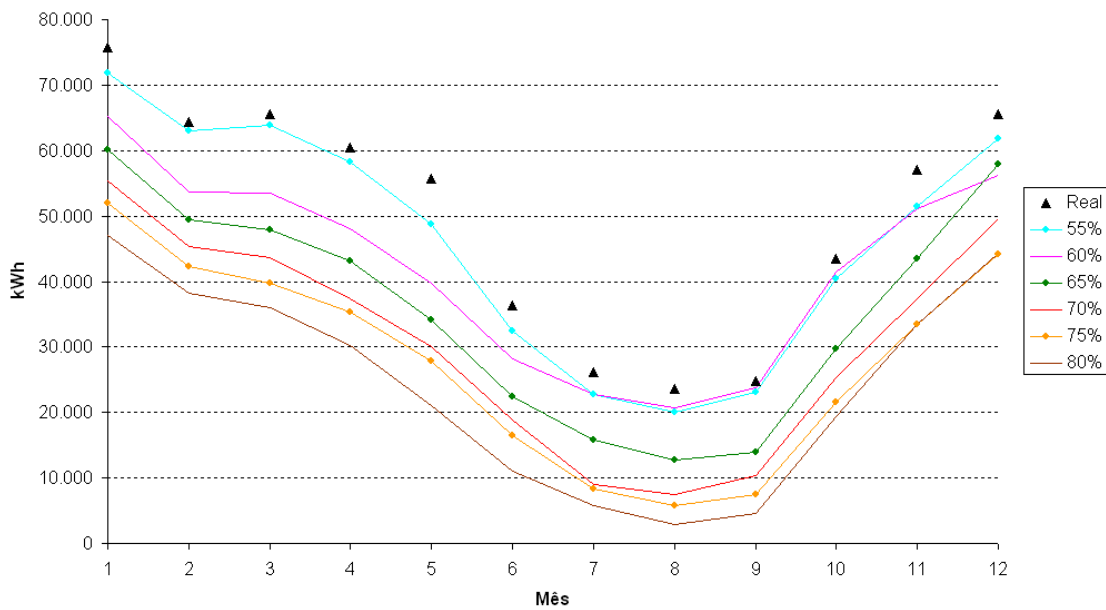
Concelho	Complexos desportivos	Tanques Cobertos	Tanques Ar Livre
Vila do Porto			
Lagoa	Aquafit Piscina Coberta	1	
Nordeste	Complexo de Piscinas Cobertas	2	
Ponta Delgada	Piscina dos Bombeiros de Ponta Delgada	1	
Povoação	Complexo de piscinas municipais na Povoação	2	
Ribeira Grande			
Vila Franca do Campo			
Angra do Heroísmo	Piscinas Municipais de Angra do Heroísmo	1	
Praia da Vitória	Complexo desportivo Vitorino Nemésio	1	
Santa Cruz da Graciosa			
Calheta			
Velas			
Lajes do Pico			
Madalena			
São Roque do Pico			
Horta	Piscina Municipal da Horta	2	
Lajes das Flores			
Santa Cruz das Flores			
Vila do Corvo			
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>0</b>

### Anexo C – Dados obtidos por simulação para o AVAC

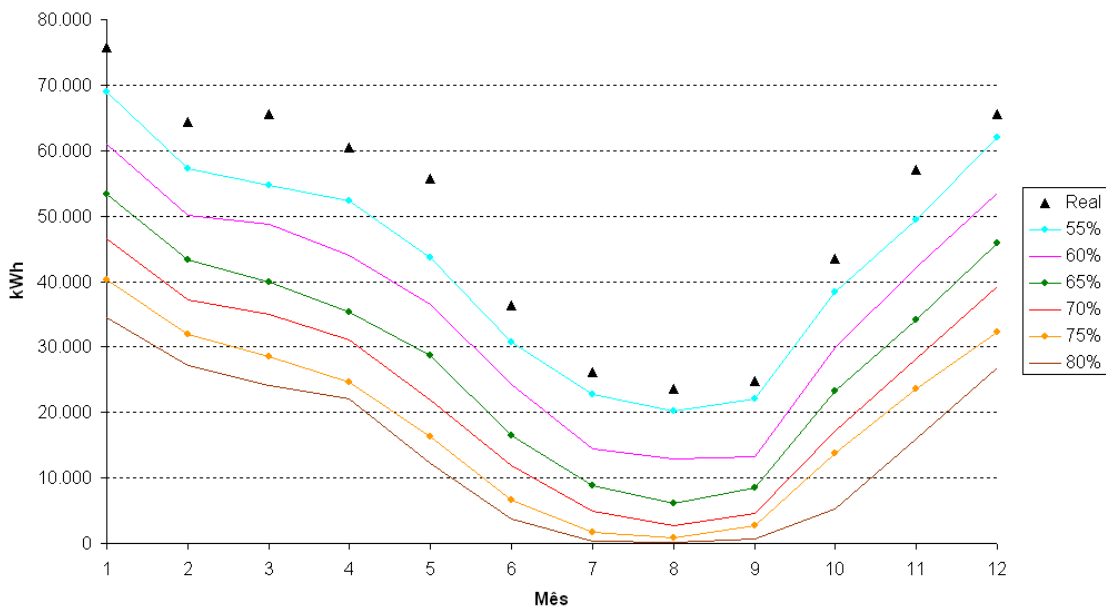
Neste anexo é apresentada uma compilação dos dados obtidos pelas diferentes simulações propostas.

#### C.1 – Valores mensais acumulados de energia consumida, período nocturno

A evolução da energia consumida mensalmente, em função de cada critério, foi determinada, sendo os dados referentes ao período nocturno estão sistematizados nas figuras seguintes para cada uma das piscinas.

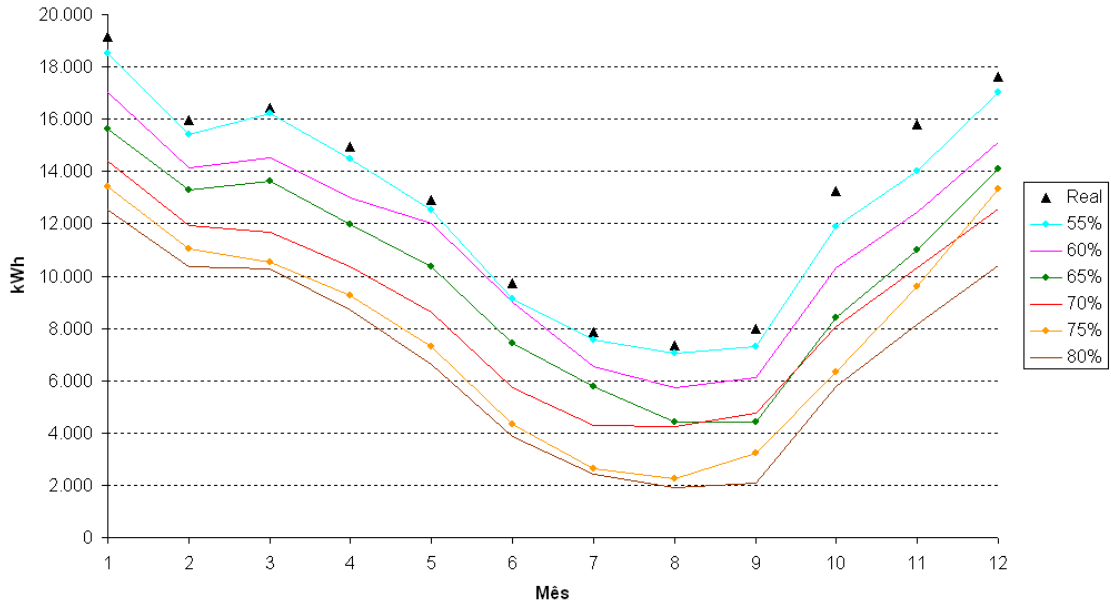


(a)

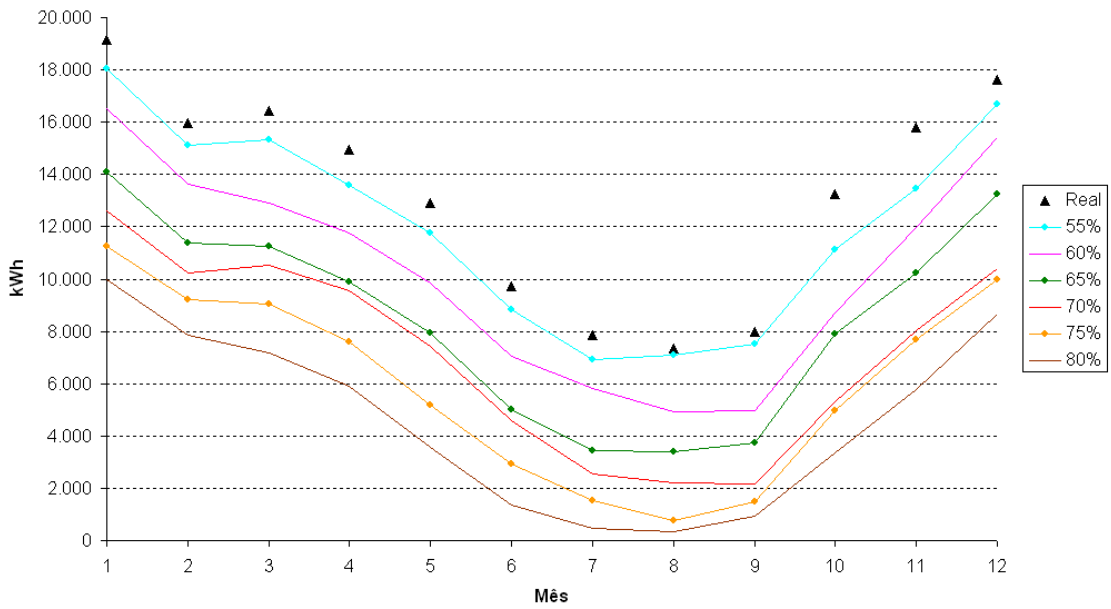


(b)

Figura C.1 – Totais mensais de energia sensível da PO -  $t_{bh}$  (a) e  $t_{po}$  (b)

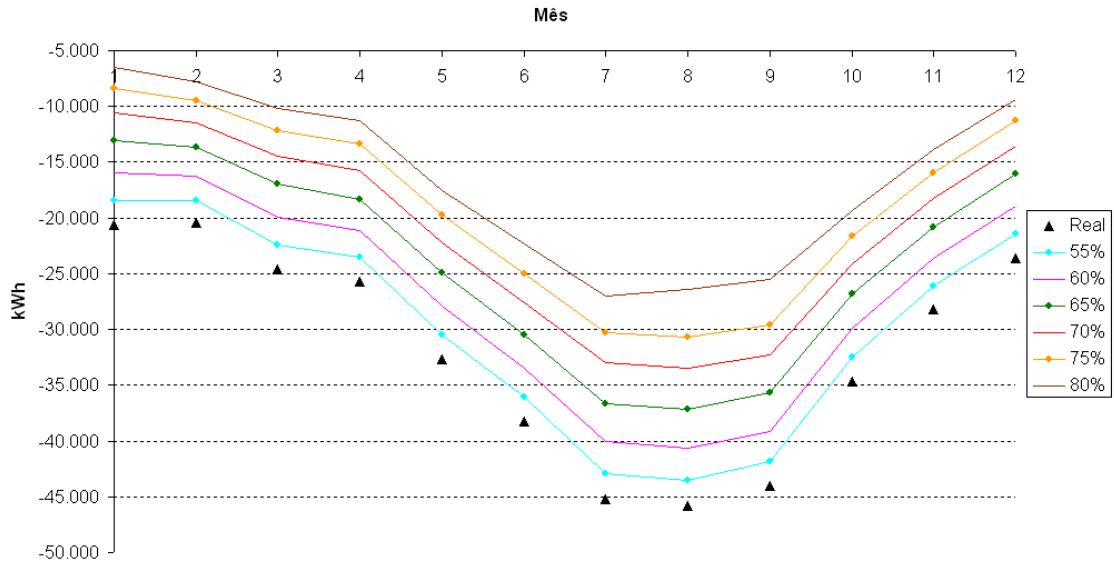


(a)

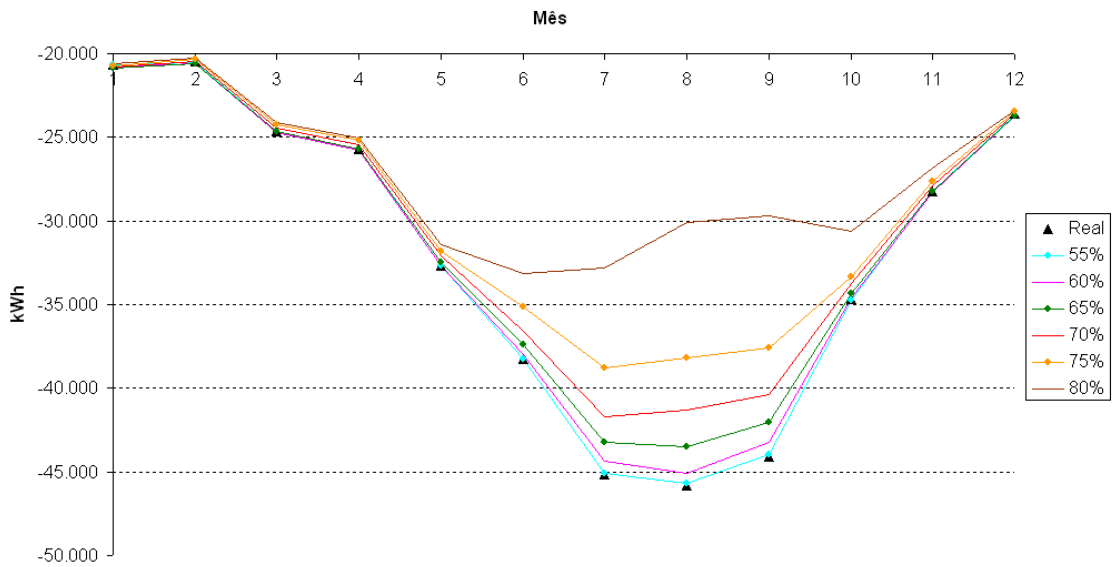


(b)

Figura C.2 – Totais mensais de energia sensível da PR -  $t_{bh}$  (a) e  $t_{po}$  (b)

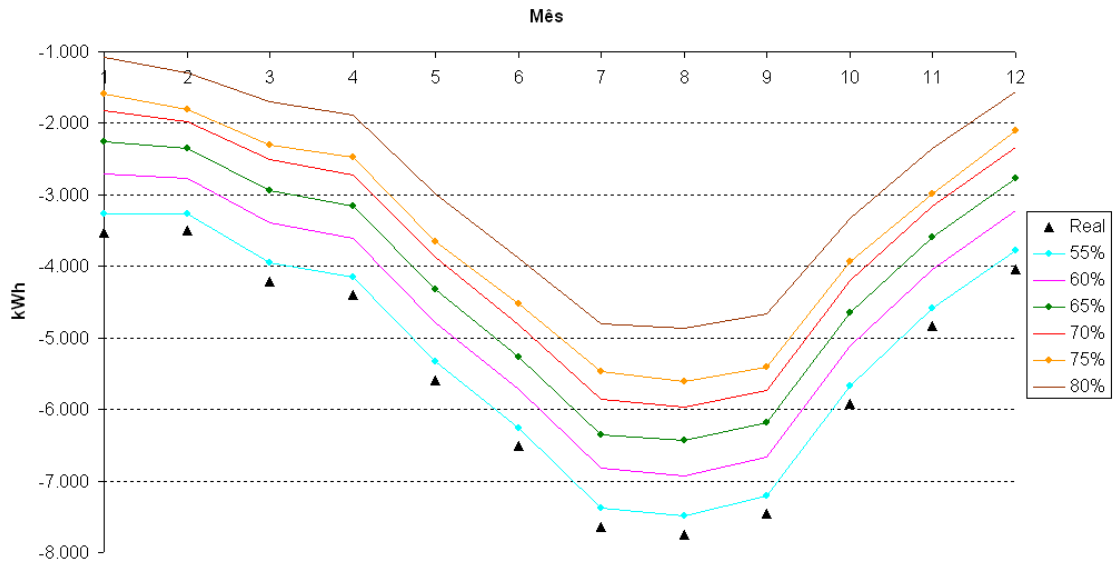


(a)

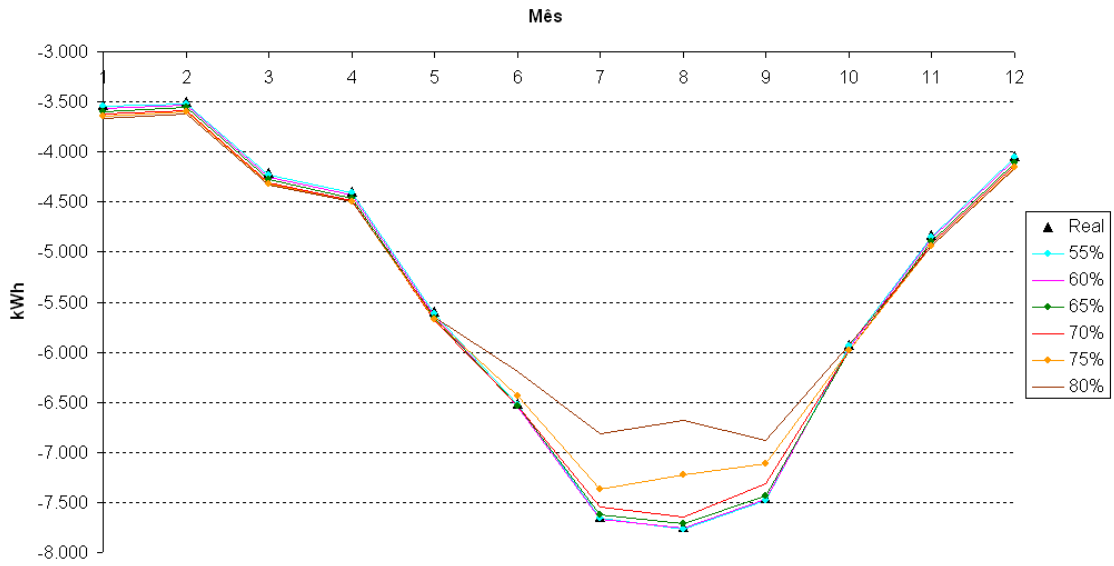


(b)

Figura C.3 – Totais mensais de energia latente da PO -  $t_{bh}$  (a) e  $t_{po}$  (b)



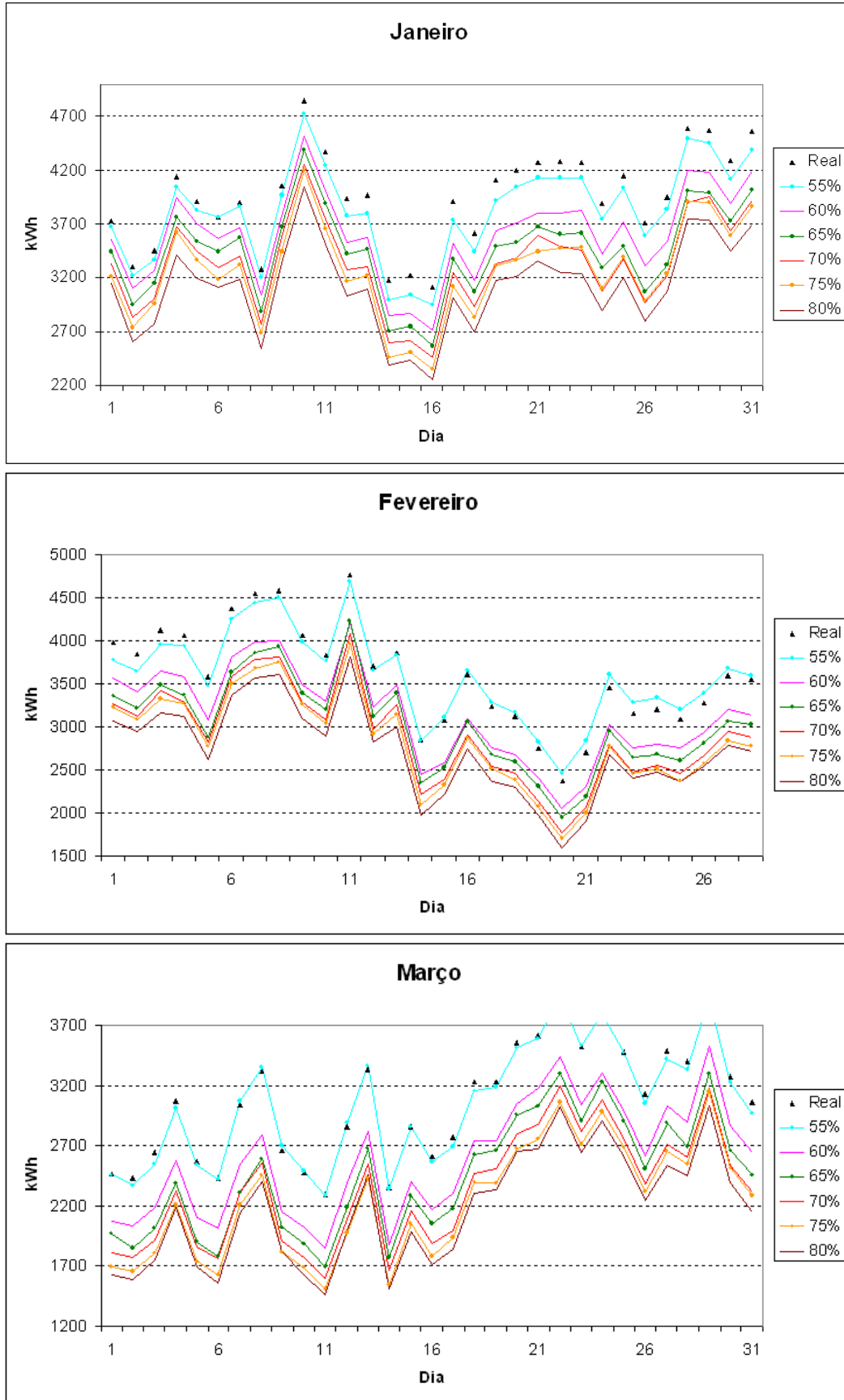
(a)



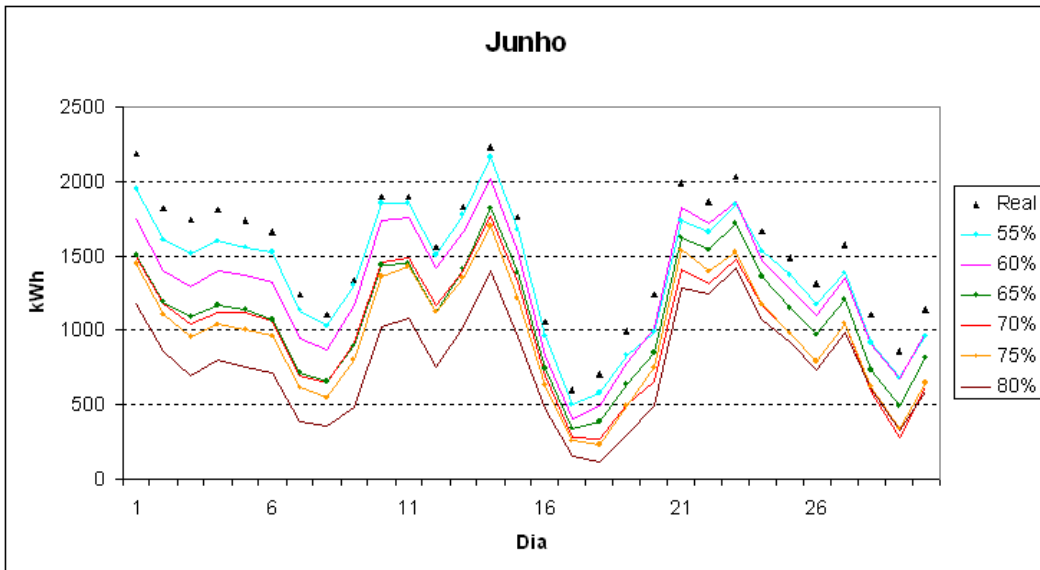
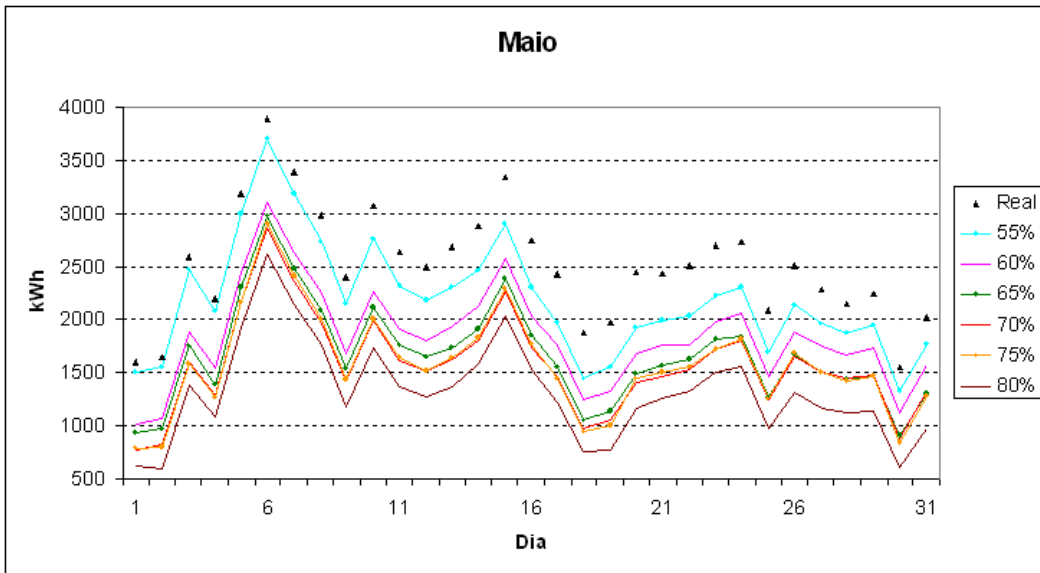
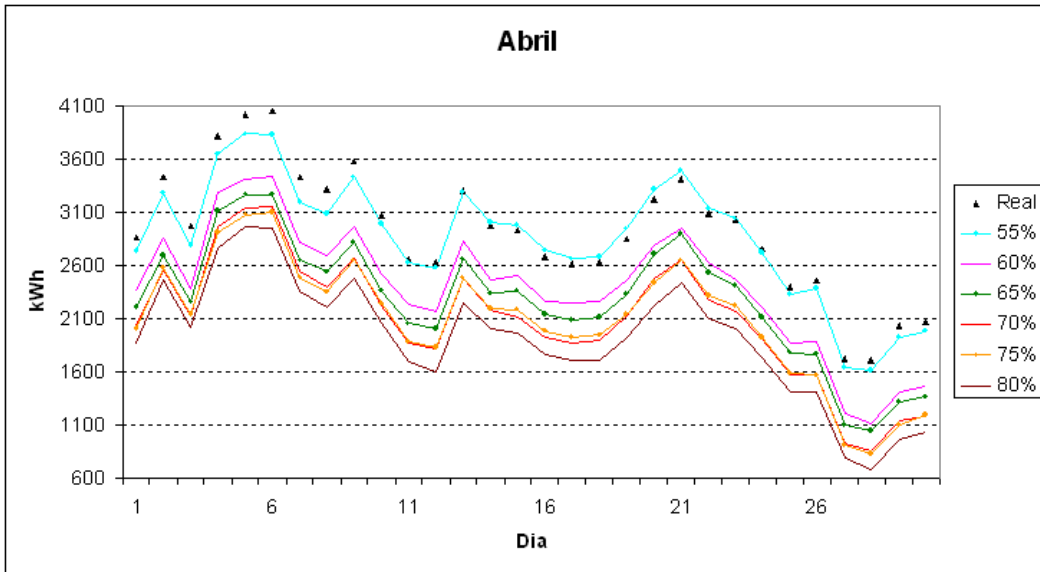
(b)

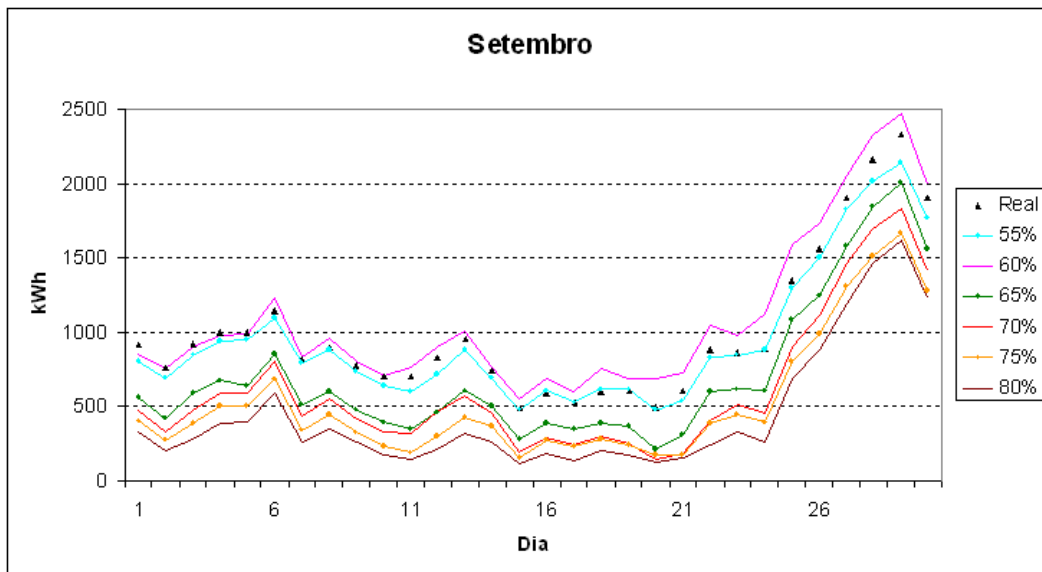
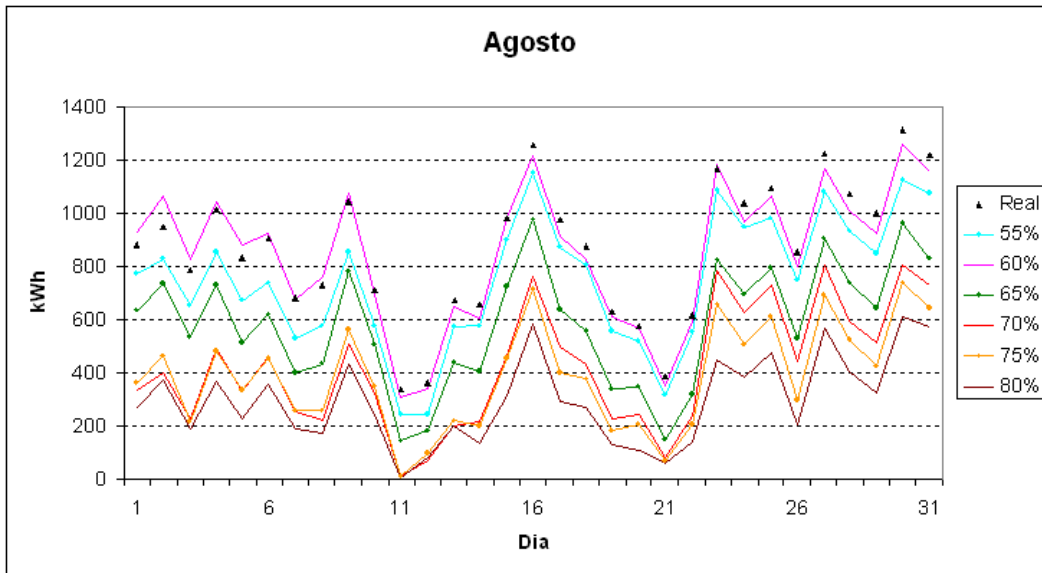
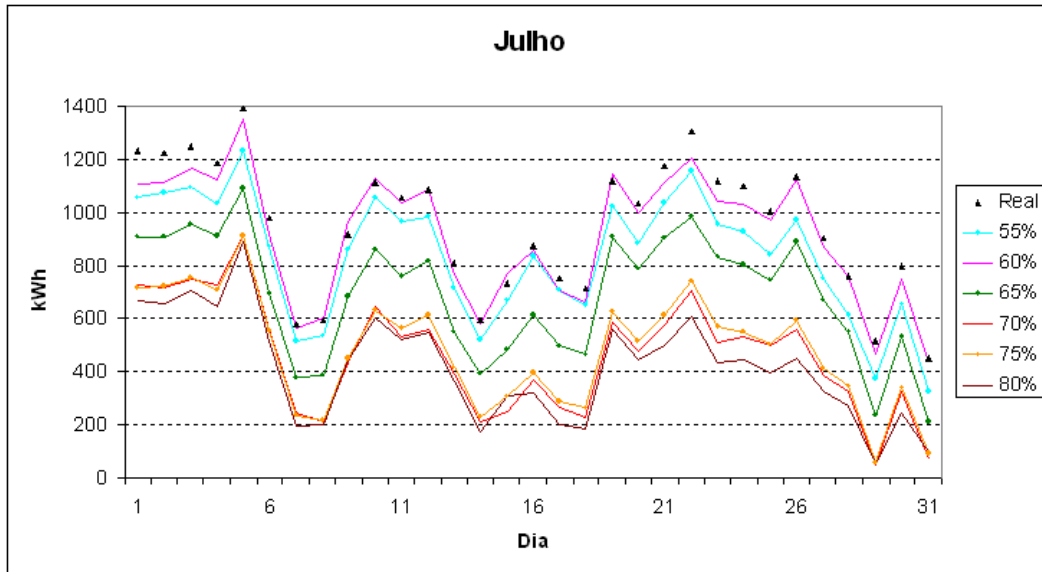
Figura C.4 – Totais mensais de energia latente da PR -  $t_{bh}$  (a) e  $t_{po}$  (b)

### C.2 – Valores Diários









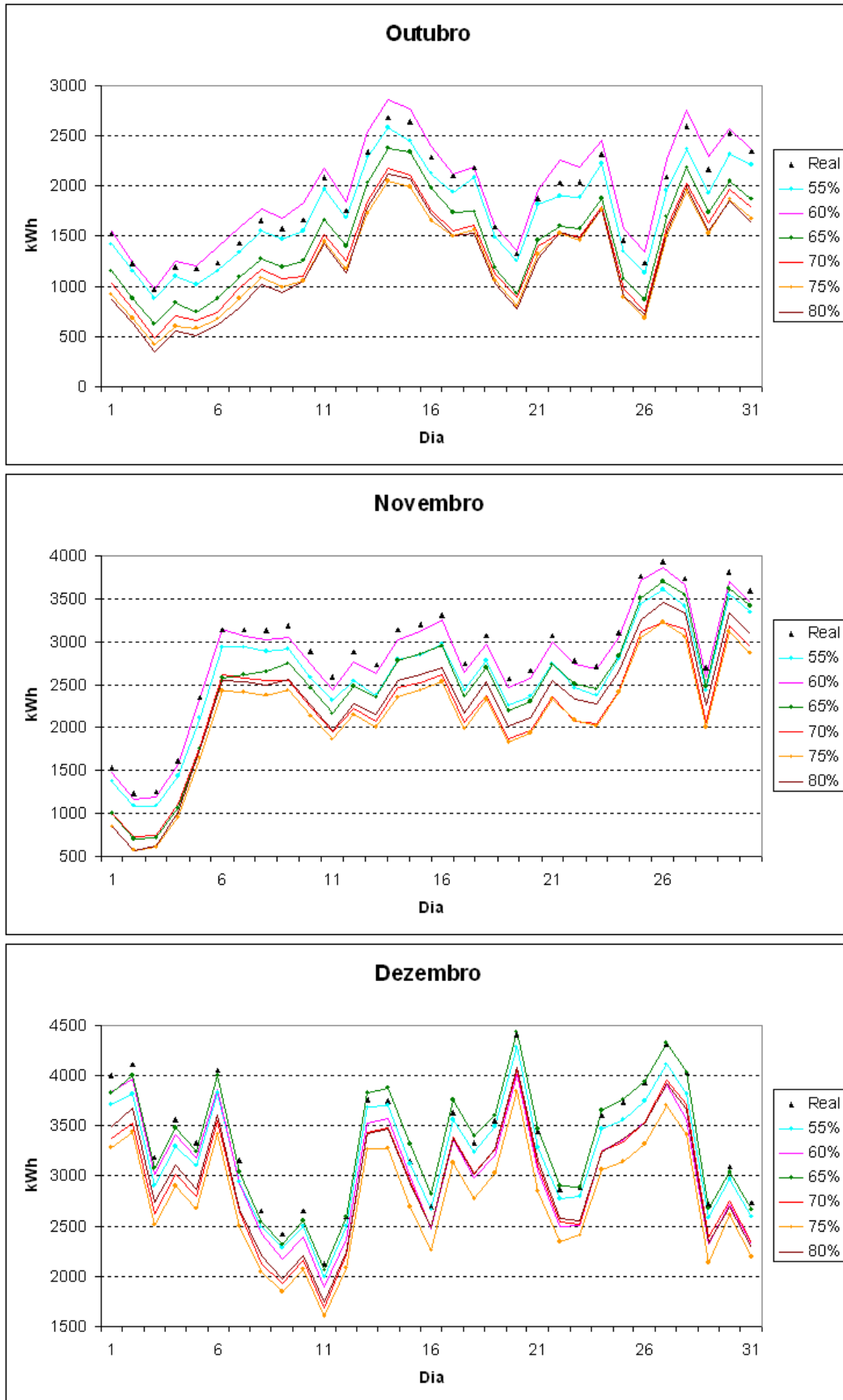
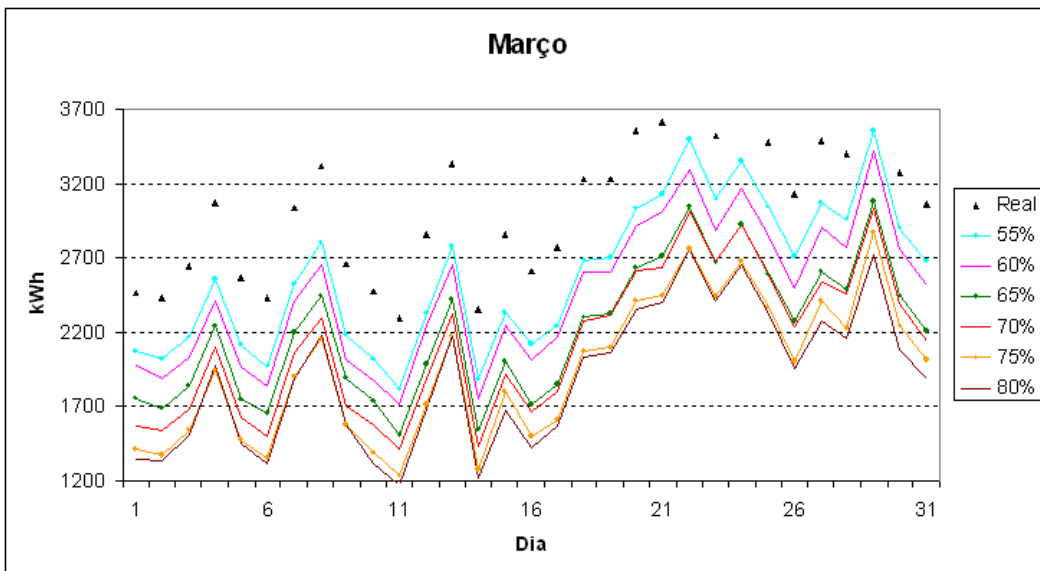
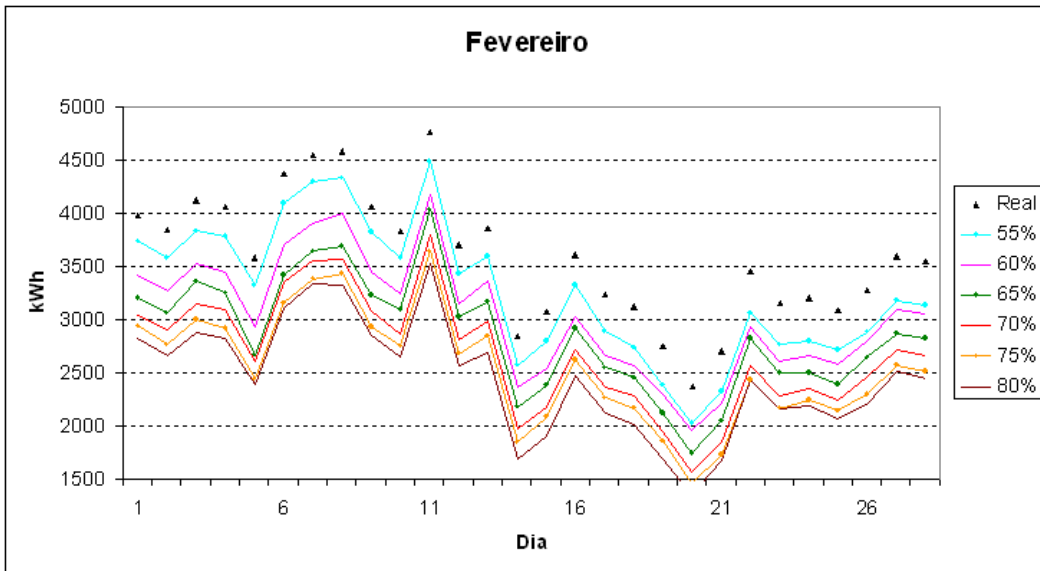
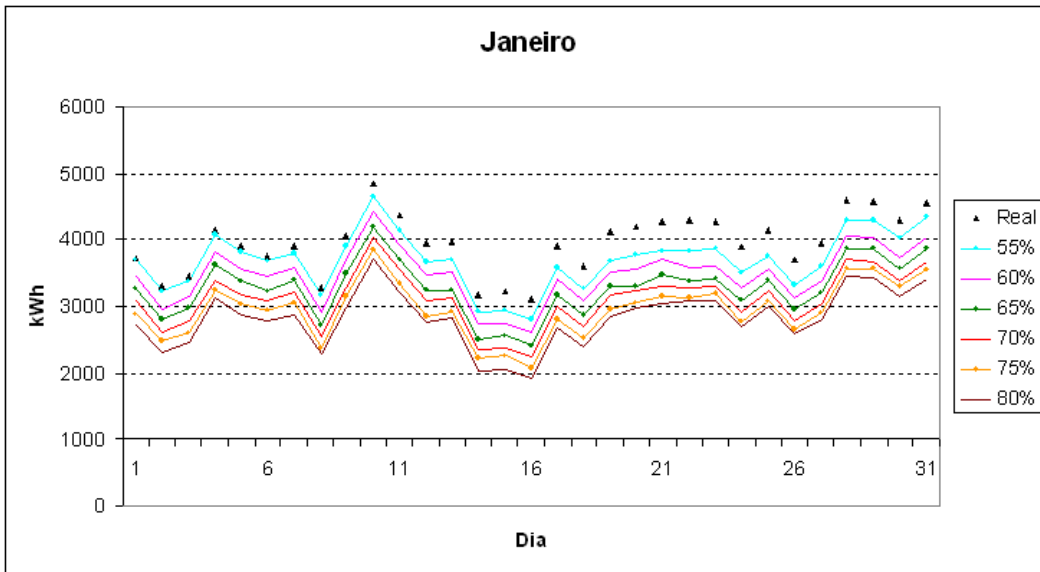
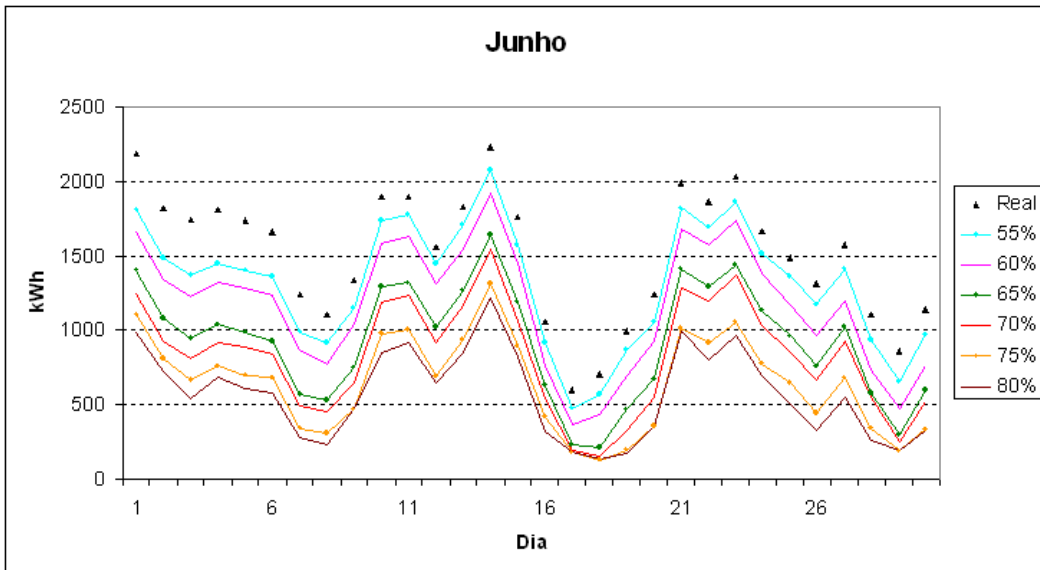
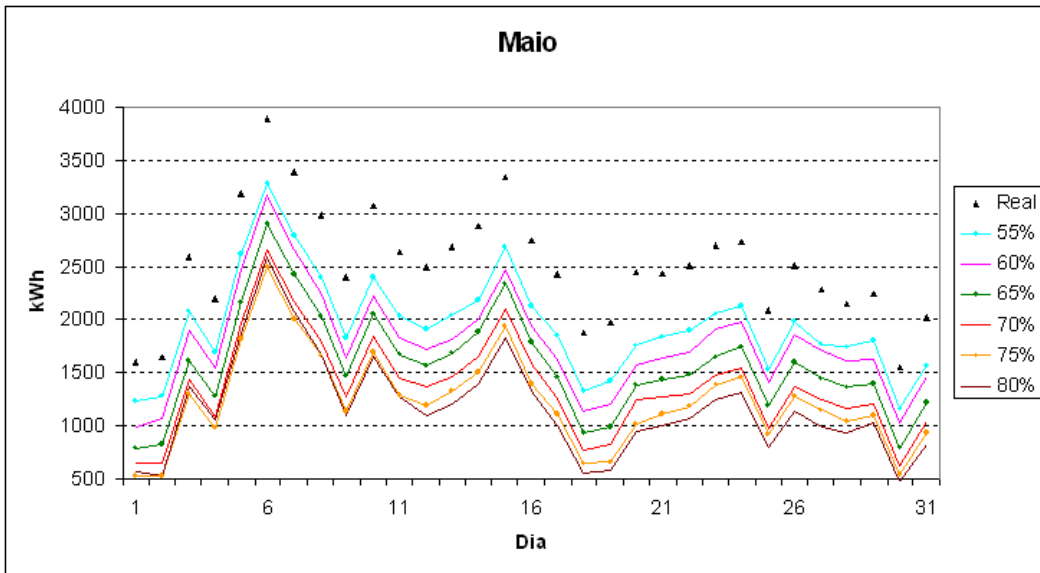
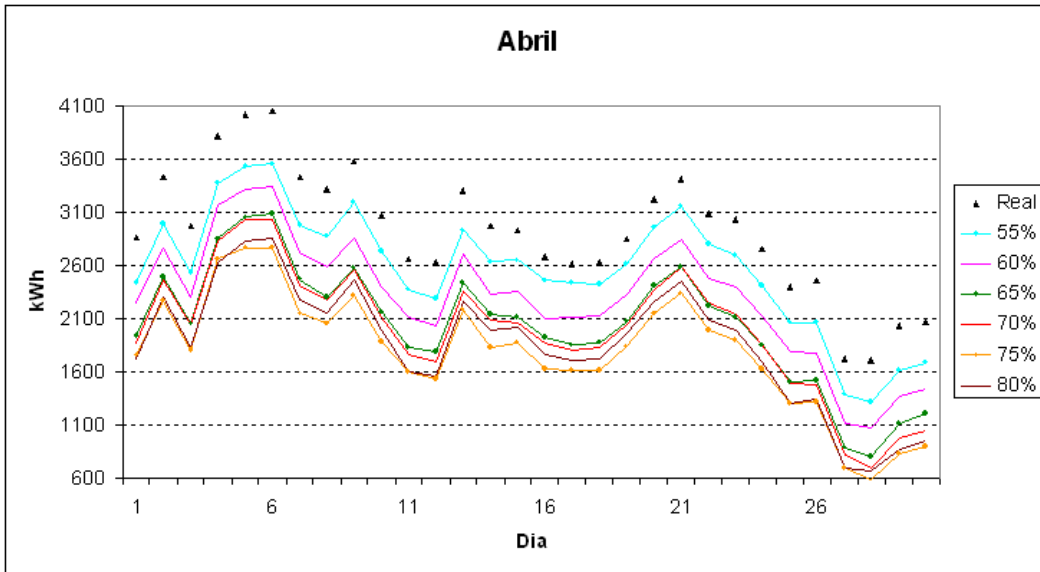
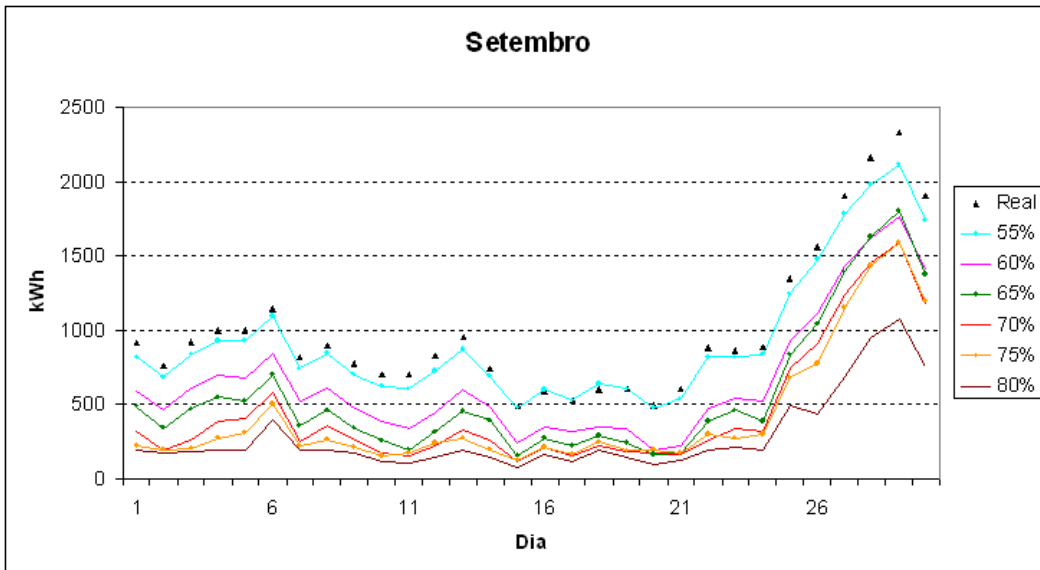
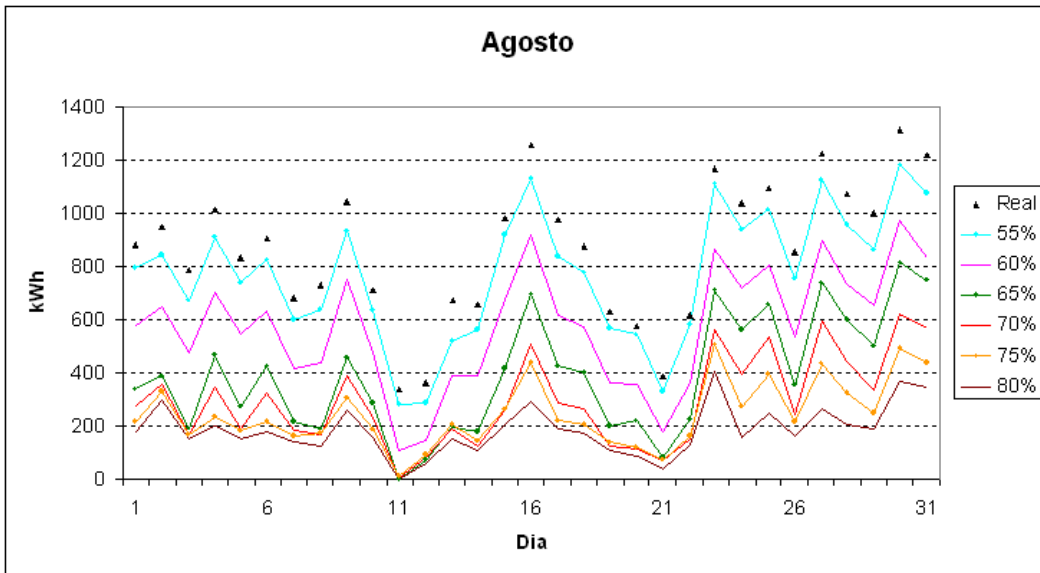
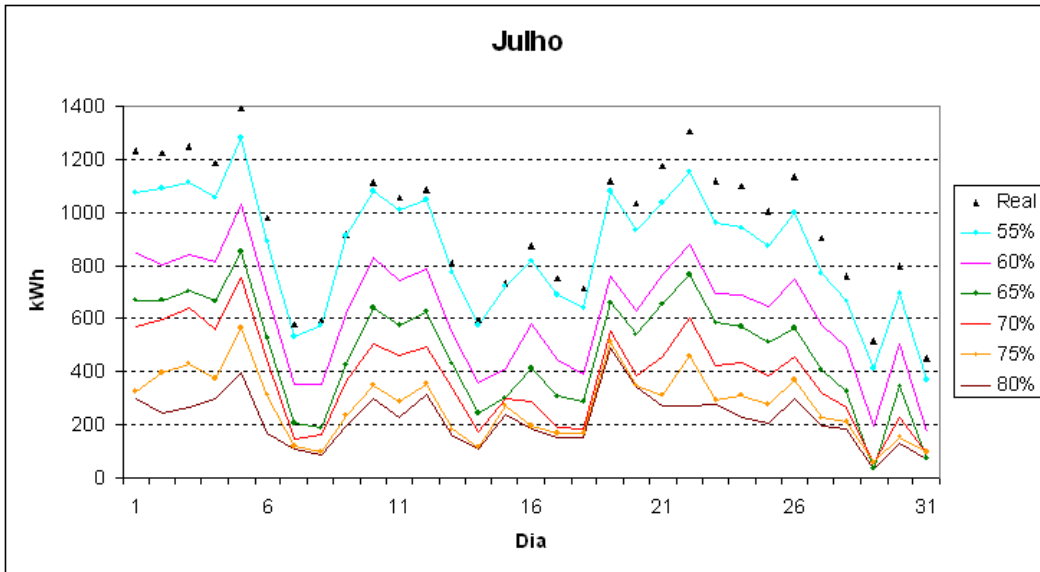


Figura C.5 – Totais diários de energia sensível,  $t_{bh}$  - PO







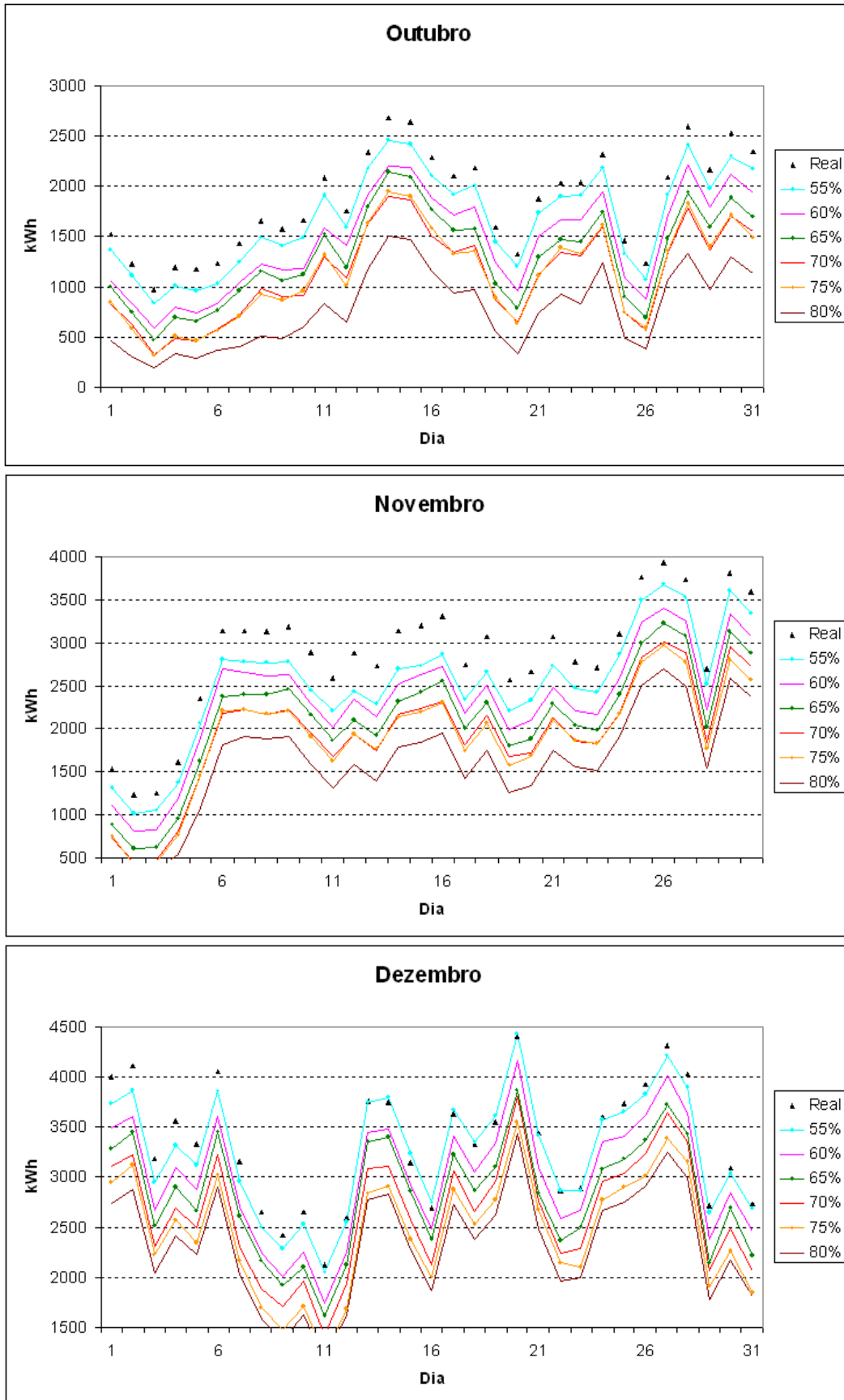
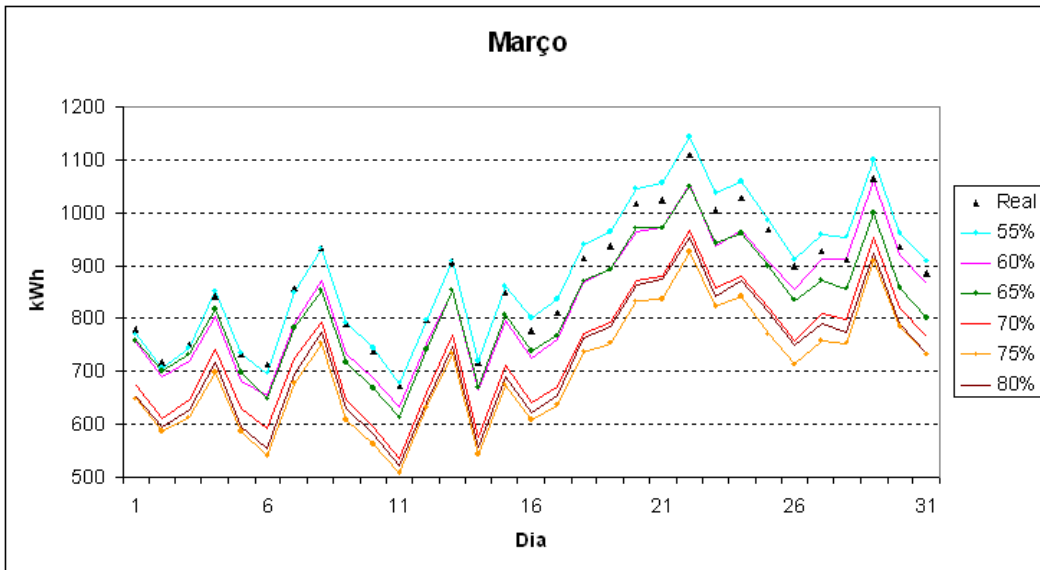
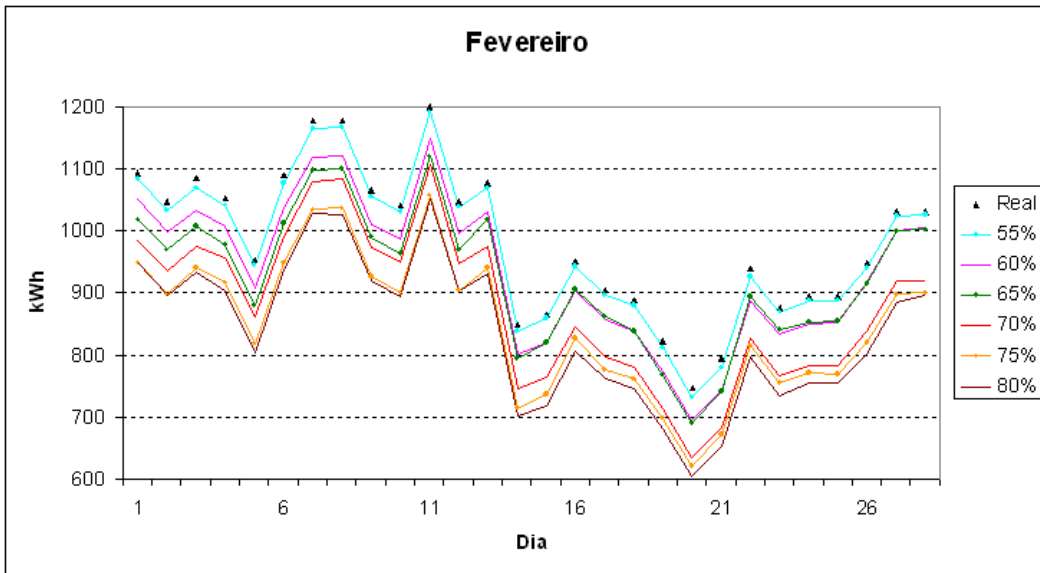
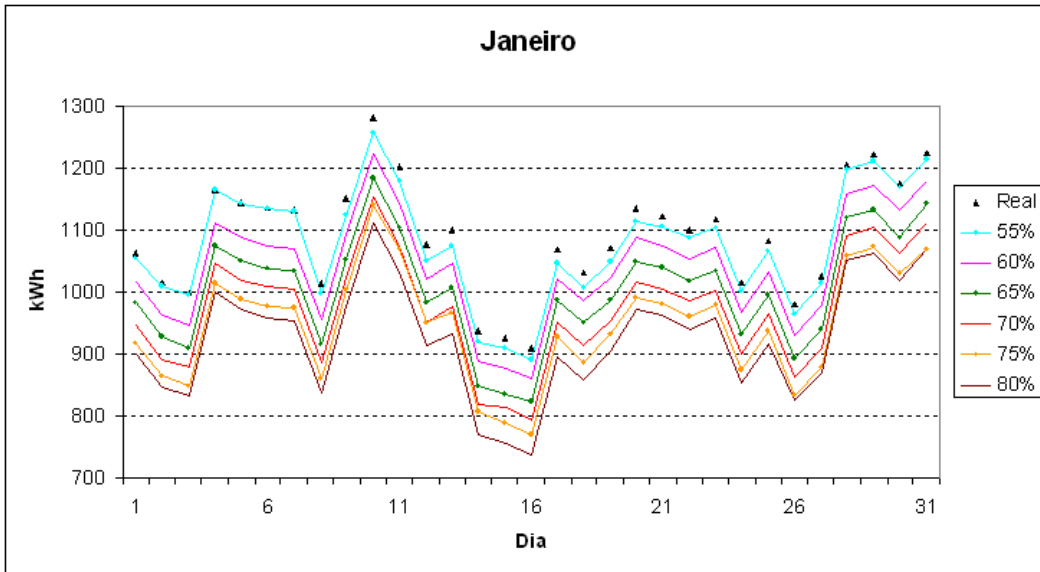
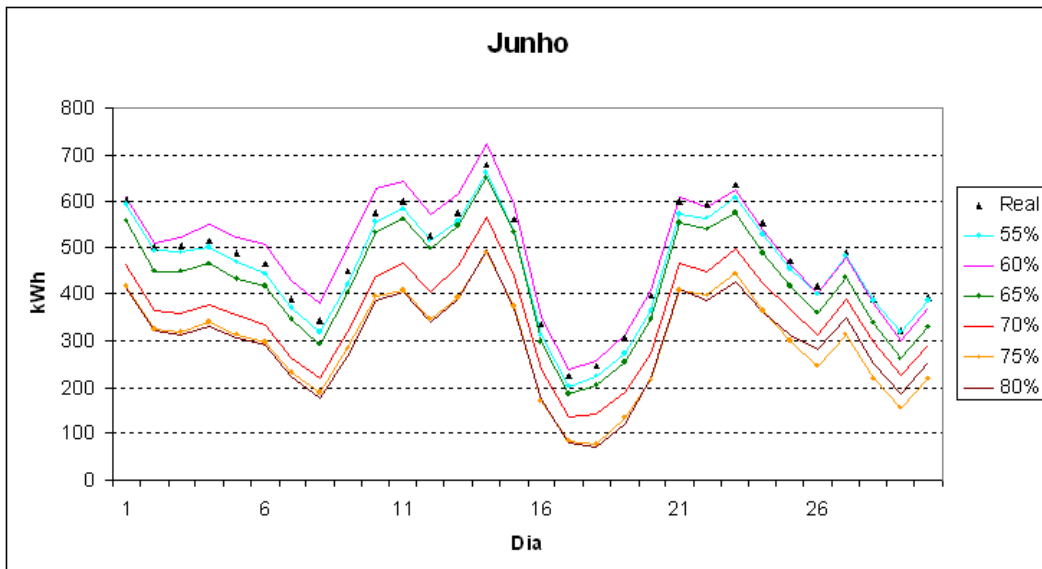
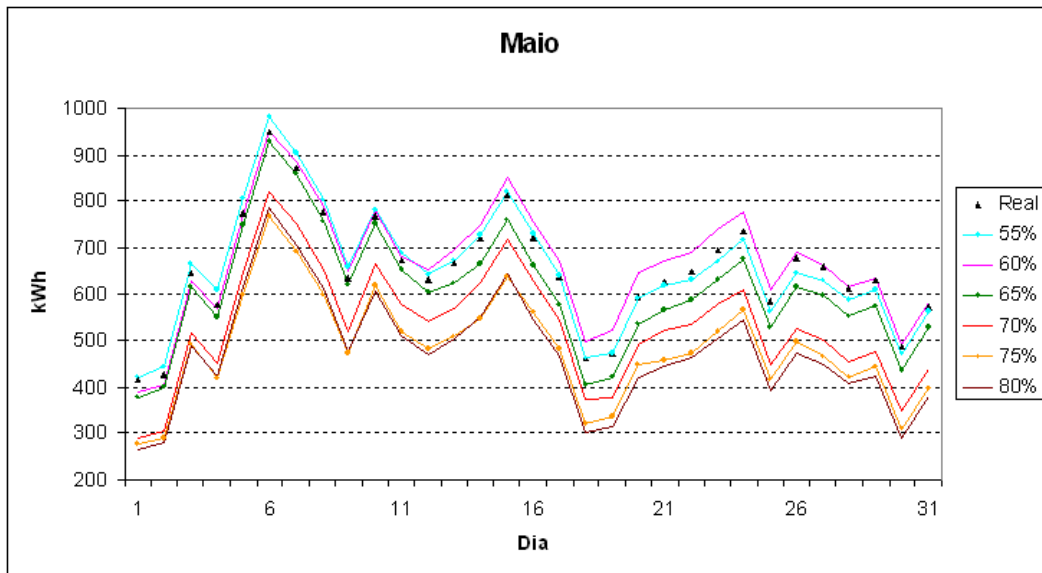
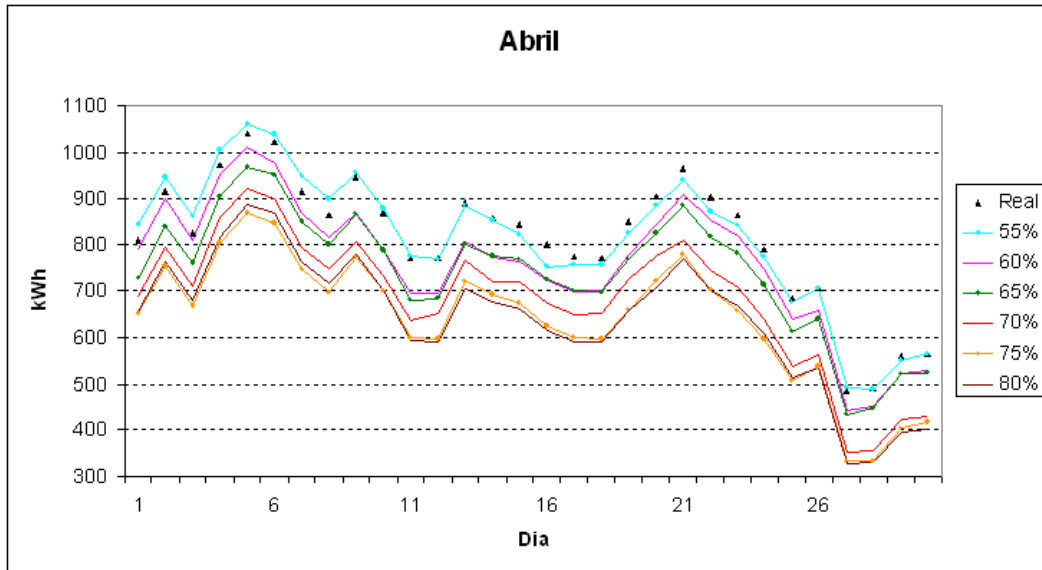
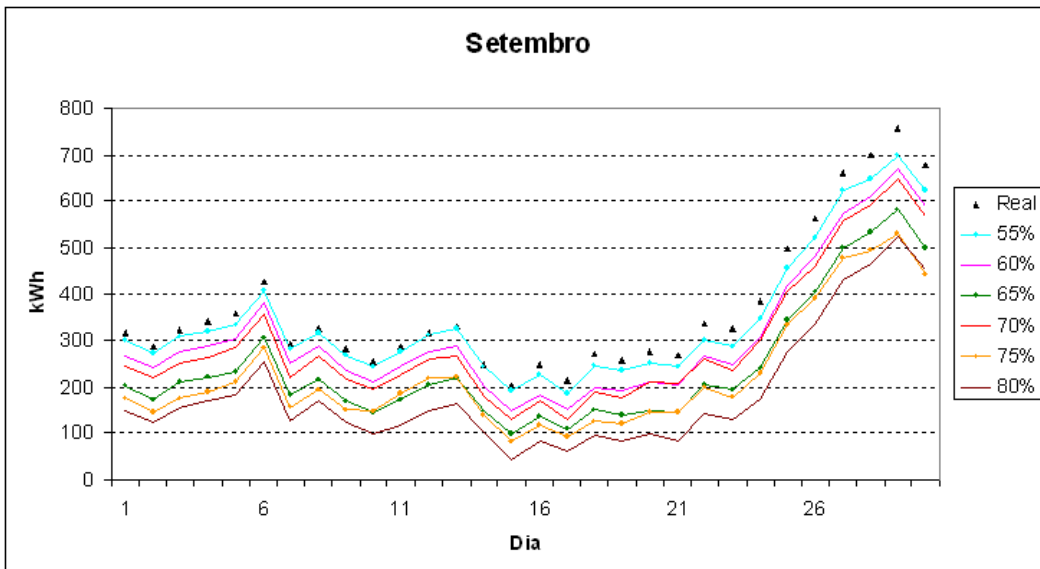
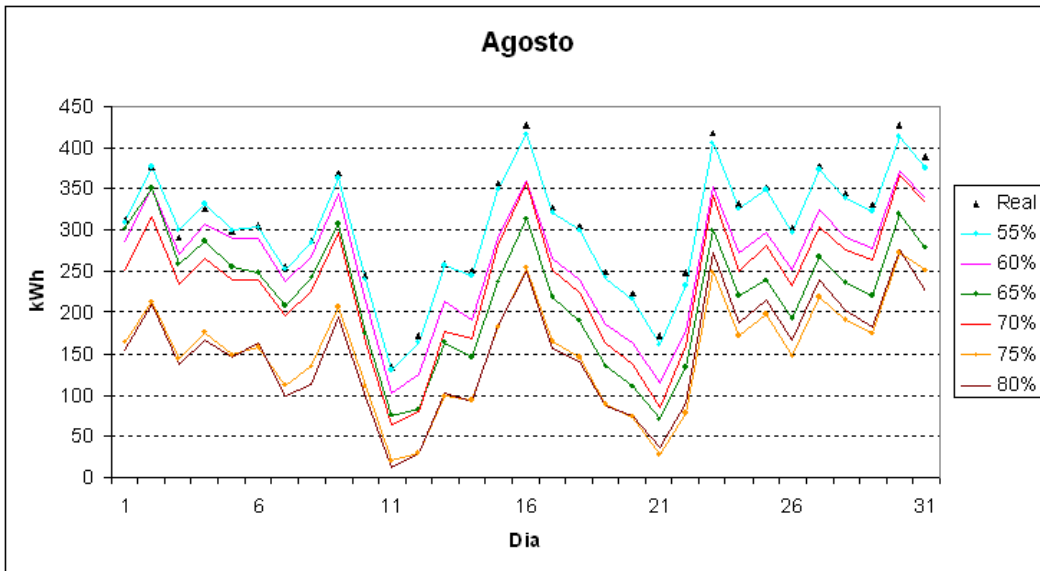
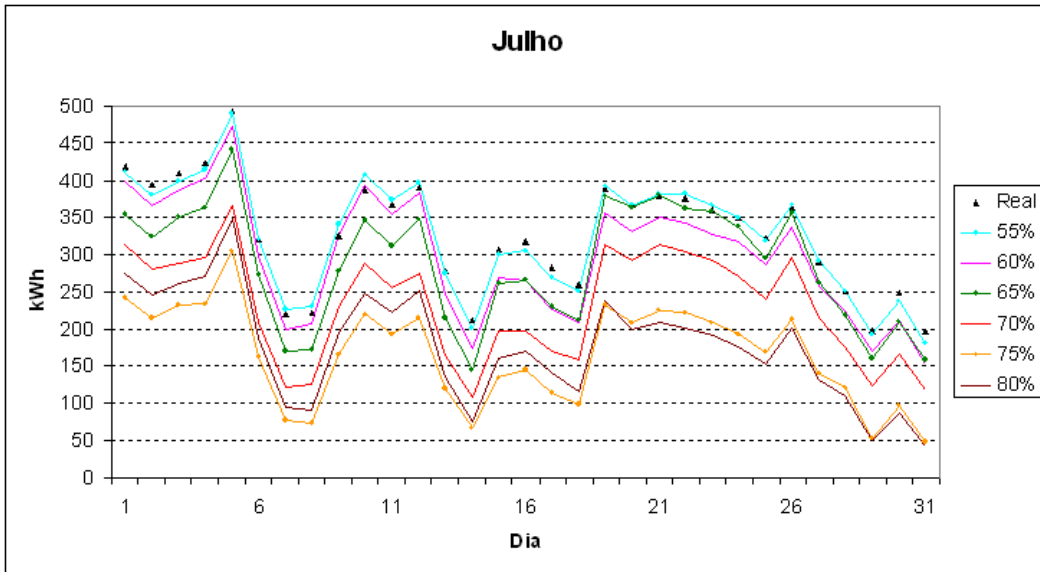


Figura C.6 – Totais diários de energia sensível,  $t_{po}$  - PO









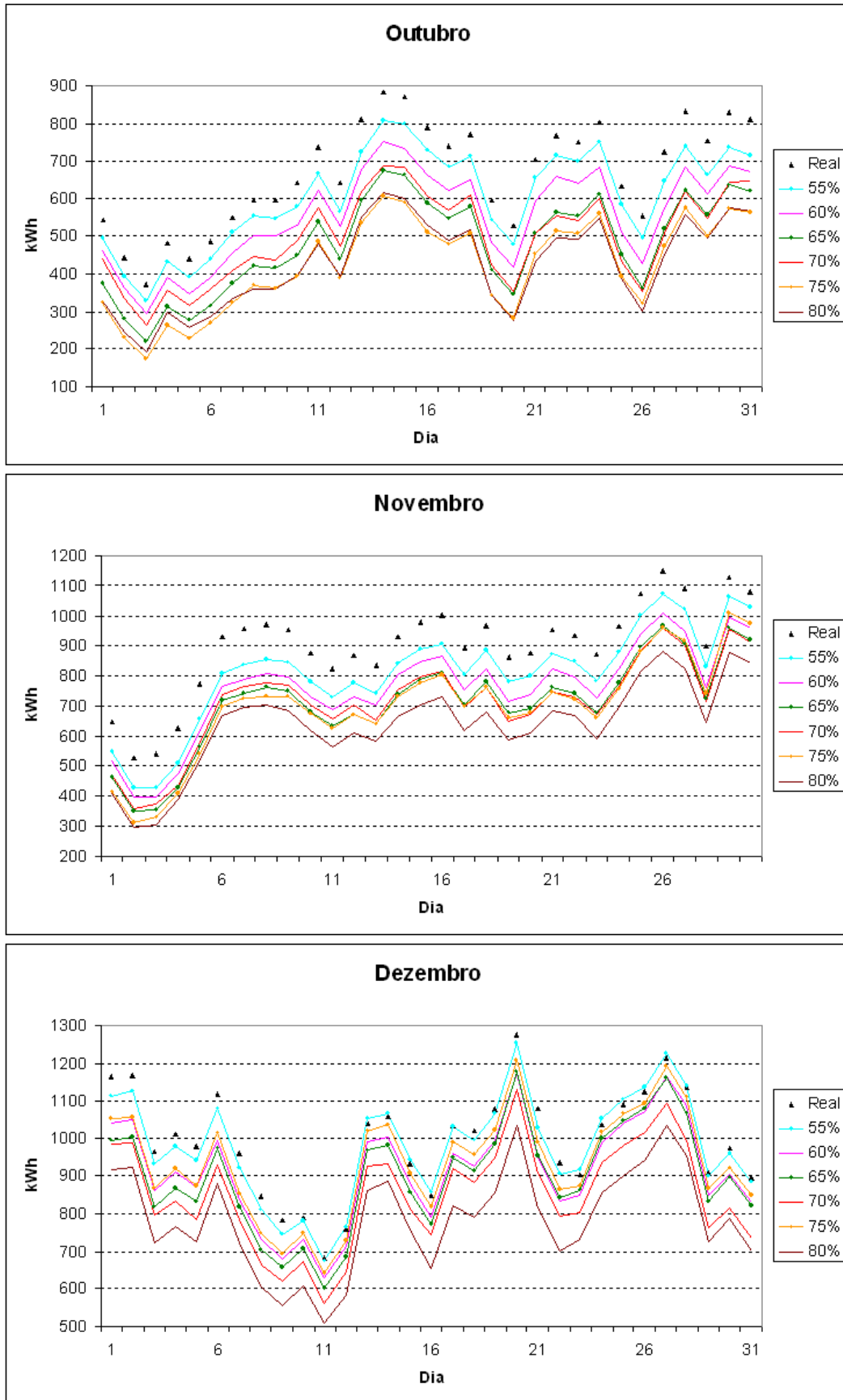
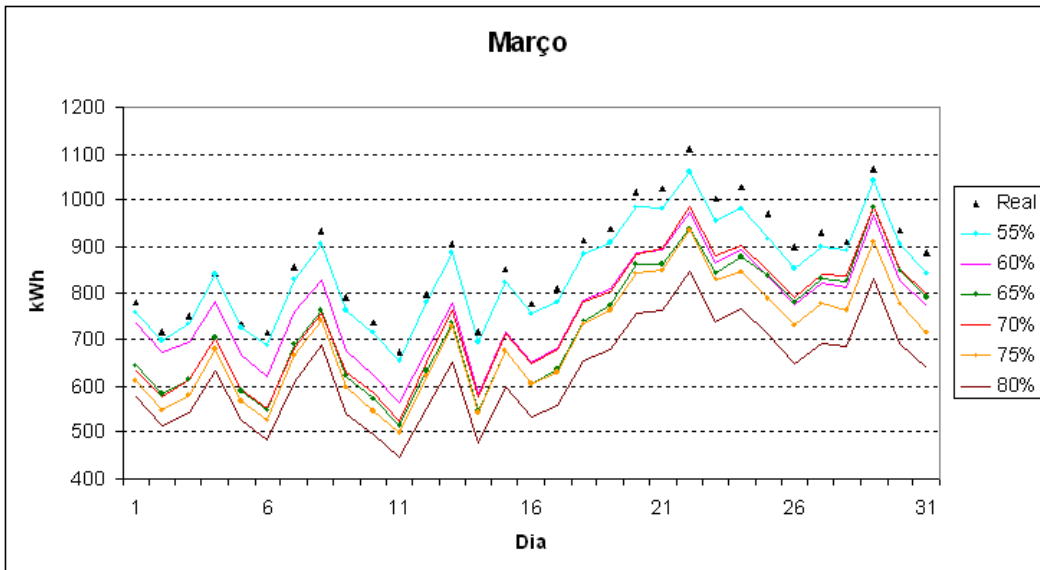
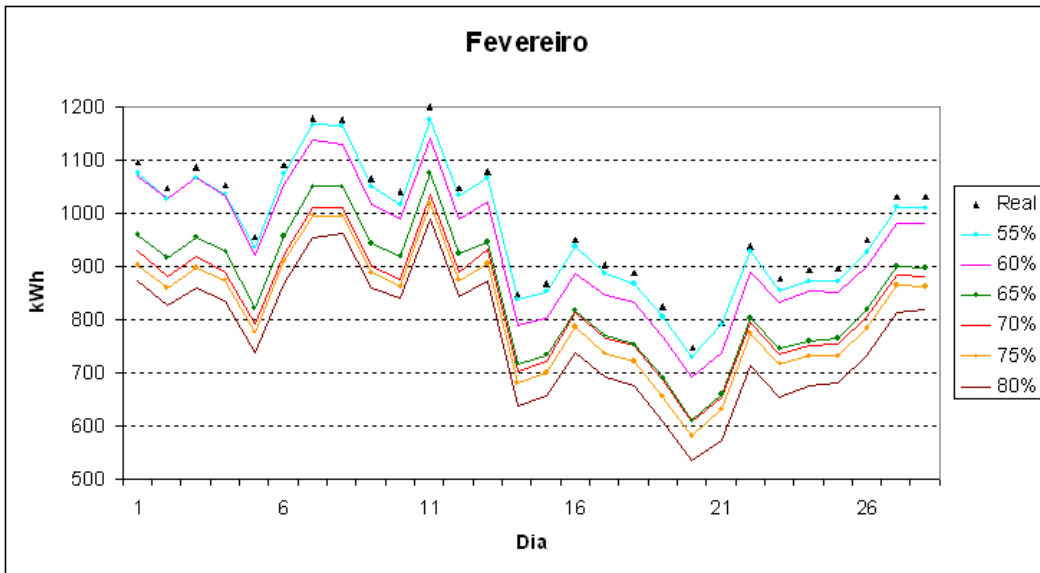
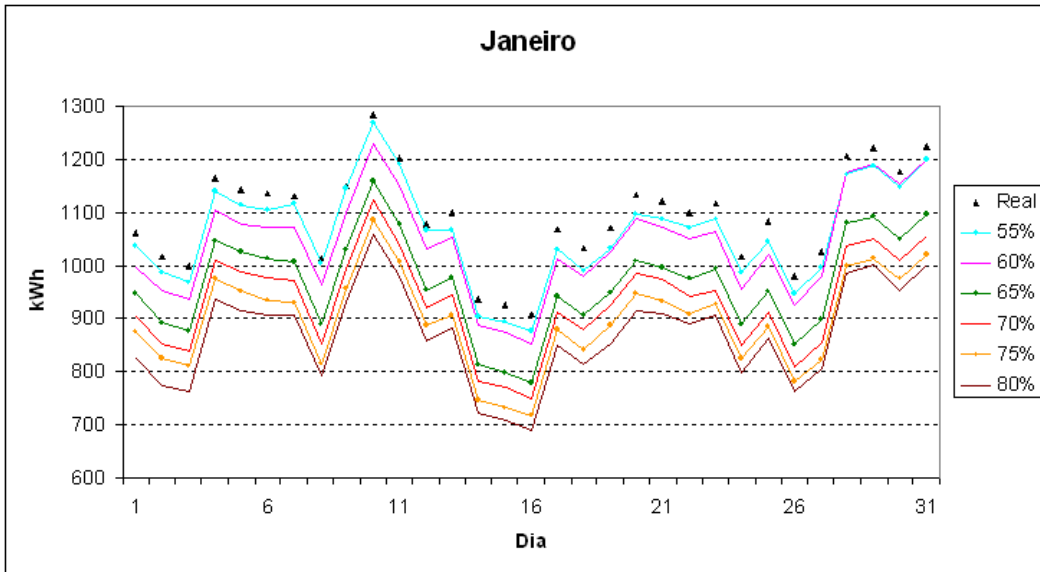
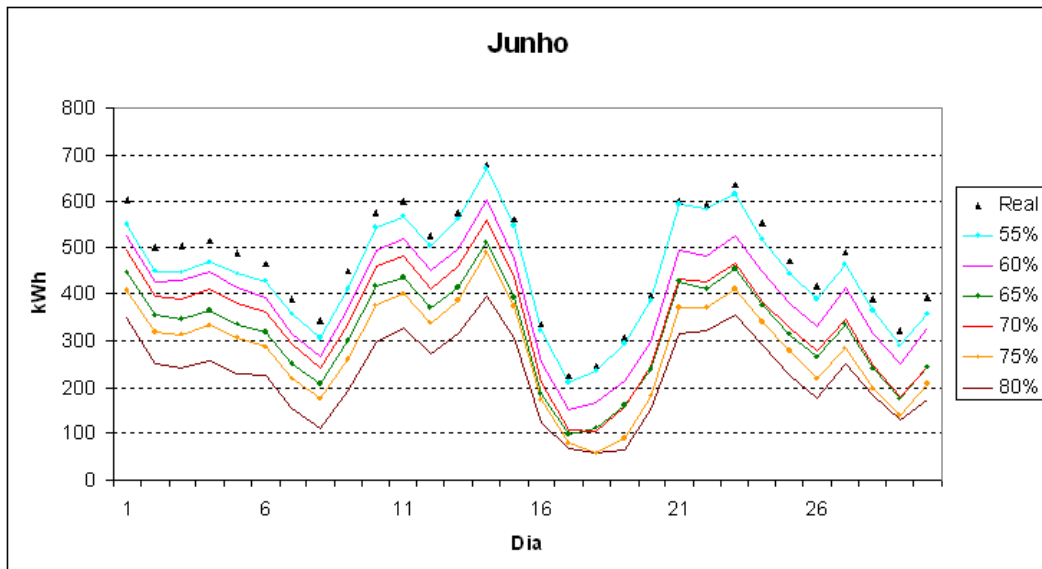
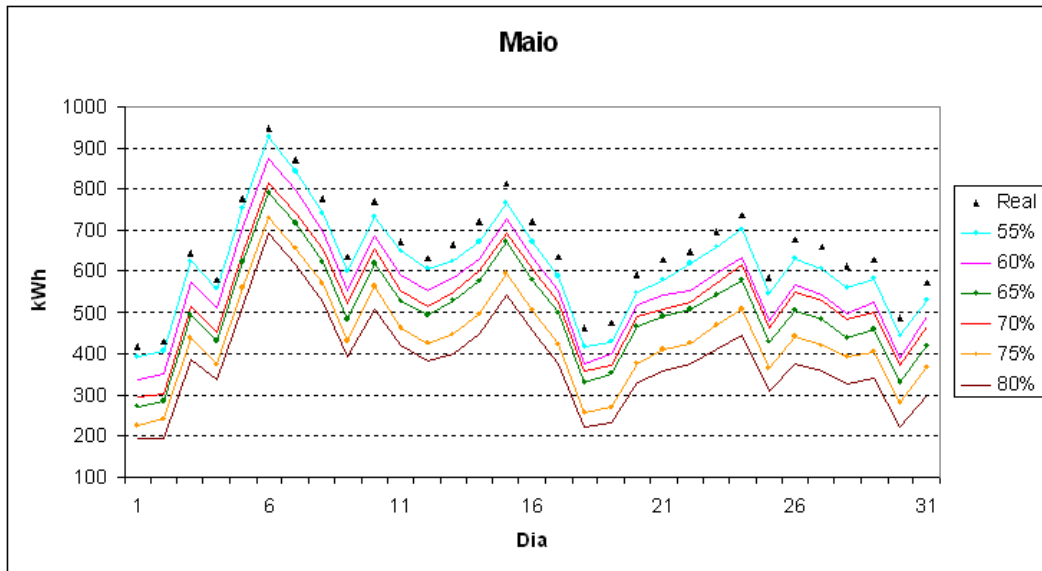
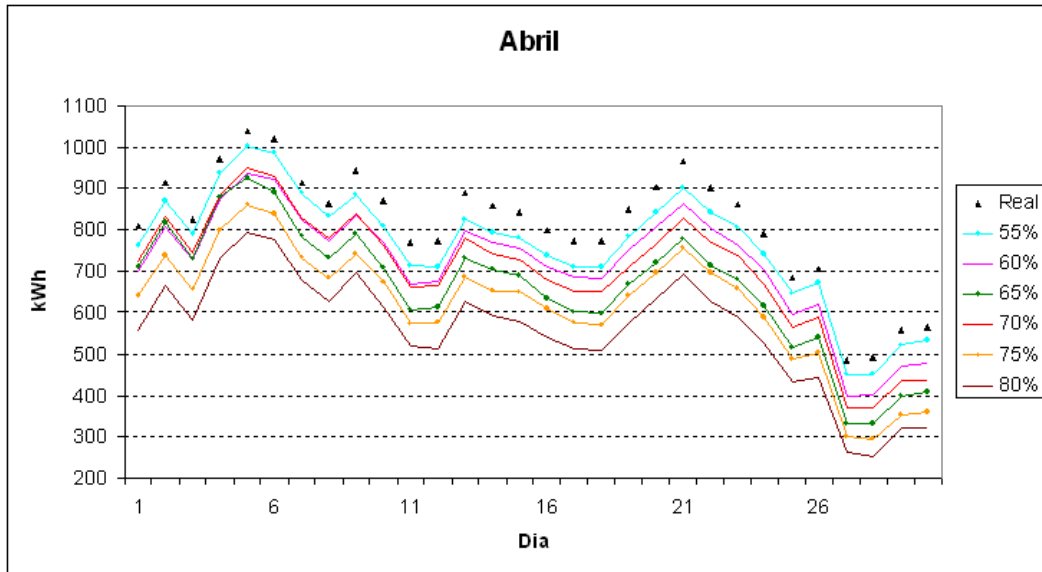
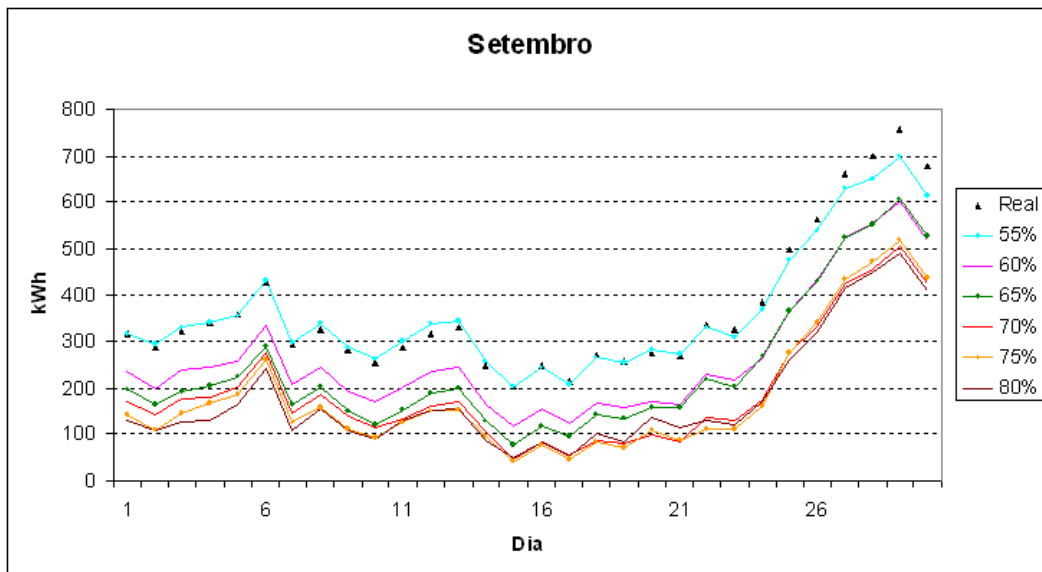
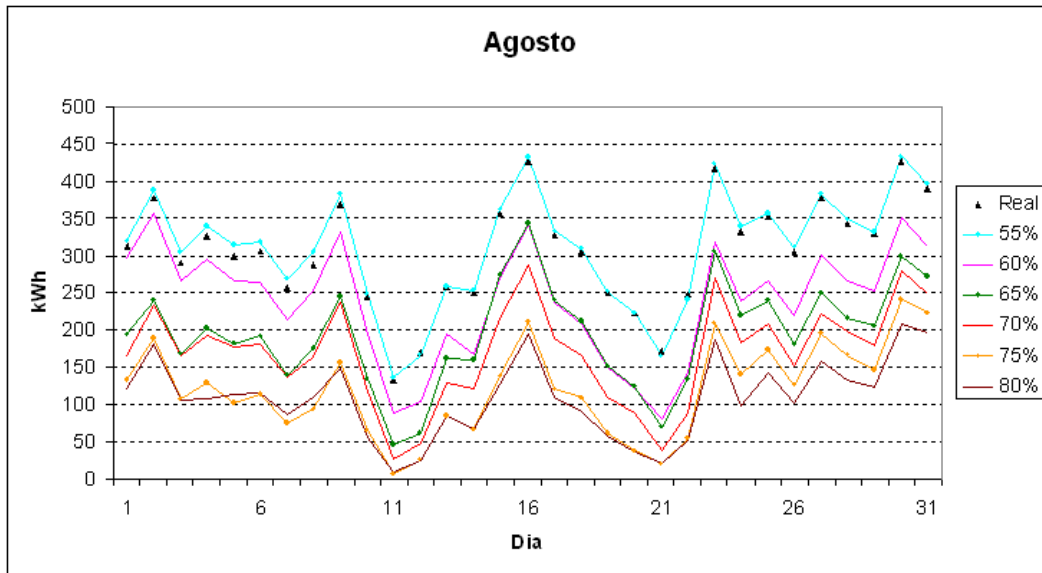
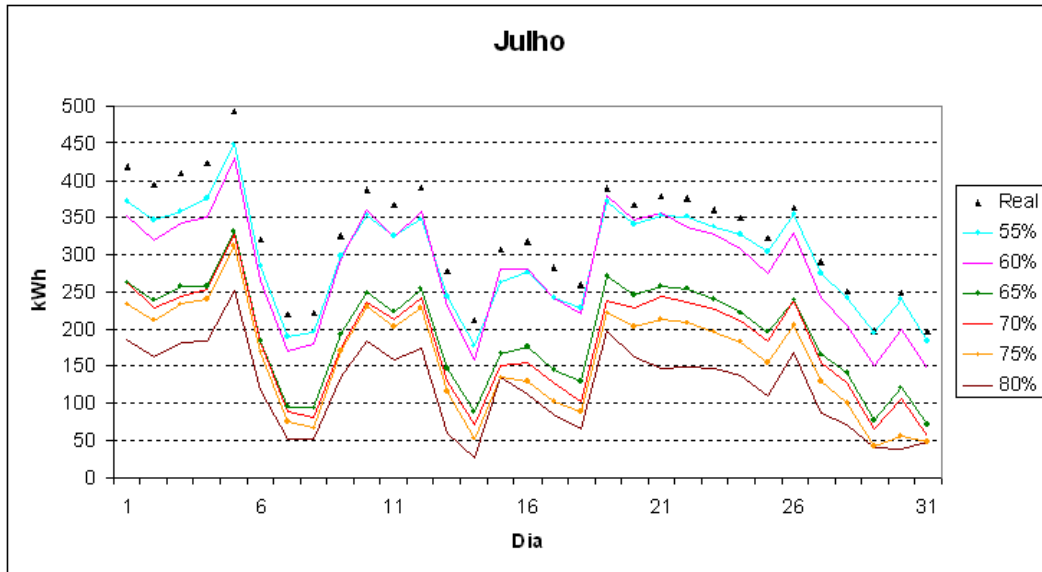


Figura C.7 – Totais diários de energia sensível,  $t_{bh}$  - PR







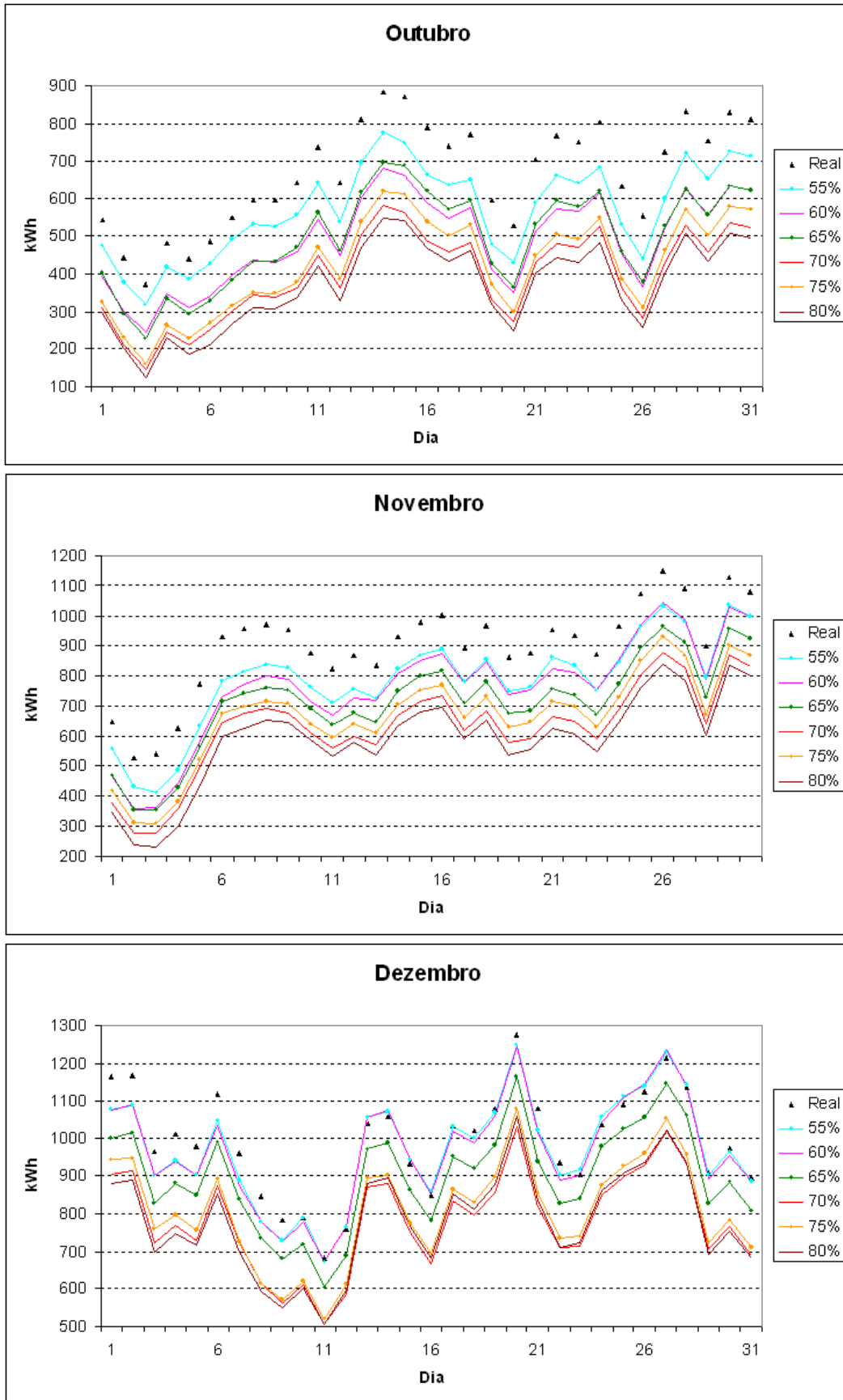
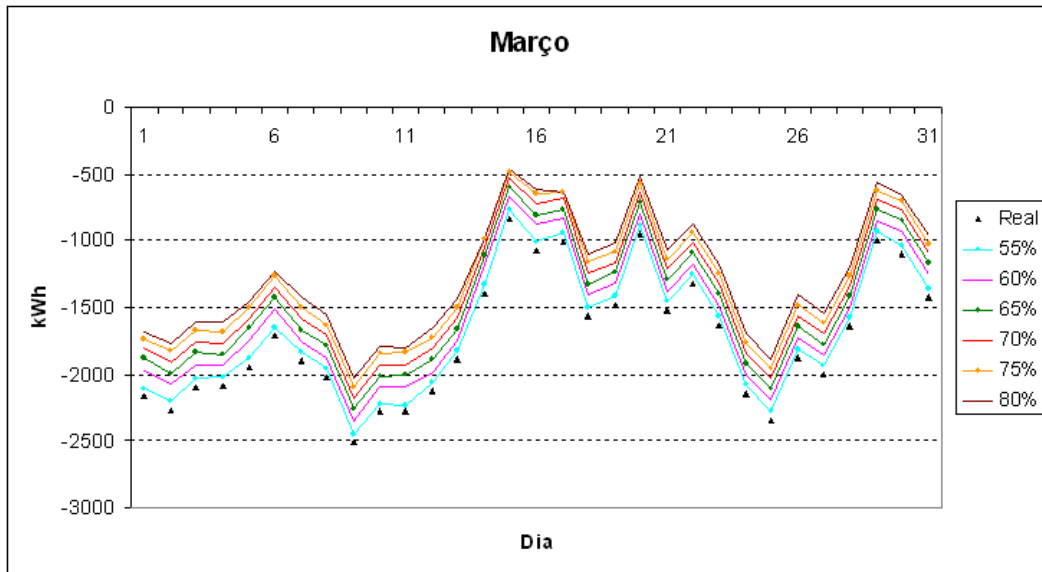
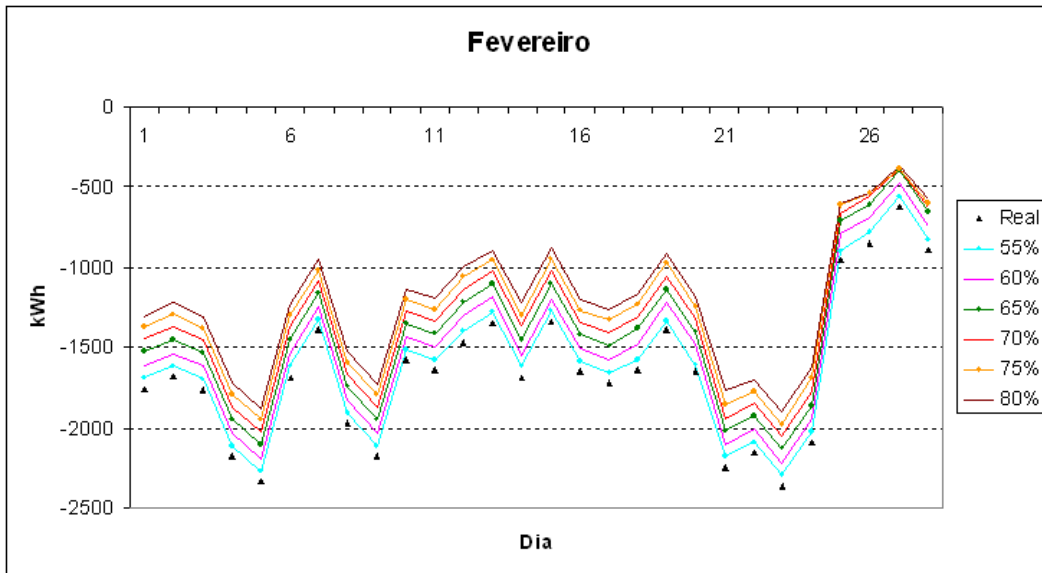
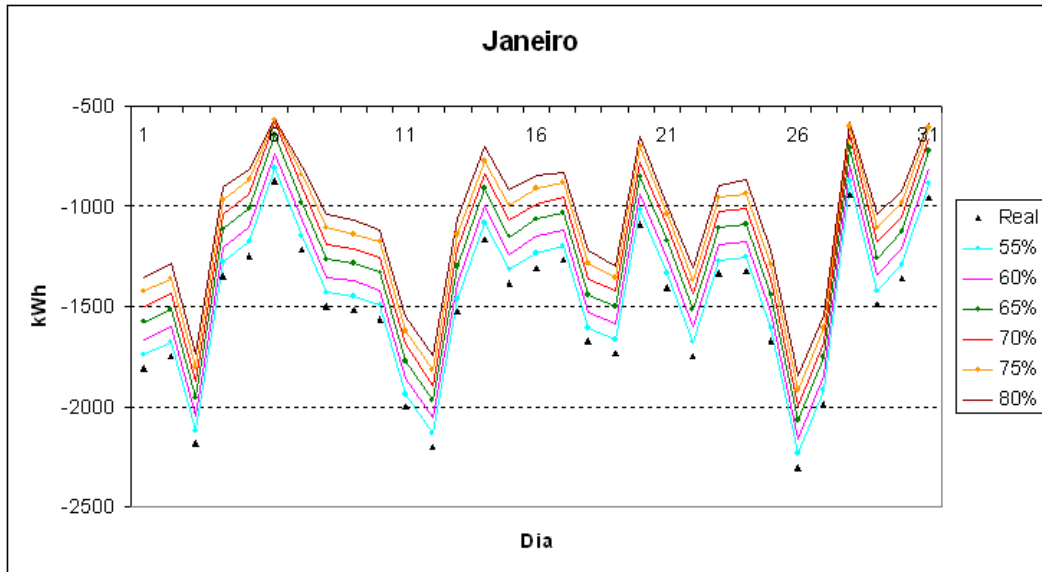
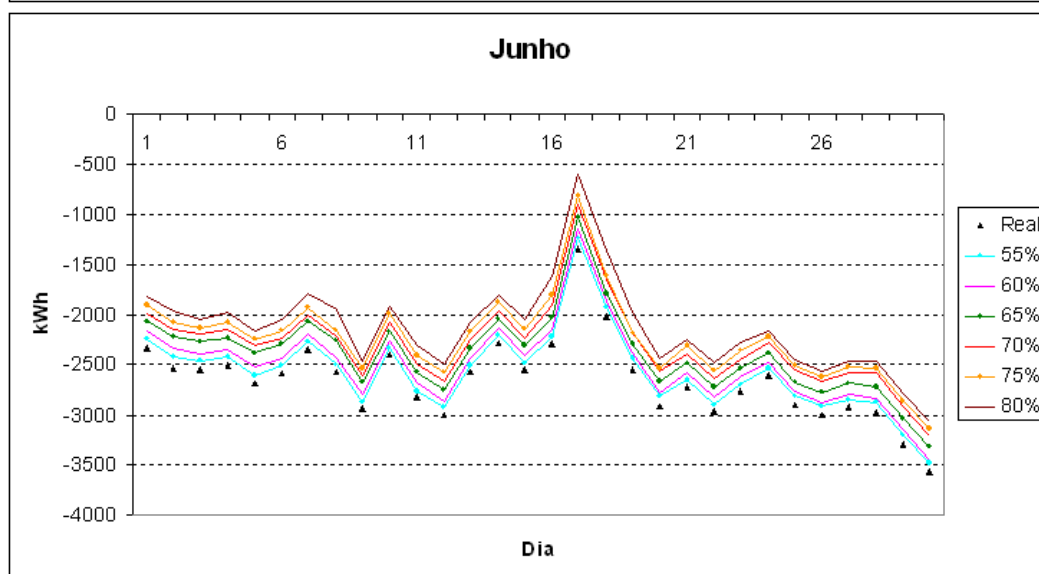
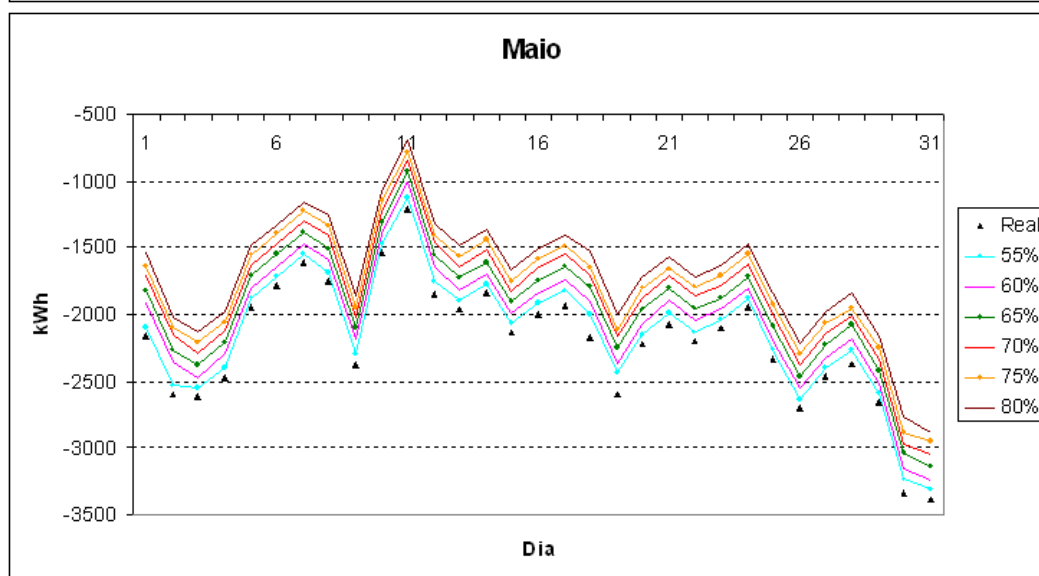
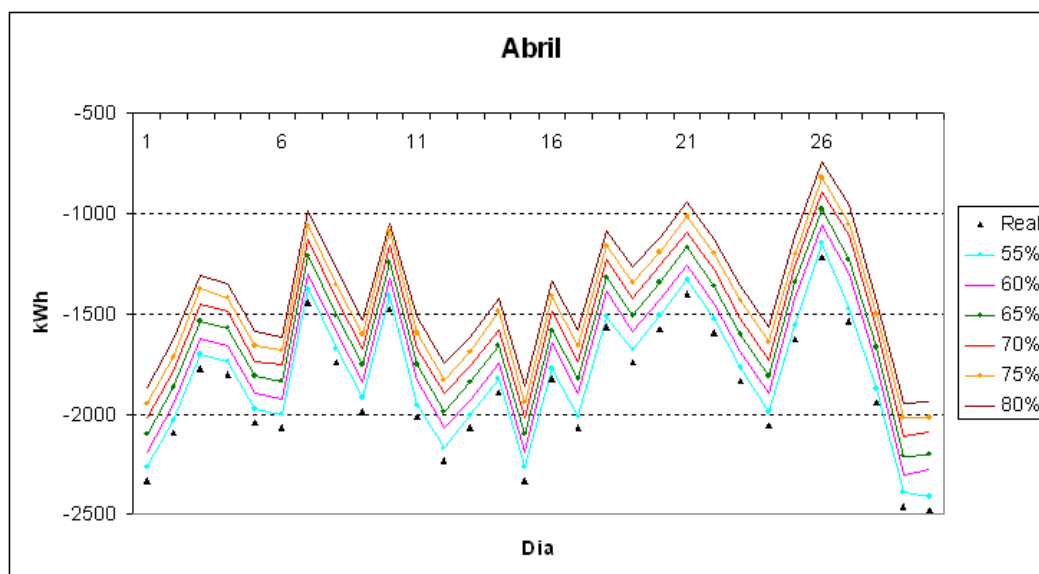
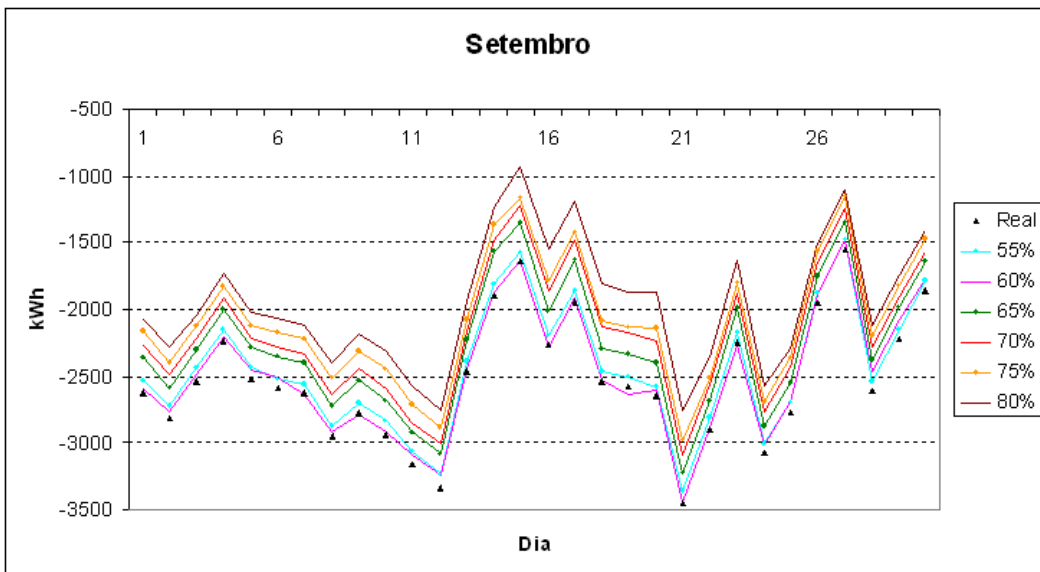
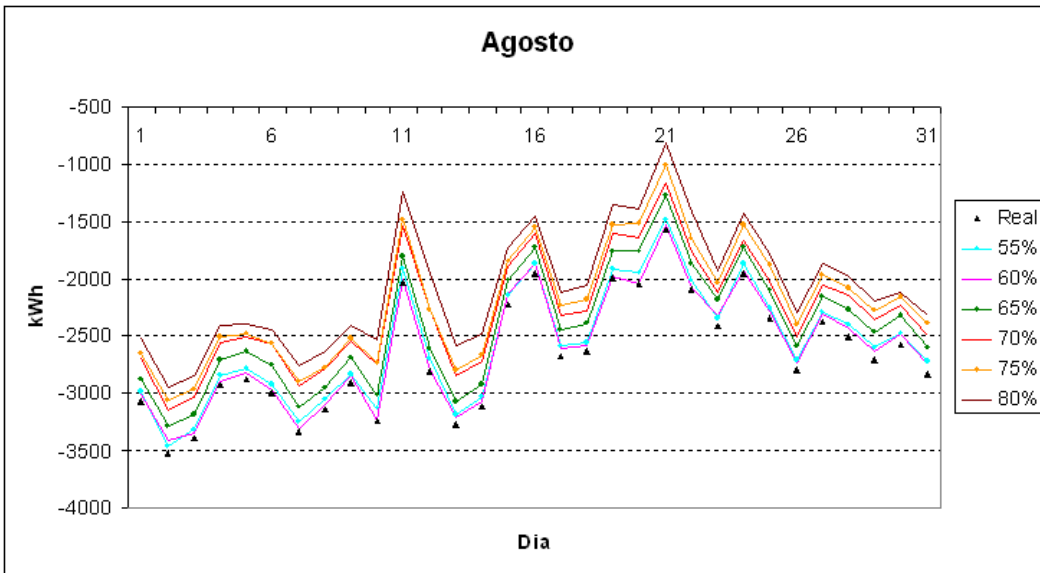
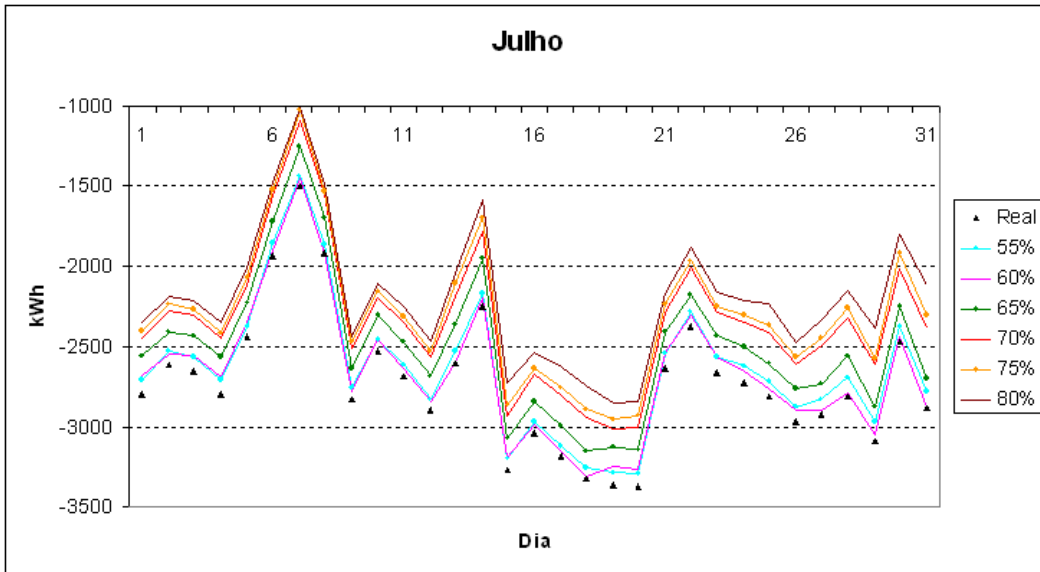


Figura C.8 – Totais diários de energia sensível,  $t_{po}$  - PR









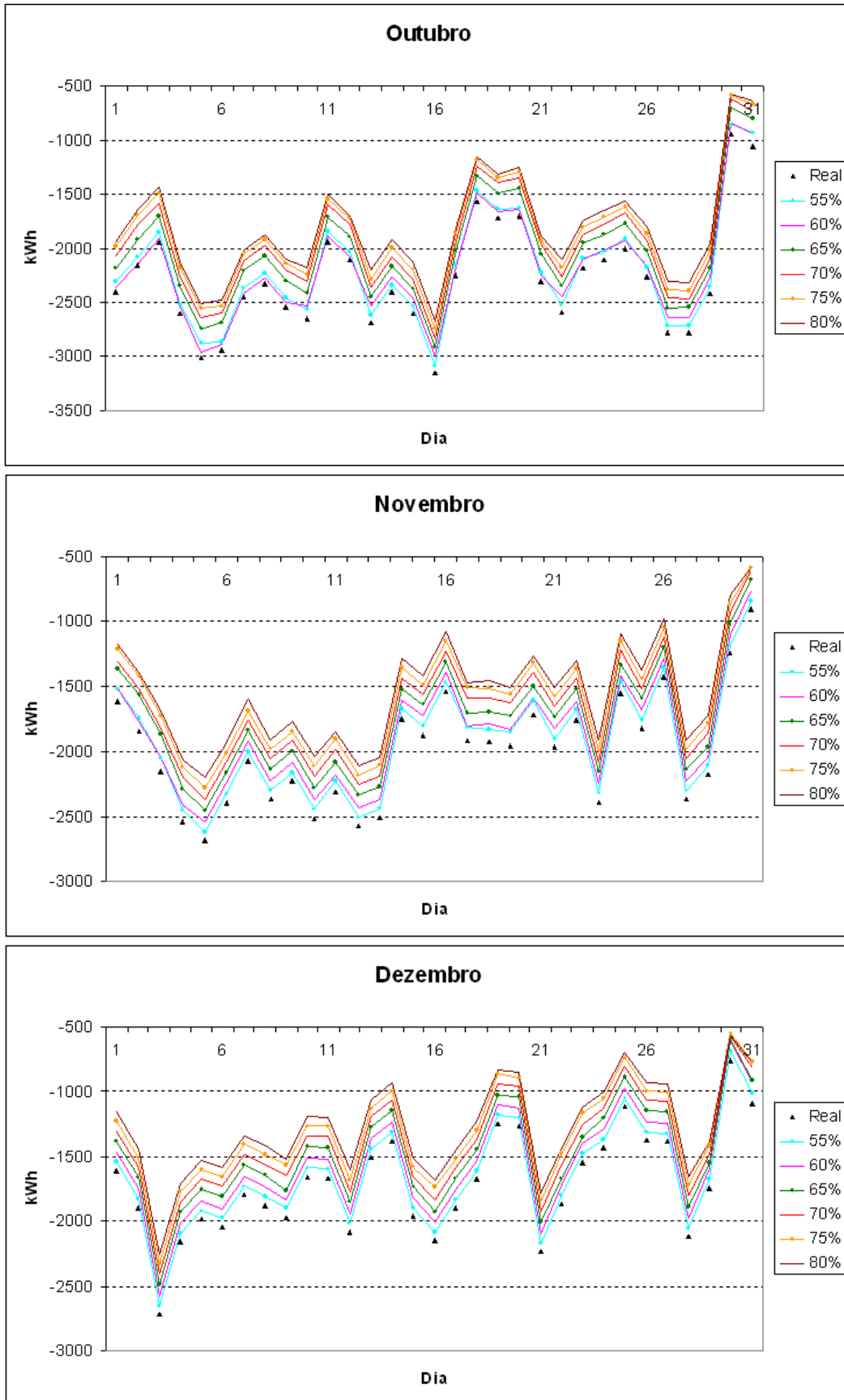
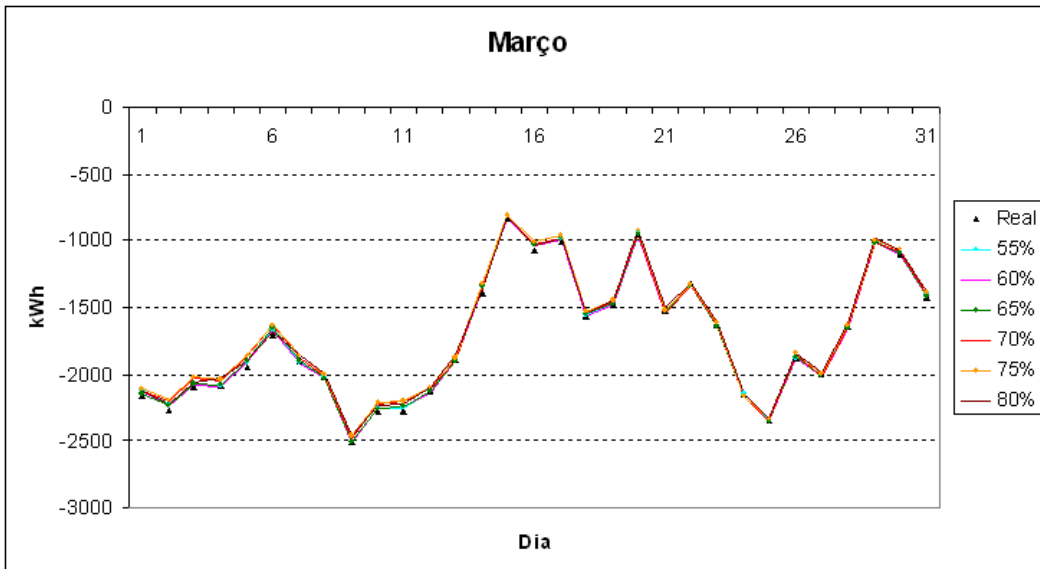
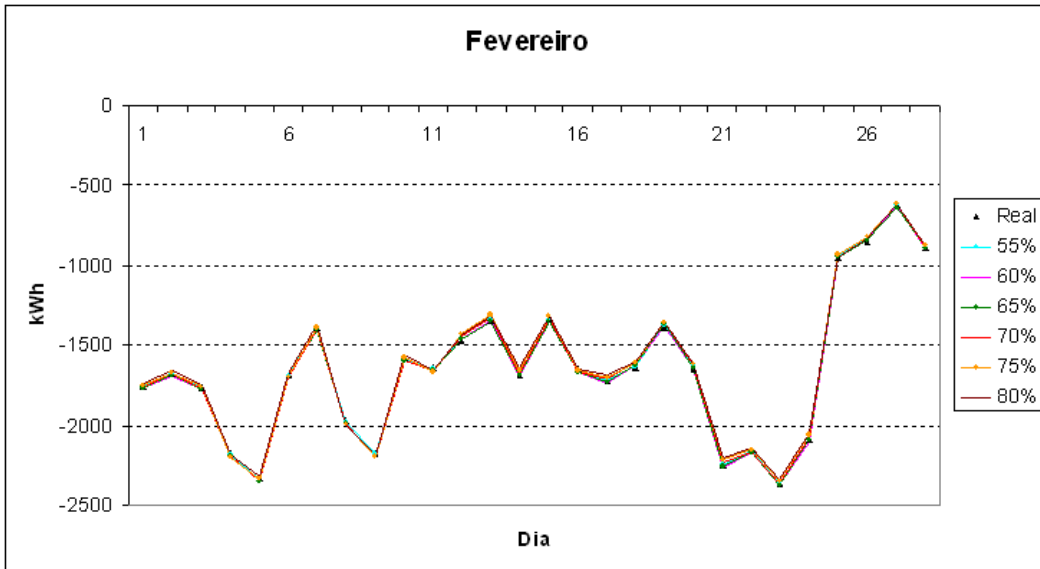
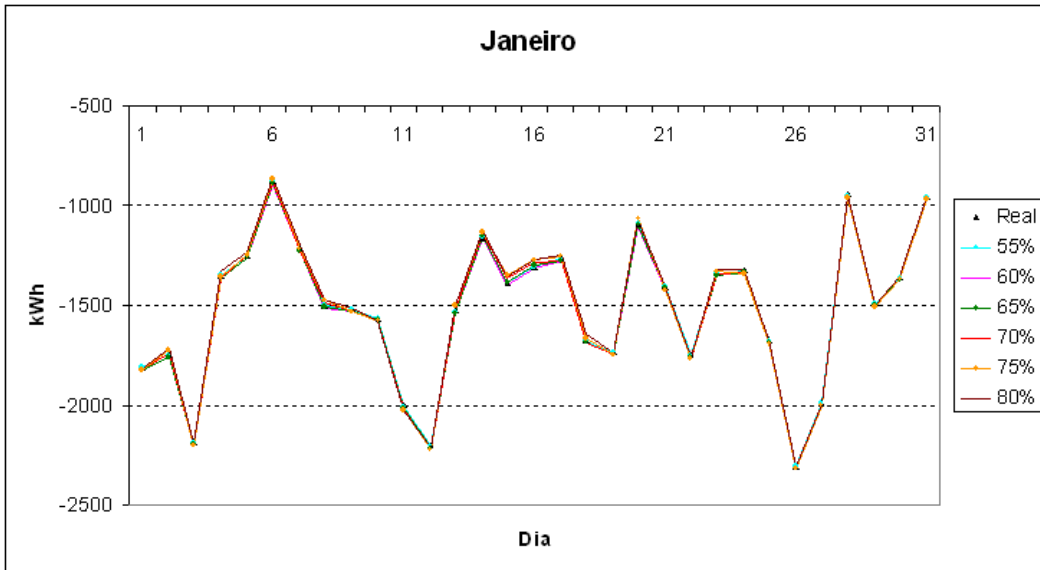
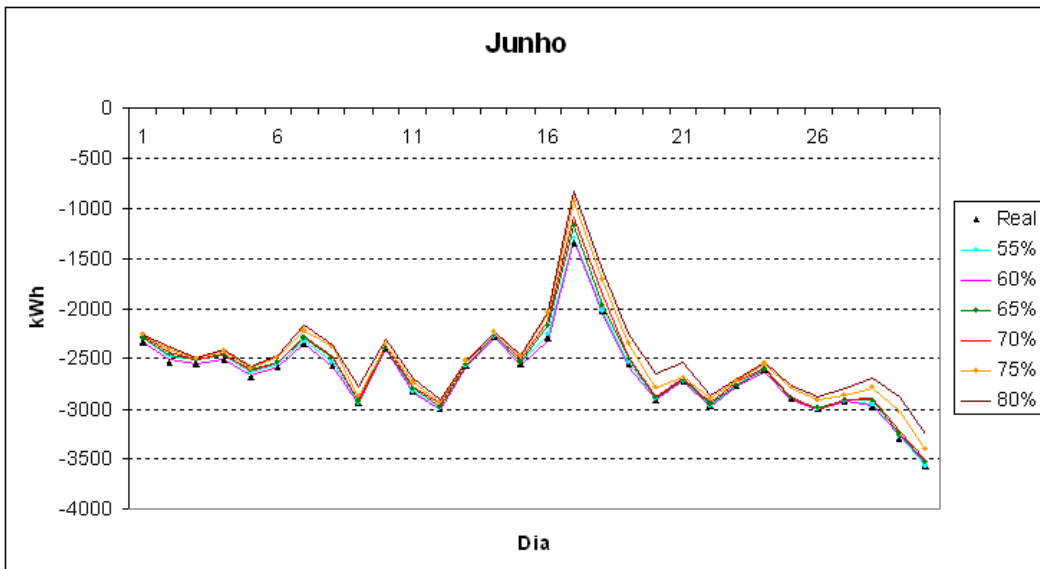
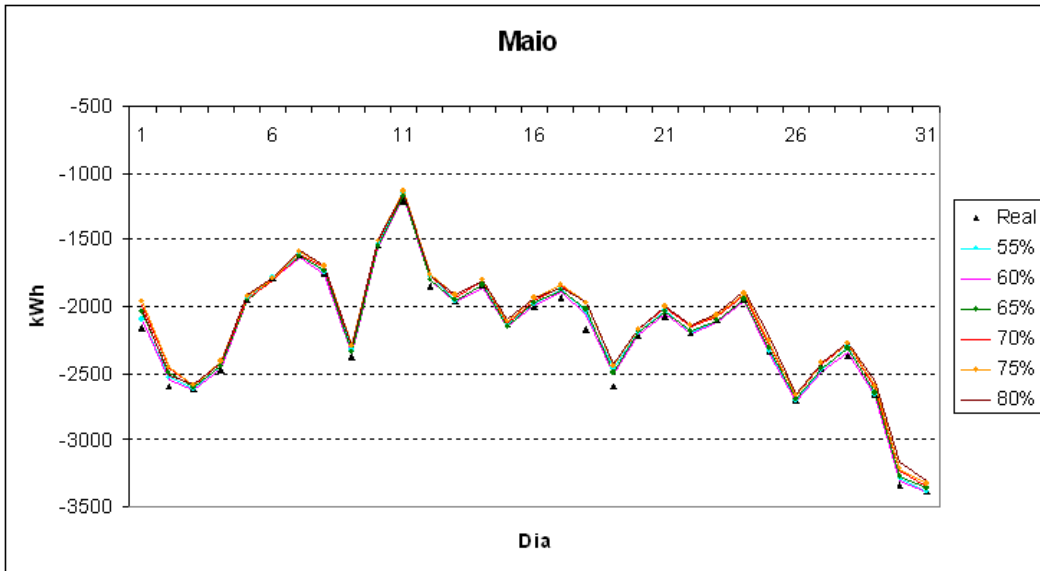
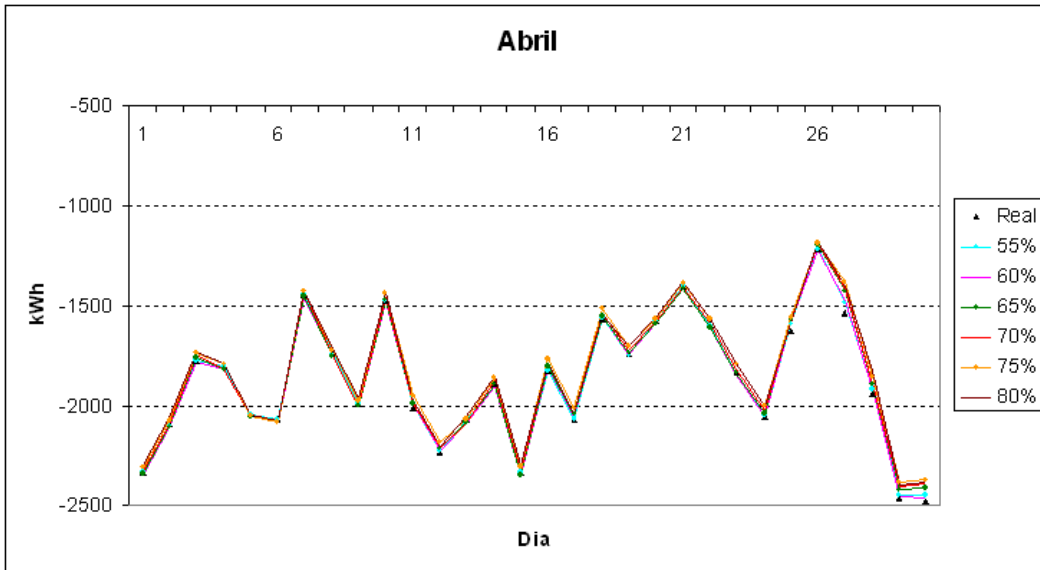
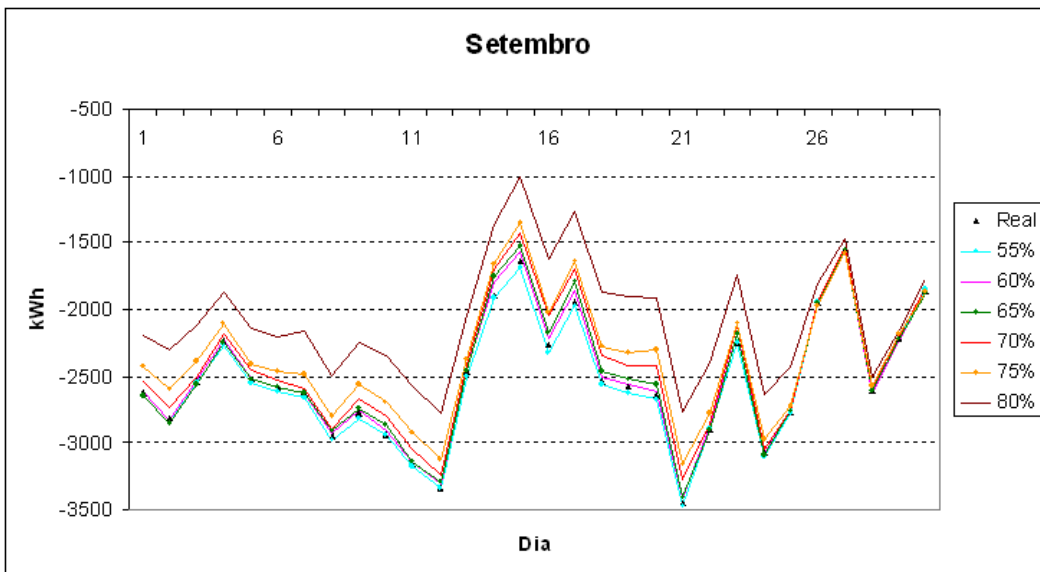
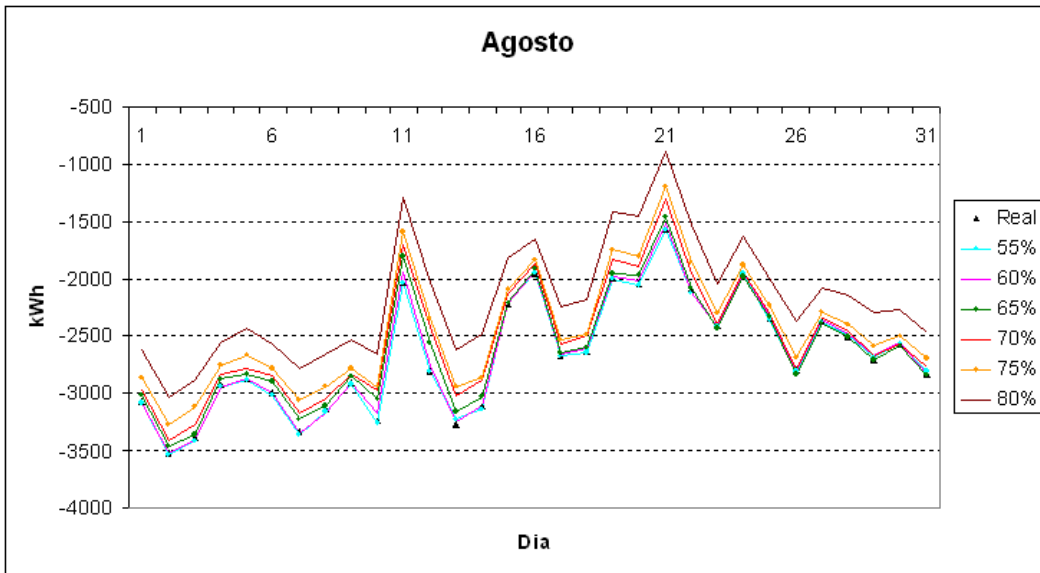
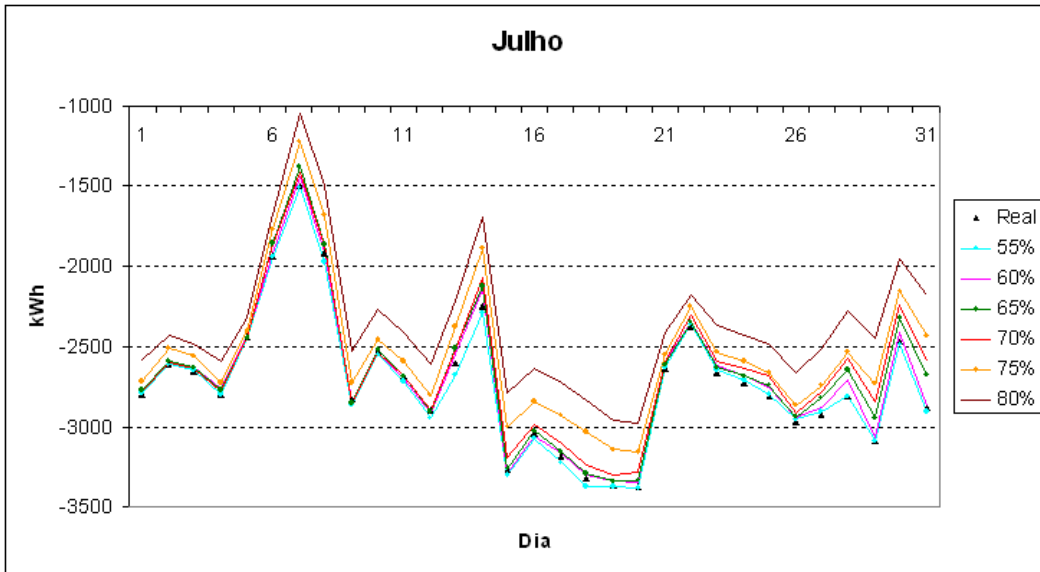


Figura C.9 – Totais diários de energia latente,  $t_{bh}$  - PO







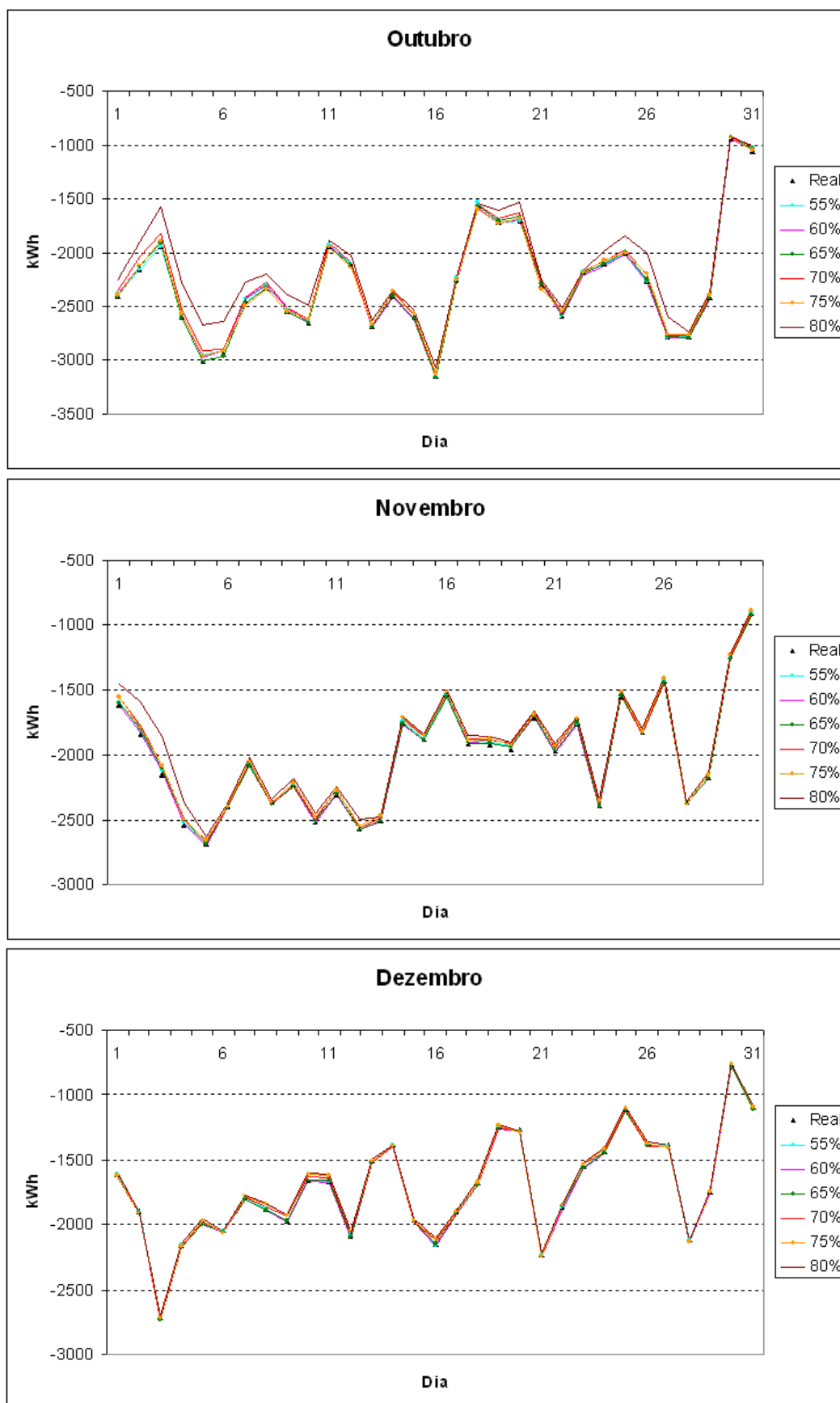
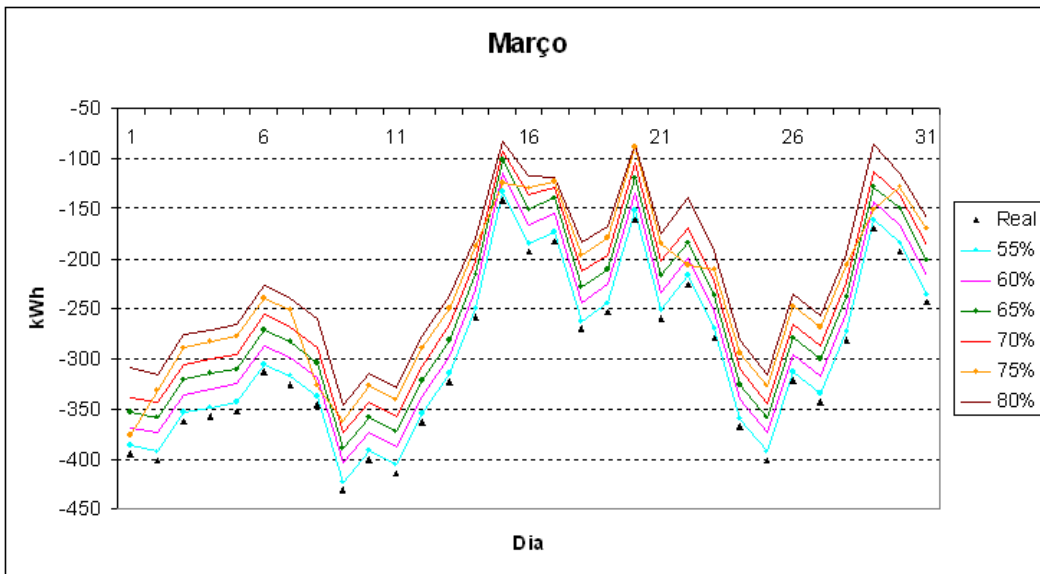
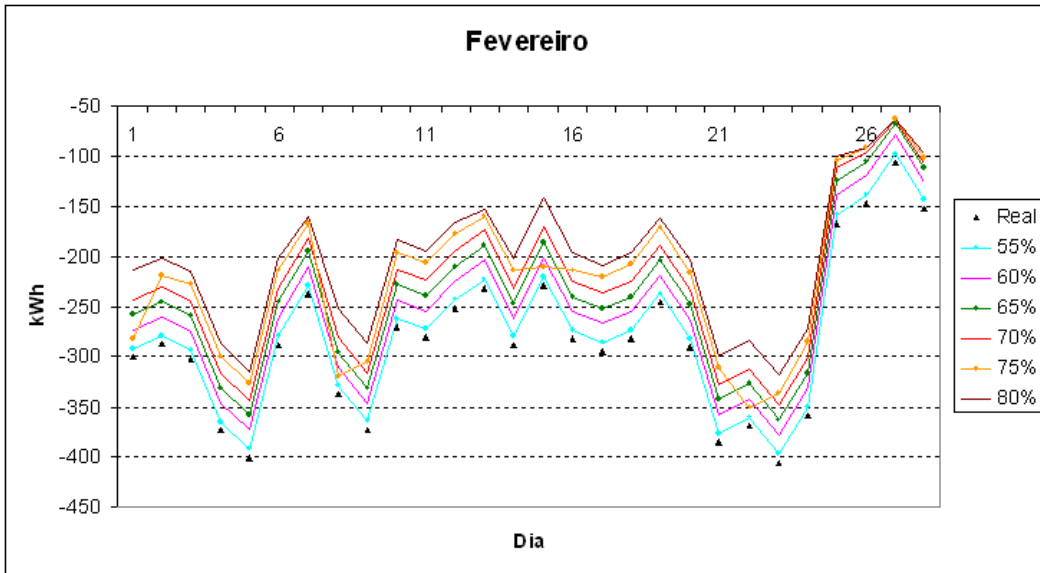
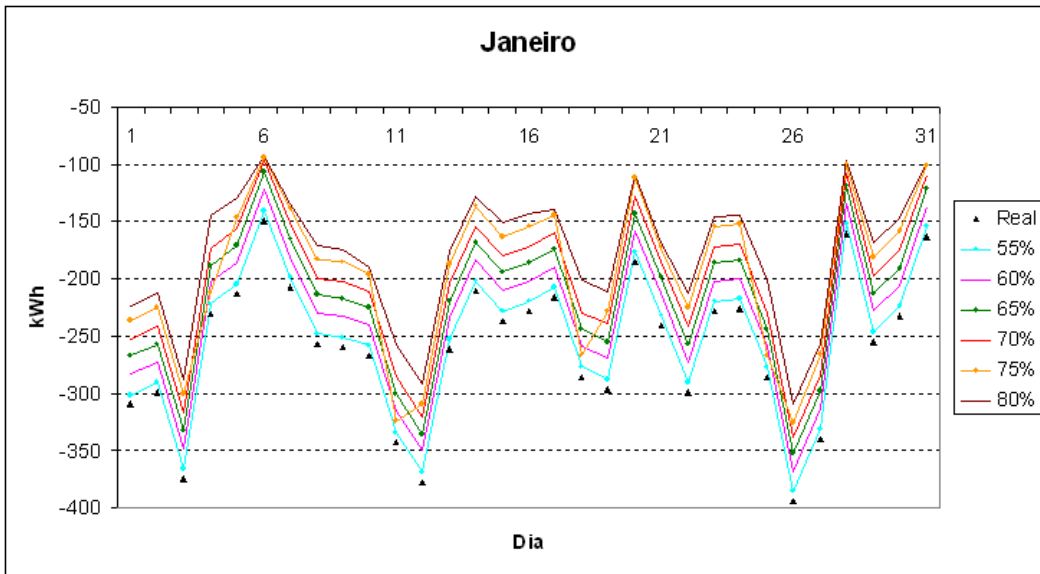
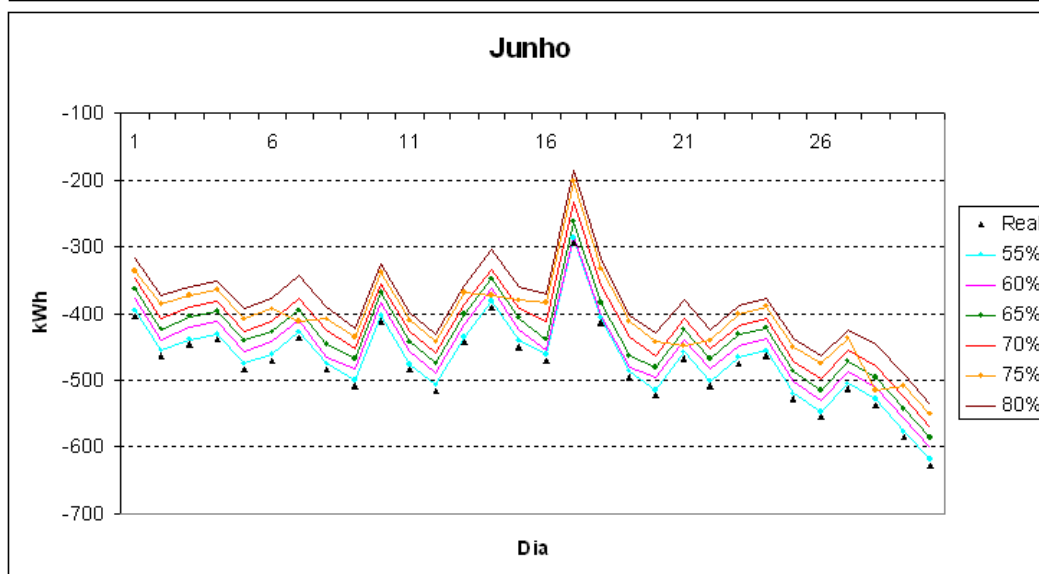
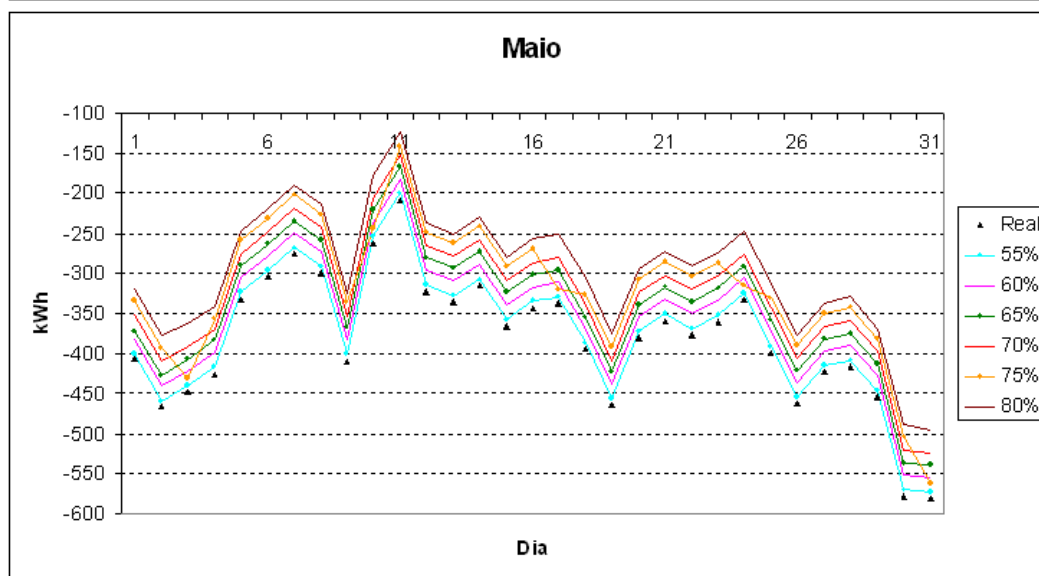
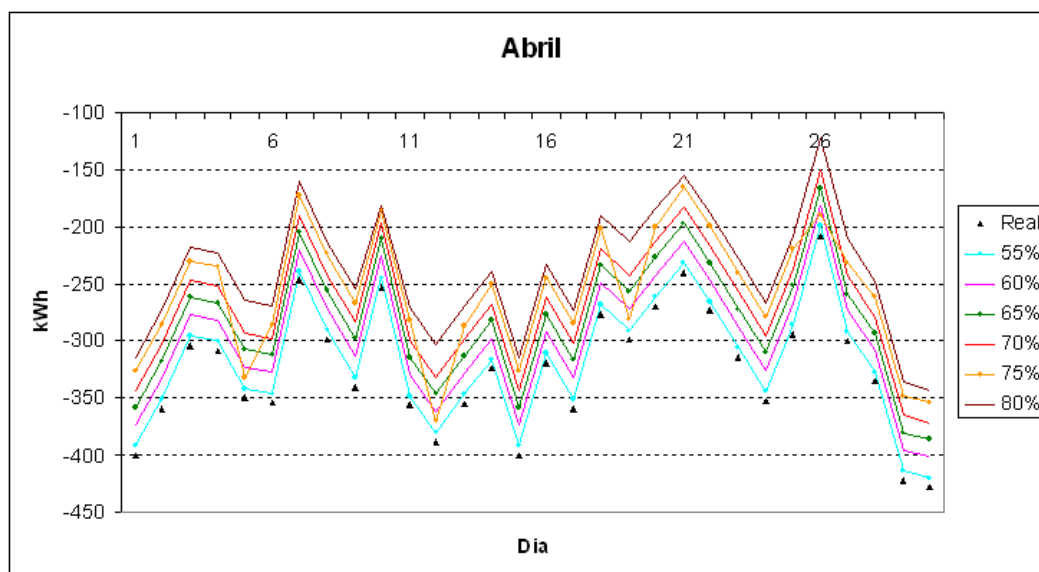
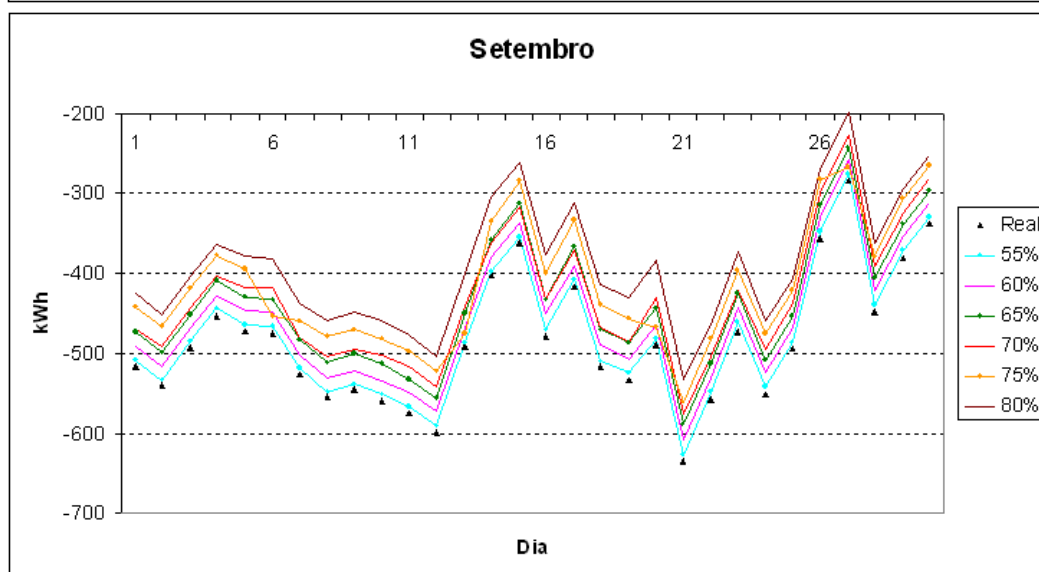
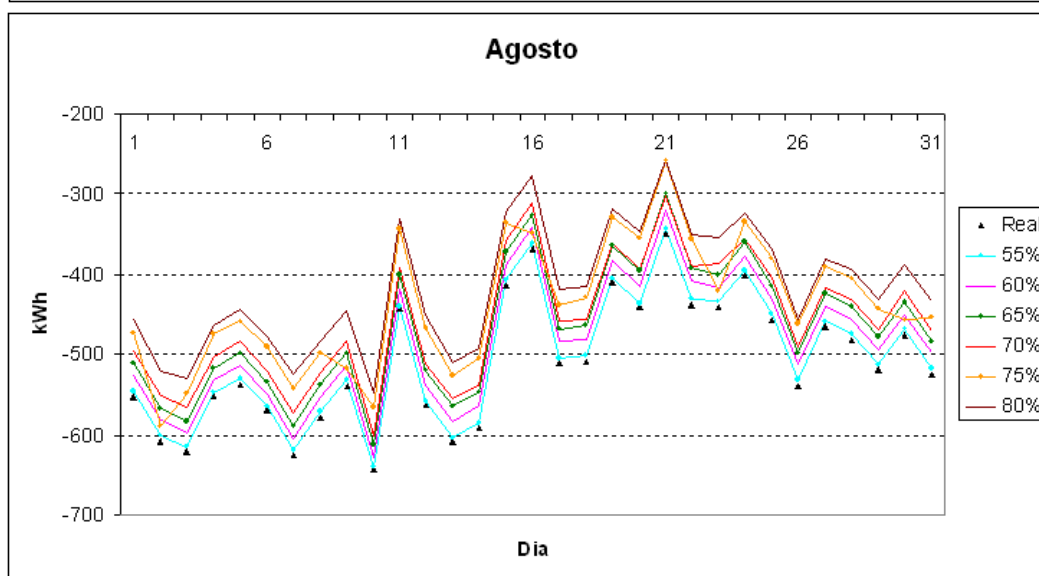
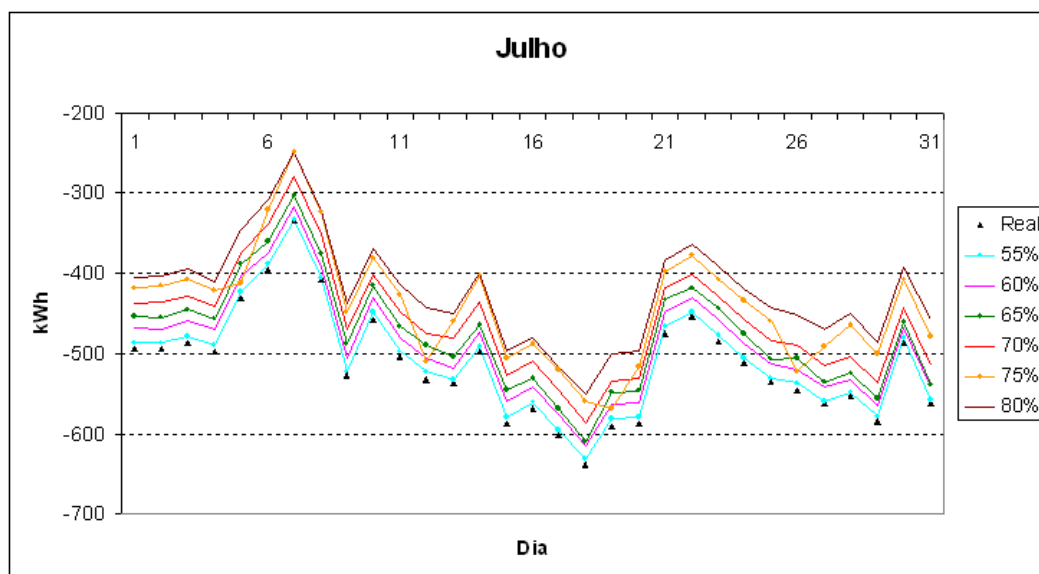


Figura C.10 – Totais diários de energia latente,  $t_{po}$  - PO









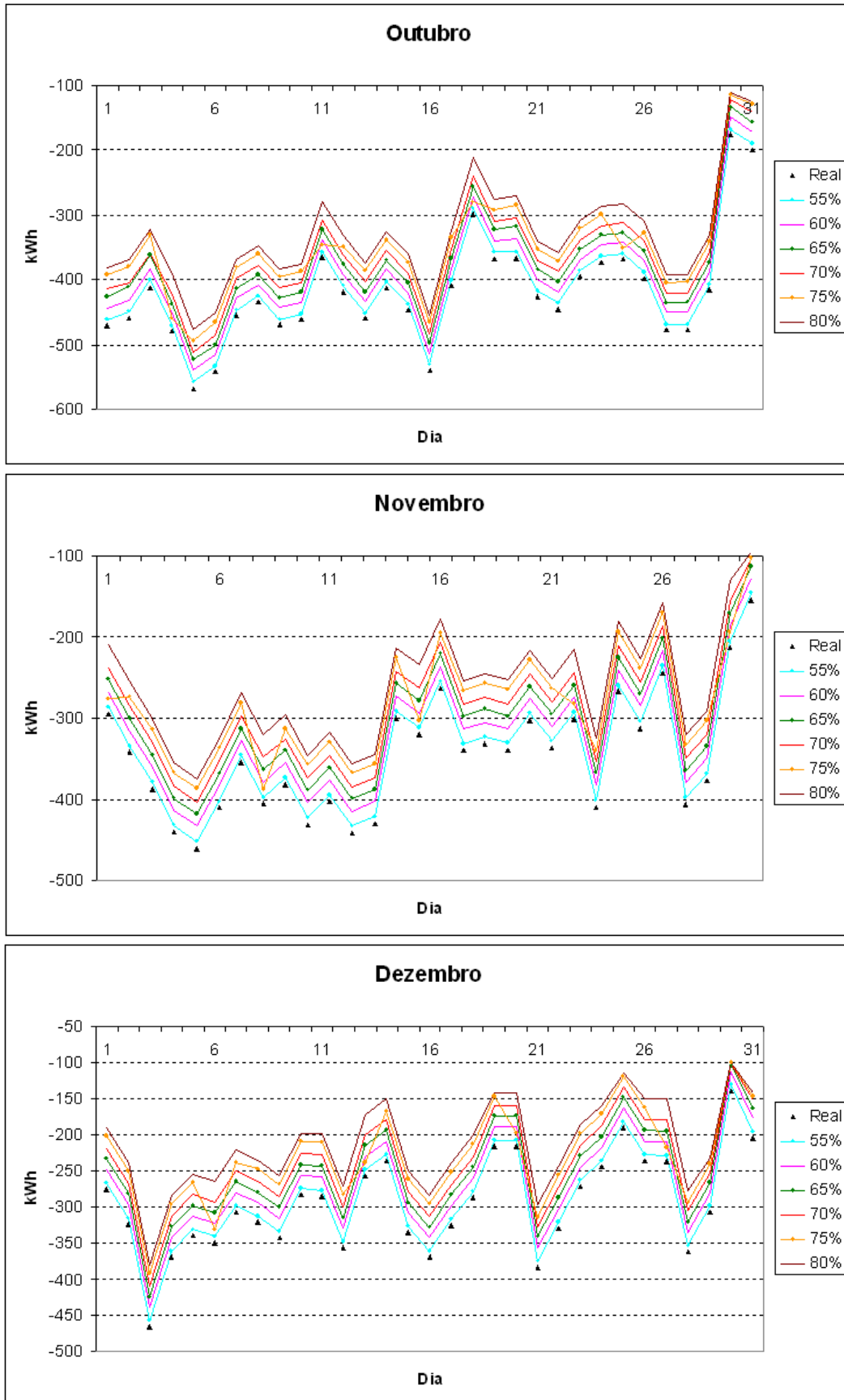
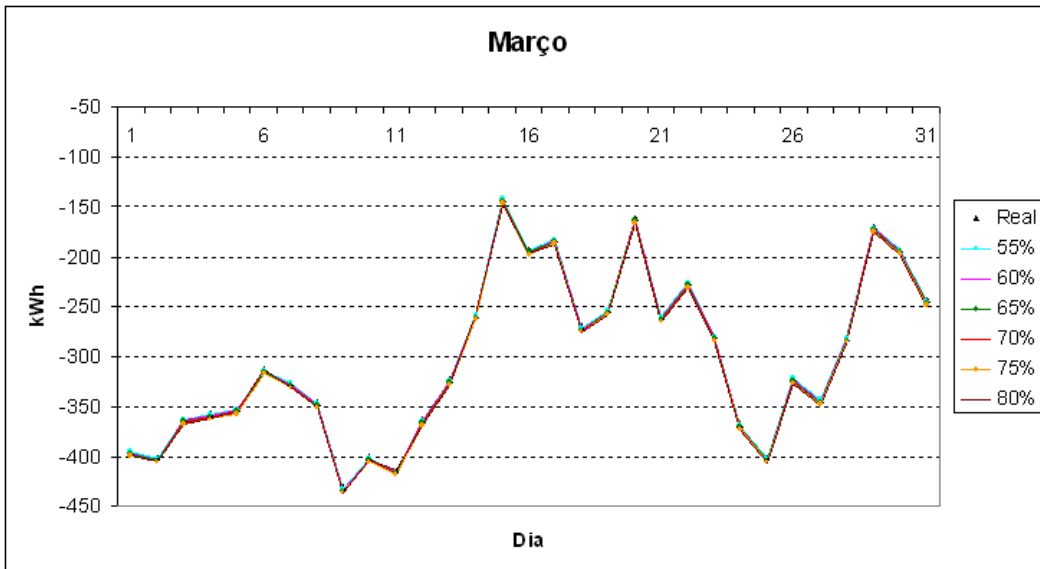
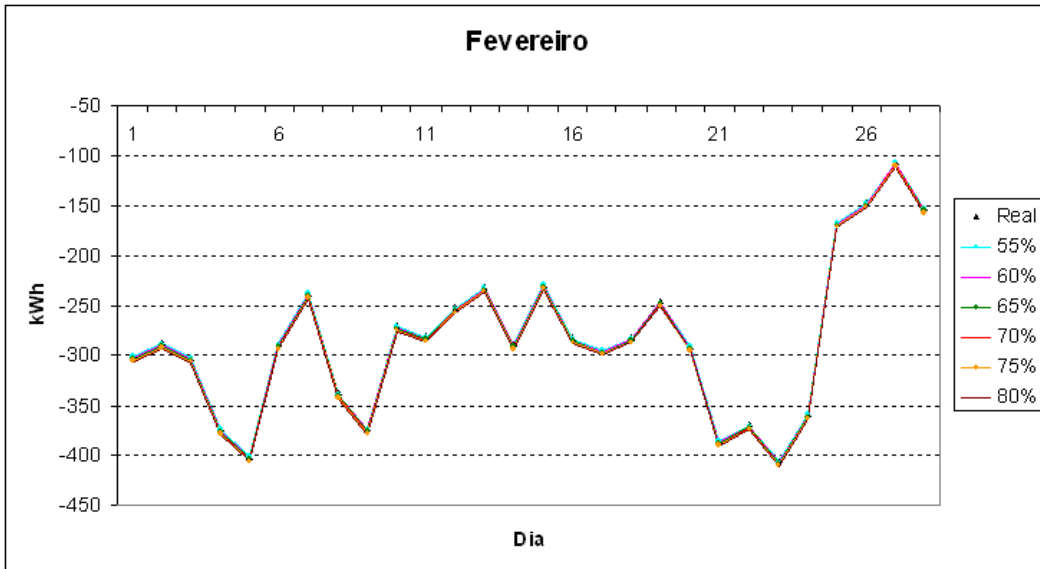
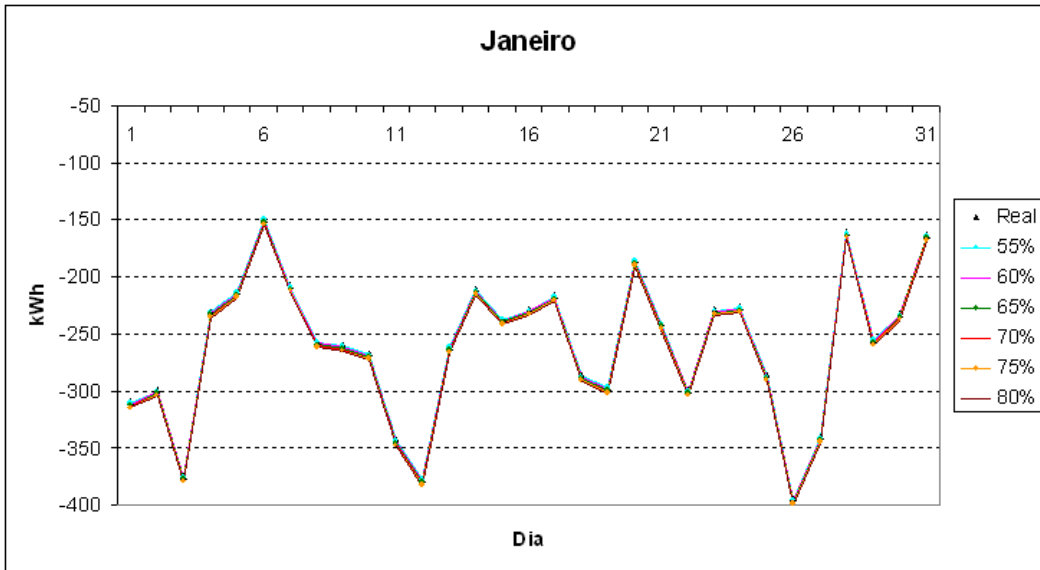
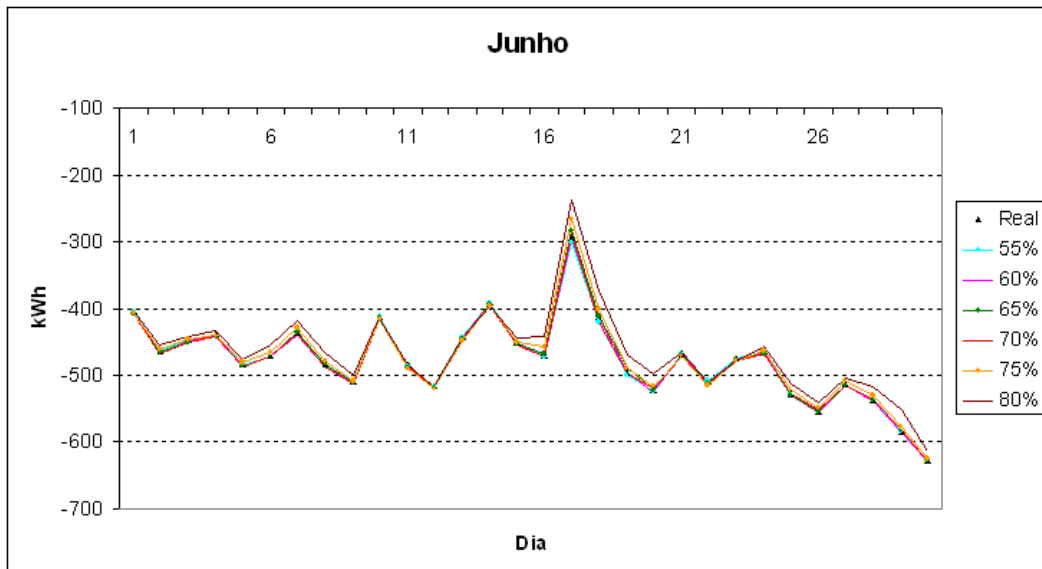
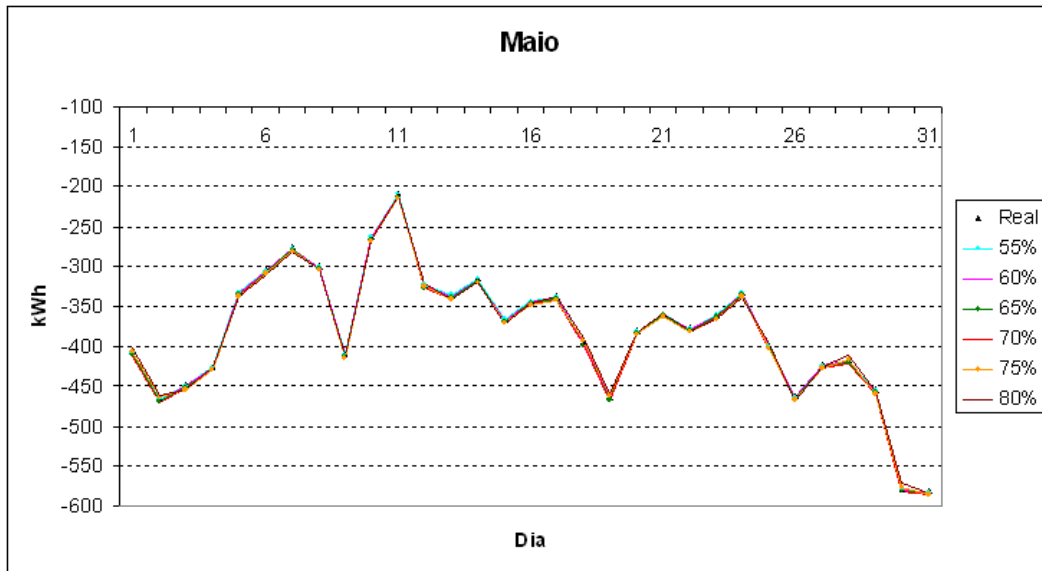
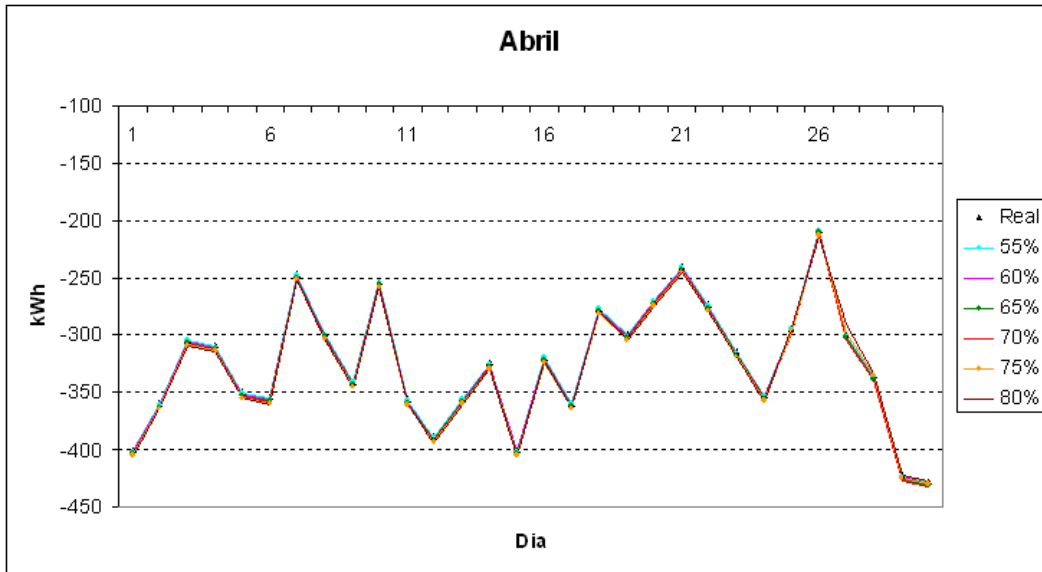
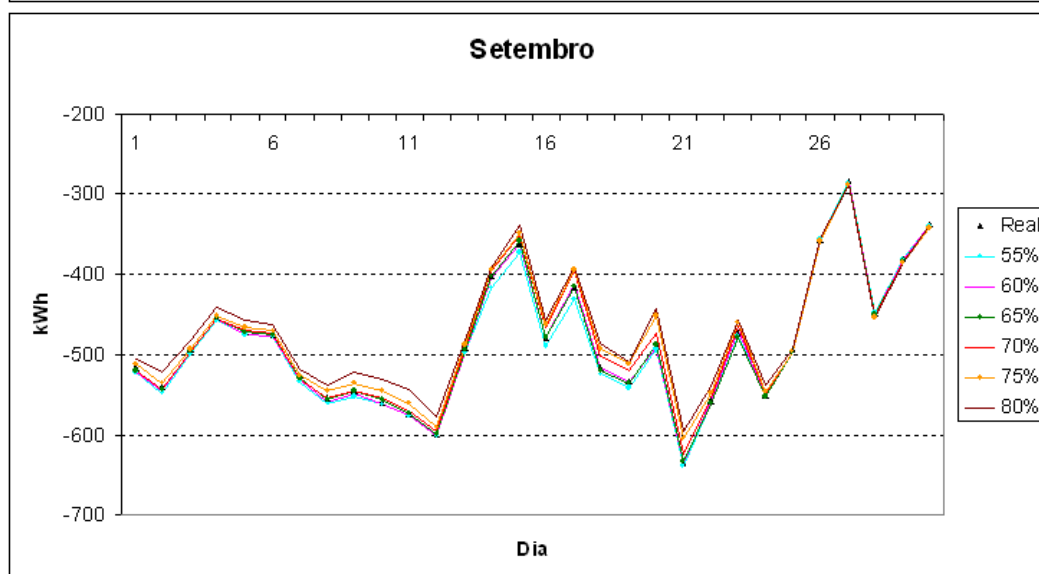
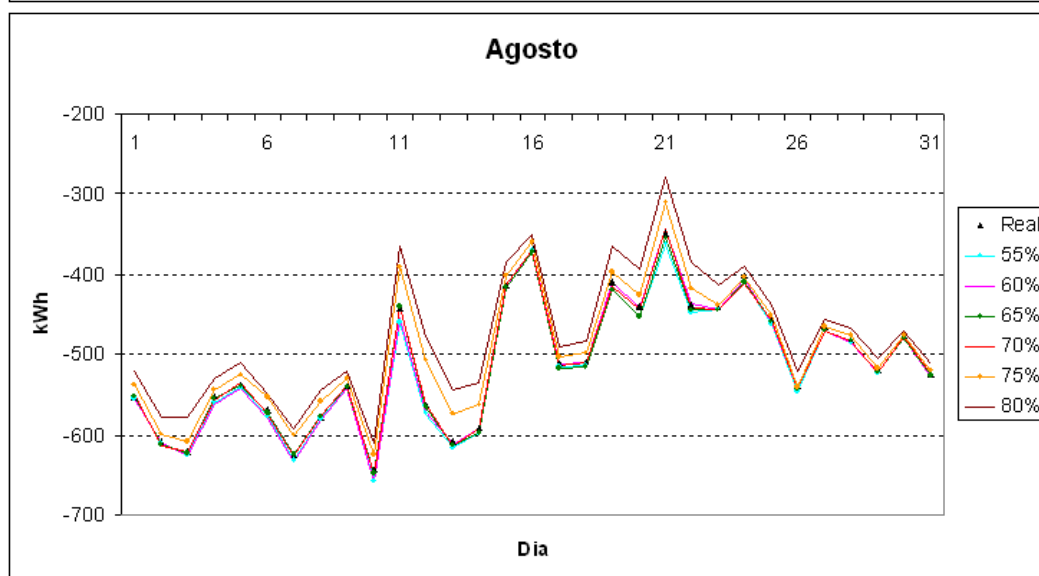
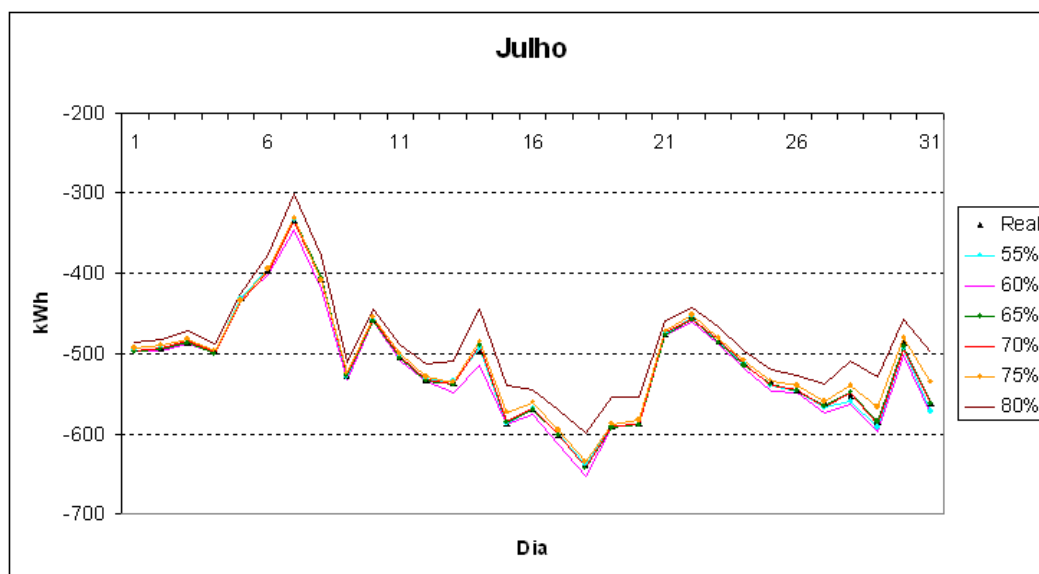


Figura C.11 – Totais diários de energia latente,  $t_{bh}$  - PR







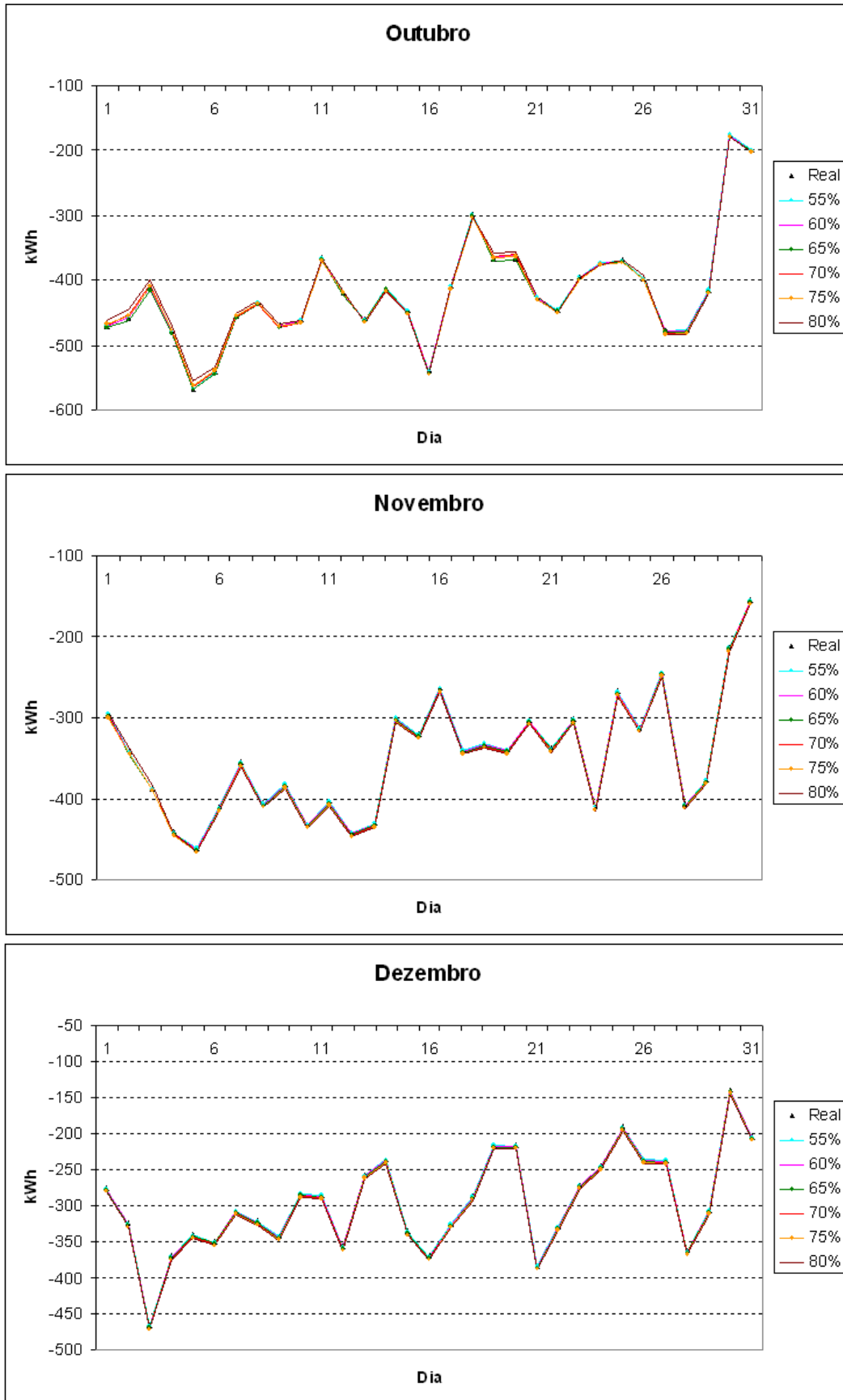


Figura C.12 – Totais diários de energia latente,  $t_{po}$  - PR

## C.3 – Influência do preço da energia no modelo de cálculo do CE

Tabela C.1 –  $CE_{avac}$  (2007) - modelo versus simulado, PO

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	48.205 €			48.239 €		
55%	45.908 €	44.984 €	2,01%	45.869 €	44.263 €	3,50%
60%	43.611 €	43.265 €	0,80%	43.499 €	41.757 €	4,01%
65%	41.314 €	40.002 €	3,18%	41.129 €	39.411 €	4,18%
70%	39.017 €	37.233 €	4,57%	38.759 €	37.635 €	2,90%
75%	36.720 €	35.943 €	2,12%	36.389 €	36.051 €	0,93%
80%	34.423 €	34.423 €	0,00%	34.020 €	34.020 €	0,00%
85%	32.126 €			31.650 €		

Tabela C.2 –  $CE_{avac}$  (2007) - modelo versus simulado, PR

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	11.927 €			11.920 €		
55%	11.403 €	11.360 €	0,38%	11.409 €	11.227 €	1,60%
60%	10.879 €	10.812 €	0,61%	10.897 €	10.670 €	2,09%
65%	10.354 €	10.235 €	1,15%	10.386 €	10.039 €	3,34%
70%	9.830 €	9.747 €	0,84%	9.874 €	9.718 €	1,59%
75%	9.306 €	9.225 €	0,86%	9.363 €	9.383 €	-0,21%
80%	8.781 €	8.781 €	0,00%	8.852 €	8.852 €	0,00%
85%	8.257 €			8.340 €		

Tabela C.3 –  $CE_{avac}$  (2008) - modelo versus simulado, PO

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	61.484 €			61.625 €		
55%	58.503 €	57.279 €	2,09%	58.337 €	56.005 €	4,00%
60%	55.522 €	54.976 €	0,98%	55.049 €	52.428 €	4,76%
65%	52.541 €	50.720 €	3,47%	51.761 €	49.130 €	5,08%
70%	49.560 €	47.095 €	4,97%	48.473 €	46.682 €	3,69%
75%	46.579 €	45.494 €	2,33%	45.185 €	44.522 €	1,47%
80%	43.598 €	43.598 €	0,00%	41.897 €	41.897 €	0,00%
85%	40.617 €			38.610 €		

Tabela C.4 –  $CE_{avac}$  (2008) – modelo versus simulado, PR

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	15.752 €			15.768 €		
55%	15.055 €	14.997 €	0,39%	15.041 €	14.775 €	1,77%
60%	14.358 €	14.273 €	0,59%	14.314 €	13.978 €	2,35%
65%	13.662 €	13.500 €	1,18%	13.587 €	13.078 €	3,75%
70%	12.965 €	12.850 €	0,88%	12.860 €	12.618 €	1,88%
75%	12.268 €	12.138 €	1,05%	12.133 €	12.148 €	-0,12%
80%	11.571 €	11.571 €	0,00%	11.406 €	11.406 €	0,00%
85%	10.874 €			10.679 €		



**Tabela C.5 –  $CE_{avac}$  (2009) - modelo versus simulado, PO**

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	65.820 €			65.983 €		
55%	62.622 €	61.307 €	2,10%	62.430 €	59.898 €	4,06%
60%	59.424 €	58.827 €	1,00%	58.877 €	56.020 €	4,85%
65%	56.227 €	54.259 €	3,50%	55.323 €	52.451 €	5,19%
70%	53.029 €	50.366 €	5,02%	51.770 €	49.808 €	3,79%
75%	49.831 €	48.659 €	2,35%	48.217 €	47.478 €	1,53%
80%	46.634 €	46.634 €	0,00%	44.664 €	44.664 €	0,00%
85%	43.436 €			41.110 €		

**Tabela C.6 –  $CE_{avac}$  (2009) - modelo versus simulado, PR**

Humidade Relativa	$t_{bh}$			$t_{po}$		
	Modelo	Simulado	erro	Modelo	Simulado	erro
50%	16.931 €			16.952 €		
55%	16.182 €	16.119 €	0,39%	16.164 €	15.875 €	1,79%
60%	15.432 €	15.341 €	0,59%	15.376 €	15.010 €	2,38%
65%	14.683 €	14.509 €	1,19%	14.588 €	14.035 €	3,80%
70%	13.933 €	13.809 €	0,89%	13.800 €	13.536 €	1,92%
75%	13.183 €	13.041 €	1,07%	13.013 €	13.027 €	-0,11%
80%	12.434 €	12.434 €	0,00%	12.225 €	12.225 €	0,00%
85%	11.684 €			11.437 €		

## Anexo D - Aplicação do modelo de controlo ao SB

Neste anexo é apresentada a aplicação do modelo de controlo do SB.

São apresentados três estudos com as características das instalações hidráulicas definidas nas tabelas 5.31, 5.32 e 5.33, correspondendo à Piscina Olímpica, Piscina Recreativa e Piscina Olímpica regime teórico.

### *Piscina Olímpica*

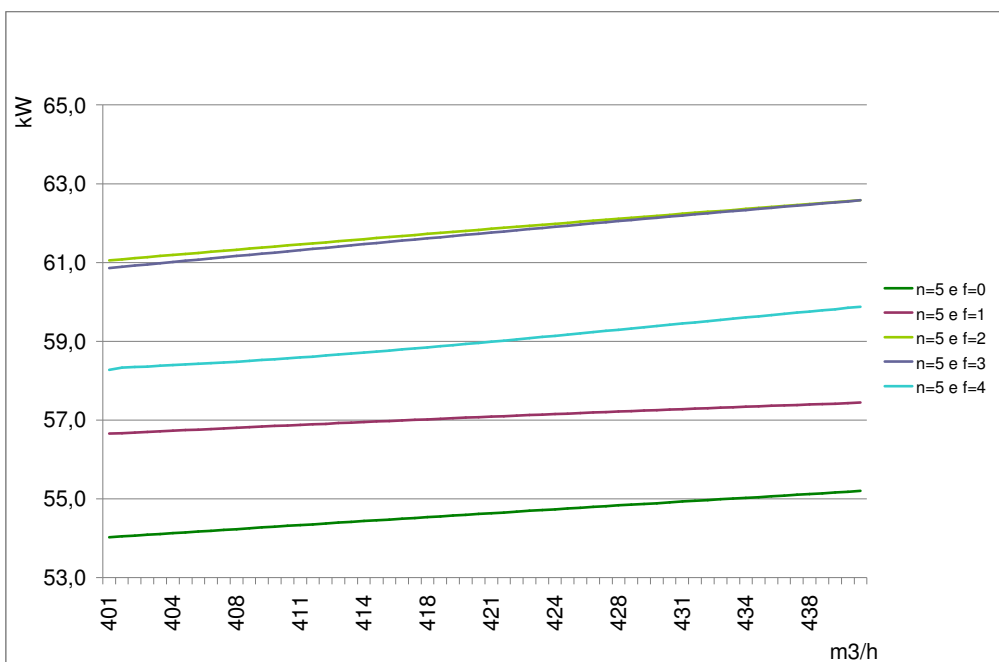
Ao nível da PO é possível aferir o limite máximo do caudal (Tabela D.1) partindo da conjugação das cinco bombas disponíveis ( $n=5$ ) em velocidade nominal.

**Tabela D.1 – Caudais máximos da PO**

$n$	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
1	139
2	255
3	341
4	400
5	440

Partindo dos caudais descritos anteriormente, são identificados quatro cenários e respectivas combinações para o funcionamento das bombas, sendo depois aplicado o modelo controlo.

Um primeiro cenário consiste em ter cinco bombas em funcionamento, cujos caudais variam entre 401 m<sup>3</sup>/h e 440 m<sup>3</sup>/h. Vamos ter cinco pares de combinações de funcionamento (5,0), (5,1), (5,2), (5,3) e (5,4). Aplicando o modelo de controlo a cada uma das combinações determina-se a potência eléctrica solicitada em função do caudal (Figura D.1).



**Figura D.1 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO)**

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (5,0).

O segundo cenário (Figura D.2) consiste em ter quatro bombas em funcionamento, cujos caudais poderão variar entre 342 m<sup>3</sup>/h e 400 m<sup>3</sup>/h e as combinações de funcionamento serão dadas pelos pares (4,0), (4,1), (4,2) e (4,3).

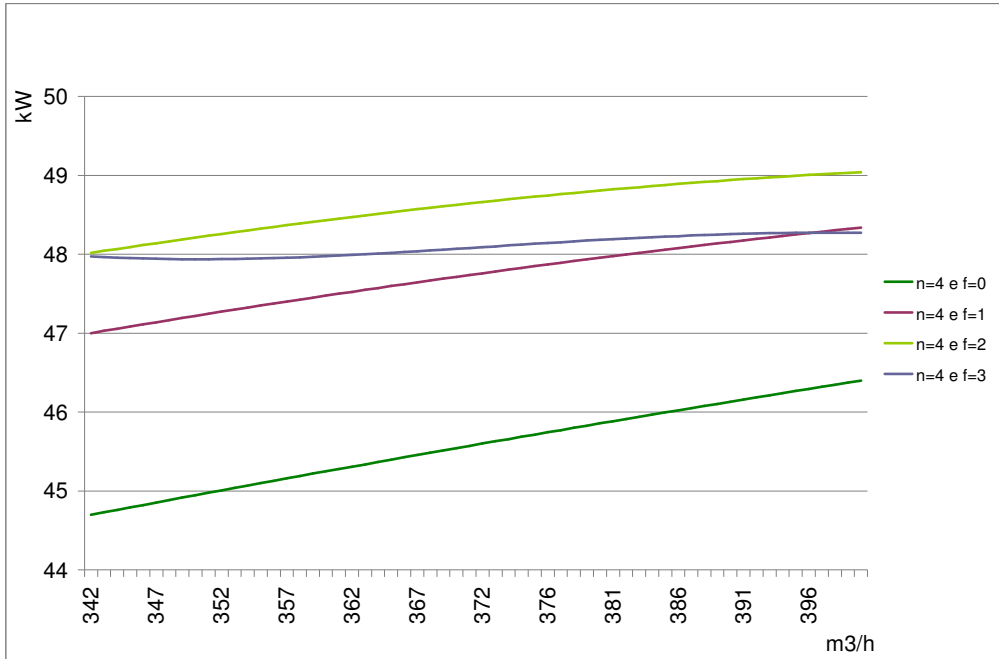


Figura D.2 – SB com quatro bombas em funcionamento (PO)

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (4,0).

O terceiro cenário (Figura D.3) consiste em ter três bombas em funcionamento, cujos caudais poderão variar entre 256 m<sup>3</sup>/h e 341 m<sup>3</sup>/h e as combinações de funcionamento serão dadas pelos pares (3,0), (3,1) e (3,2).

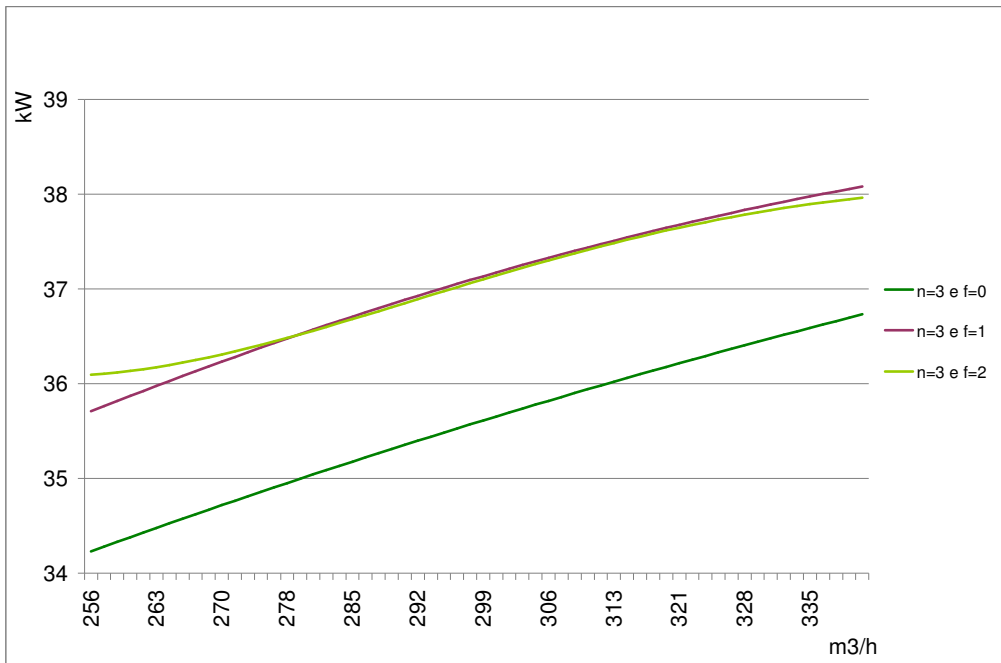


Figura D.3 – SB com três bombas em funcionamento (PO)

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (3,0).

O quarto cenário (Figura D.4) consiste em ter duas bombas em funcionamento, cujos caudais poderão variar entre 139 m<sup>3</sup>/h e 255 m<sup>3</sup>/h e as combinações de funcionamento serão dadas pelos pares: (2,0) e (2,1).

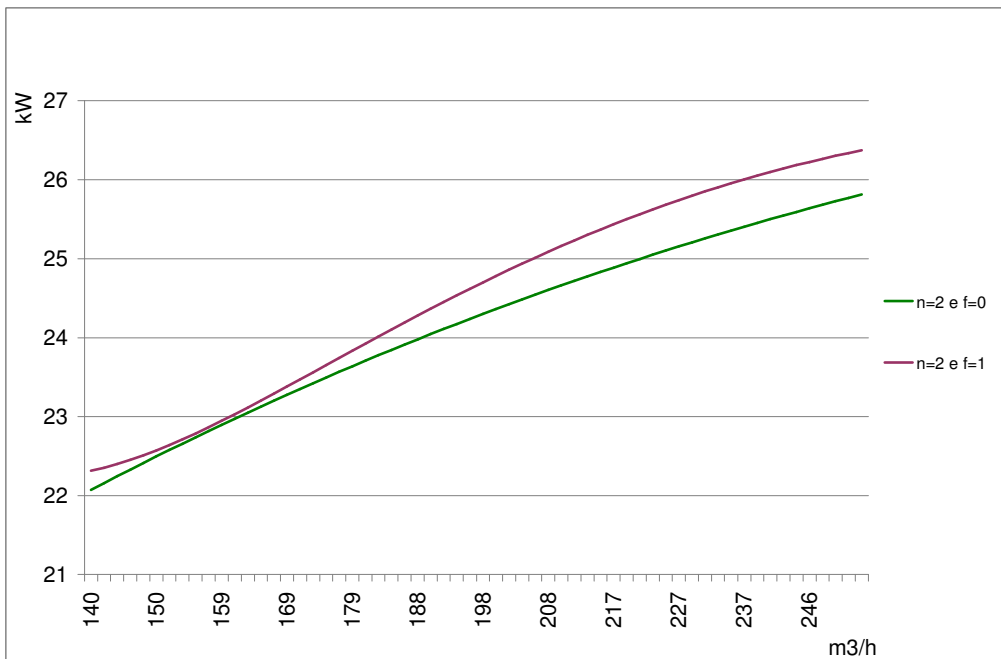


Figura D.4 – SB com duas bombas em funcionamento (PO)

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (2,0).

**Piscina Recreativa**

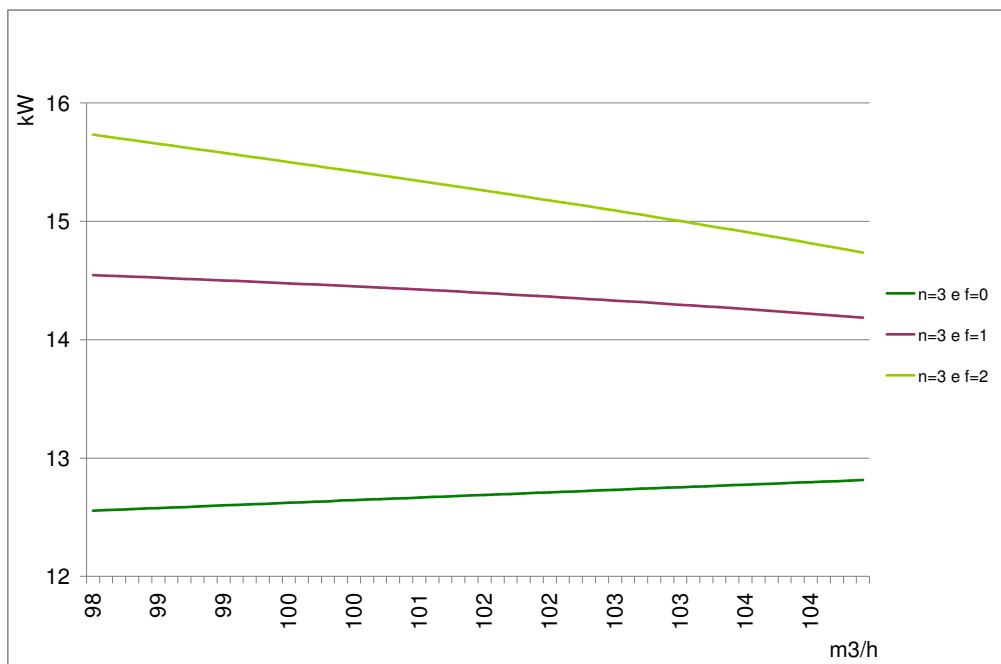
Ao nível da PR é possível aferir o limite máximo do caudal (Tabela D.2) partindo da conjugação das três bombas disponíveis ( $n=3$ ) em velocidade nominal.

**Tabela D.2 – Caudais máximos da PR**

$n$	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
1	80
2	97
3	101

Partindo dos caudais descritos anteriormente, são identificados dois cenários e respectivas combinações para o funcionamento das bombas.

O primeiro cenário (Figura D.5) consiste em ter três bombas em funcionamento, cujos caudais poderão variar entre 98 m<sup>3</sup>/h e 101 m<sup>3</sup>/h e as combinações de funcionamento serão dadas pelos pares (3,0), (3,1) e (3,2).

**Figura D.5 – SB com três bombas em funcionamento (PR)**

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (3,0).

O segundo cenário (Figura D.6) consiste em ter duas bombas em funcionamento, cujos caudais poderão variar entre 80 m<sup>3</sup>/h e 97 m<sup>3</sup>/h e as combinações de funcionamento serão dadas pelos pares (2,0) e (2,1).

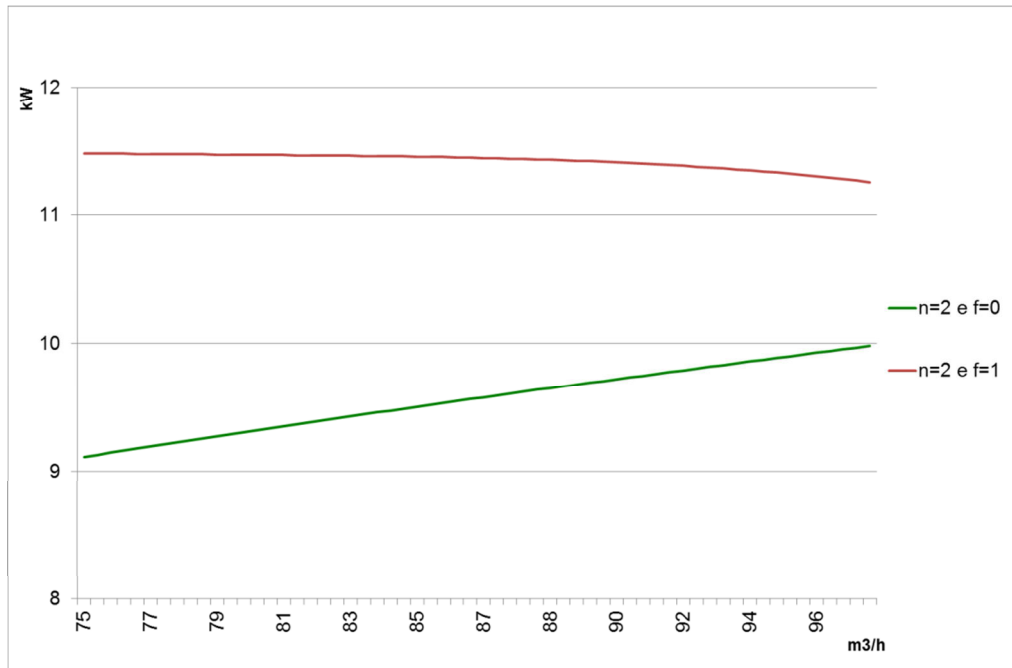


Figura D.6 – SB com duas bombas em funcionamento (PR)

Neste caso verifica-se que o par que solicita menor potência eléctrica é o (2,0).

***Piscina Olímpica regime teórico***

Partindo dos dados da Tabela 5.33, é possível aferir os limites máximos do caudal (Tabela D.3) partindo da conjugação das cinco bombas disponíveis ( $n=5$ ) em velocidade nominal.

**Tabela D.3 – Caudais máximos da PO regime teórico**

$n$	Caudal máximo (m³/h)
1	139
2	275
3	407
4	533
5	650

Partindo dos caudais descritos anteriormente, são identificados quatro cenários e respectivas combinações para o funcionamento das bombas. Aplicando o modelo de controlo a cada uma das combinações, determina-se a potência eléctrica solicitada em função do caudal (Figura D.7, Figura D.8, Figura D.9 e Figura D.10).

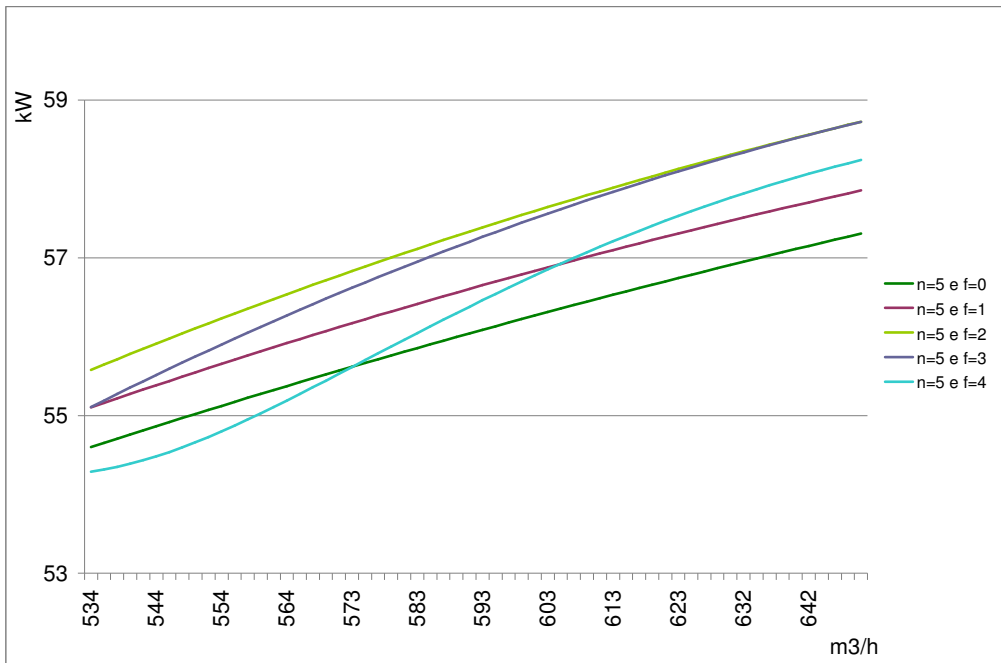


Figura D.7 – SB com cinco bombas em funcionamento (PO regime teórico)

Verifica-se que a partir de um caudal de 573 m<sup>3</sup>/h o par (5,0) solicita menor potência eléctrica, mas para valores inferiores de caudal é o par (5,4) o mais adequado.

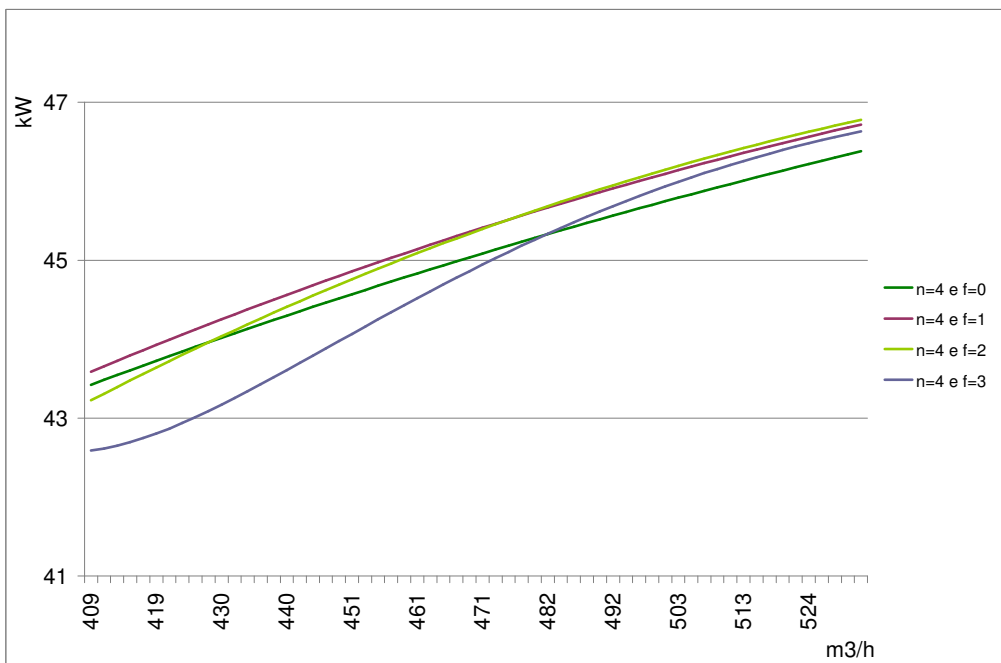


Figura D.8 – SB com quatro bombas em funcionamento (PO regime teórico)

Verifica-se que a partir de um caudal de 482 m<sup>3</sup>/h o par (4,0) solicita menor potência eléctrica, mas para valores inferiores de caudal é o par (4,3) o mais adequado.

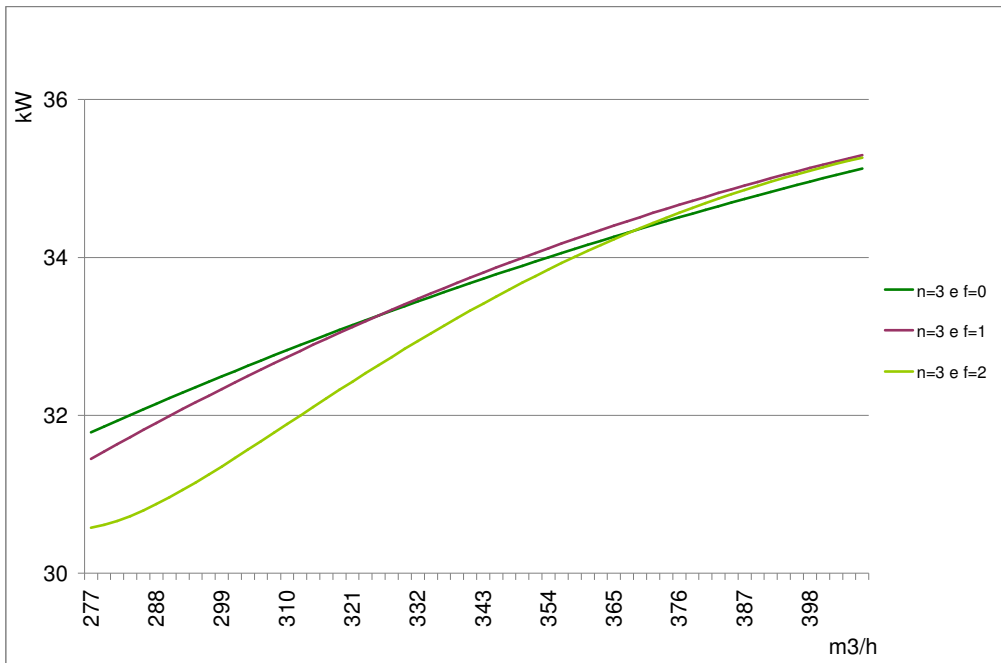


Figura D.9 – SB com três bombas em funcionamento (PO regime teórico)

Verifica-se que a partir de um caudal de 370 m<sup>3</sup>/h o par (3,0) solicita menor potência eléctrica, mas para valores inferiores de caudal é o par (3,2) o mais adequado.

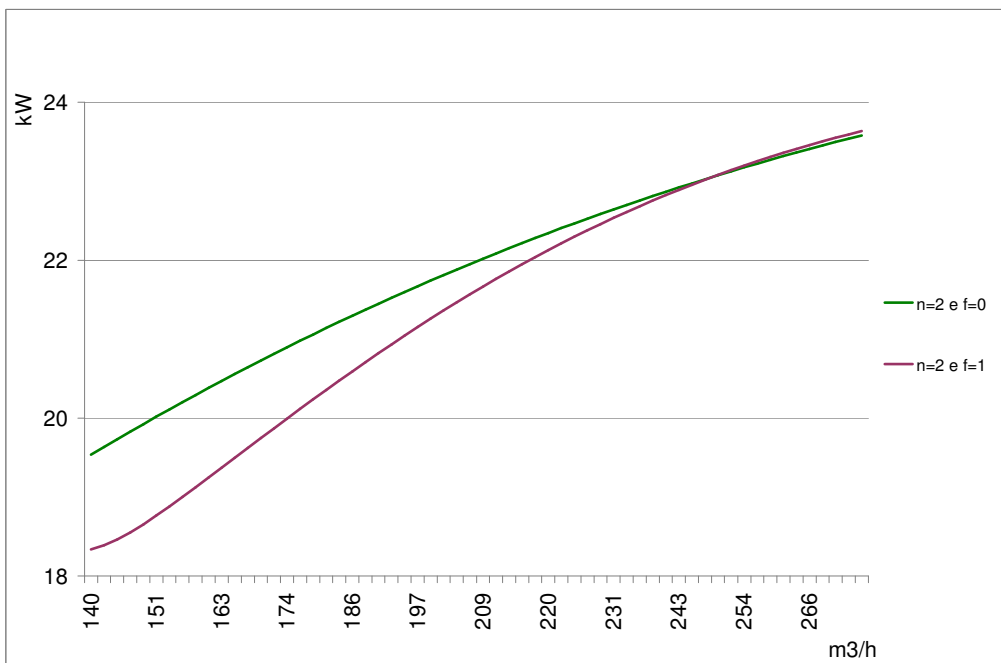


Figura D.10 – SB com duas bombas em funcionamento (PO regime teórico)

Verifica-se que a partir de um caudal de 250 m<sup>3</sup>/h o par (2,0) solicita menor potência eléctrica, mas para valores inferiores de caudal é o par (2,1) o mais adequado.





## **Anexo E – Sistema de Gestão Técnica Genérico**

Neste anexo é abordada, de uma forma detalhada, a constituição de um SGTCP ao nível: dos meios físicos necessários, das variáveis a serem auditadas, das estratégias de controlo a implementar e, por último, da abrangência da monitorização.

### *Estrutura Física do SGTCP*

A estrutura física do SGTCP é composta pela rede sensorial e de actuadores e por um conjunto de dispositivos que permitem monitorizar e controlar subprocessos. A rede sensorial e de actuadores são caracterizadas pelas variáveis a auditar e a controlar. Os dispositivos são normalmente ligados em rede (*Modbus*).

Nos pontos seguintes é descrita a estrutura física necessária para monitorizar e controlar a piscina, começando pela monitorização dos consumos globais de EE e energia térmica e depois passando aos quatro processos descritos anteriormente.

### **Monitorização dos consumos globais**

A monitorização dos consumos globais será efectuada pela medição em contínuo do consumo EE e energia térmica da instalação.

Ao nível dos dispositivos, ligados em rede, afectos à monitorização dos consumos globais serão utilizados:

- Dispositivo para monitorização da EE;
- Dispositivo para contagem da energia térmica.

Dispositivo para monitorização do consumo global de EE, da marca *Schneider*, ou equivalente, modelo *PM9C* (Schneider, 2006). Deve ser instalado no quadro geral do edifício. Tem capacidade para a medição de valores de potência activa, reactiva e valores eficazes de corrente e tensão, assim como energia activa e reactiva e factor de potência, com um índice de protecção IP52.

Dispositivo para monitorização do consumo global de energia térmica, da marca *Flexim*, ou equivalente, modelo *Fluxus BTU* (Flexim, 2010). Deve ser instalado no circuito primário da(s) caldeira(s). Será composto por um módulo que deve ser fixado à parede, dois sensores de temperatura (ida e retorno) e um sensor de caudal ultra sónico, que são fixados à tubagem. Tem capacidade para, além de medir a energia térmica de um circuito, também disponibilizar os valores de caudal, temperatura de entrada e saída do circuito, com um índice de protecção IP65.

A relação entre o código dos dispositivos e respectiva nomenclatura a usar em itens seguintes está apresentada na Tabela E.1.

**Tabela E.1 - Variáveis a adquirir para monitorização dos consumos globais**

Variável	Designação	Sigla	Comunicação				Sensor/Actuador	
			EA	ED	SA	SD		Modbus
$eea_{total}$	EE activa consumida pelo edifício (kWh)	D-500					X	Schneider [PM9C]
$et_{total}$	Energia térmica consumida pelo edifício (kWh)	D-501					X	Flexim [Fluxus BTU]

### Sistema AVAC

Neste caso o SGTCP irá controlar o sistema de climatização de modo a garantir o conforto térmico dos utilizadores e a boa gestão energética, bem como monitorizar os gastos energéticos deste processo e a qualidade do ar interior.

Ao nível do sistema de climatização, os complexos de piscinas são normalmente equipados com Unidade de Tratamento de Ar (UTA), de forma a desumidificar e aquecer ou arrefecer o ar das naves das piscinas. A gestão de funcionamento da UTA é normalmente assegurada por um controlador dedicado, com capacidade de parametrizar as variáveis do processo através de interfaces de comunicação: LonWorks, Ethernet, ModBus, Konnex e outros (Carel, 2011). As variáveis a considerar neste caso são a temperatura ambiente e a humidade relativa interiores.

Na monitorização será considerada a medição em contínuo do consumo da EE e energia térmica do processo, assim como a avaliação da qualidade do ar ambiente partindo da medição da concentração de dióxido de carbono, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. É feita também a monitorização da temperatura ambiente e da humidade relativa exteriores.

A rede sensorial afecta ao sistema AVAC é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar as seguintes variáveis físicas:

- Temperatura ambiente interior e exterior,
- Humidade relativa interior e exterior,
- Nível de dióxido de carbono,
- Nível de monóxido de carbono,
- Concentração de ozono,
- Concentração de compostos orgânicos voláteis – THM e cloraminas.

Sensor temperatura ambiente interior da marca *Siemens*, ou equivalente, modelo *QAM2171* (Siemens, 2006A). Equipado internamente com uma termoresistência do tipo PT1000, gama de

medida  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ , tem uma saída em corrente de 4 a 20 mA e um índice de protecção IP54. É instalado directamente na conduta de ar proveniente da nave da piscina.

Sensor temperatura ambiente exterior da marca *Siemens*, ou equivalente, modelo *QAC2010* (Siemens, 2005). O seu funcionamento baseia-se na utilização interna de uma termo resistência do tipo PT1000, gama de medida  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$ , tem uma saída em corrente de 4 a 20 mA e um índice de protecção IP54. É instalado directamente na parede, junto à conduta de admissão do ar exterior.

Sensor de humidade relativa interior da marca *Siemens*, ou equivalente, modelo *QFM2101* (Siemens, 2009A). Gama de medida 0% a 100%, com uma saída em corrente de 4 a 20 mA, tem índice de protecção IP54. É instalado directamente na conduta de ar proveniente da nave da piscina.

Sensor de humidade relativa exterior da marca *Siemens*, ou equivalente, modelo *QFA3101* (Siemens, 2009B). Gama de medida 0% a 100%, com saída em corrente de 4 a 20 mA, índice de protecção IP54. É instalado directamente na parede, junto à conduta de admissão do ar exterior.

Sensor de dióxido de carbono da marca *Siemens*, ou equivalente, modelo *QPM2100* (Siemens, 2006B). Gama de medida 0 ppm a 2000 ppm (factor de conversão  $\text{ppm} \times 1.8 = \text{mg}/\text{m}^3$ ), com saída em tensão de 0 a 10 V e índice de protecção de IP54. É instalado directamente na conduta de ar proveniente da nave da piscina.

Sensor de monóxido de carbono da marca *Titan*, ou equivalente, modelo *TPCO/DS* (Titan, 2009). Gama de medida 30 ppm a 400 ppm (factor de conversão  $\text{ppm} \times 1.15 = \text{mg}/\text{m}^3$ ), com saída uma tensão de 0 a 10 V, e índice de protecção IP51. É instalado directamente na conduta de ar proveniente da nave da piscina.

Sensor de concentração de ozono marca *S+S*, ou equivalente, modelo *RO3* (S+S, 2010). Gama de medida 0 ppm a 1 ppm (factor de conversão  $\text{ppm} \times 1.96 = \text{mg}/\text{m}^3$ ), com saída em tensão de 0 a 10 V e índice de protecção de IP65. É instalado directamente na conduta de ar proveniente da nave da piscina.

Sensor de compostos orgânicos voláteis (para o caso dos THM) da marca *S+S*, ou equivalente, modelo *KLQ* (S+S, 2012). A ser calibrado com uma concentração de  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  de THM. Gama de medida 0% a 100%, com saída em tensão de 0 a 10 V e índice de protecção IP65. É instalado a uma altura de 1.5 m da superfície da água.

Sensor de compostos orgânicos voláteis (para o caso das Cloraminas) da marca *S+S*, ou equivalente, modelo *KLQ* (S+S, 2012). A ser calibrado com uma concentração de  $2\text{mg}/\text{m}^3$  de

NCL<sub>3</sub>. Gama de medida 0% a 100%, com saída em tensão de 0 a 10 V e índice de protecção IP65. É instalado a uma altura de 1.5 m da superfície da água.

Ao nível dos dispositivos, ligados em rede, afectos ao sistema AVAC serão utilizados:

- Dispositivo para parametrização da UTA;
- Dispositivo para monitorização da EE;
- Dispositivo para contagem da energia térmica.

Dispositivo para parametrização da UTA da marca *Carel*, ou equivalente, modelo *Gateway ModBus* (Carel, 2011), para comunicar com os controladores da mesma marca usados em UTA da marca *Ciatesa*.

Dispositivo para monitorização do consumo da EE e da energia térmica similar ao da monitorização dos consumos globais.

Na Figura E.1 é apresentado um esquema de princípio da localização dos sensores necessários para a recolha das variáveis pretendidas.

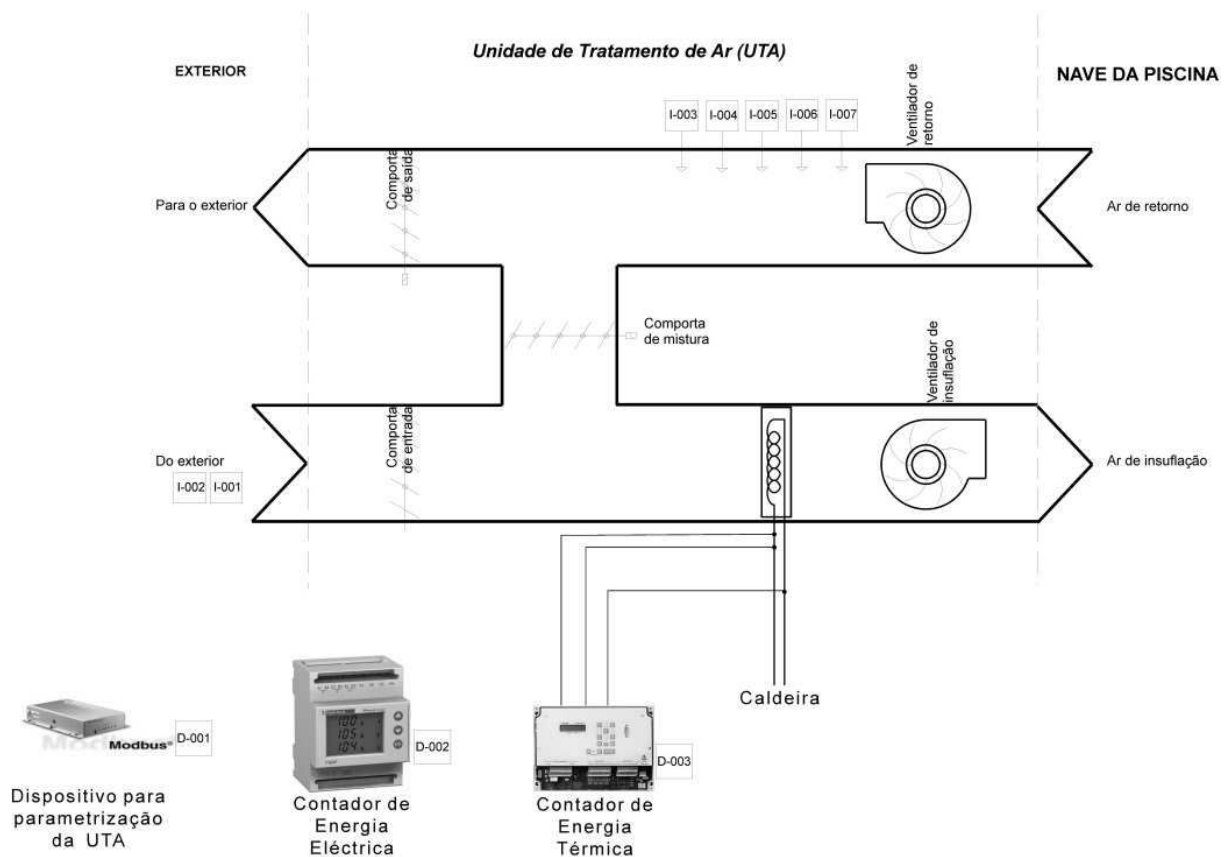


Figura E.1 – Planta de pormenor de localização dos sensores na UTA

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura E.1 e respectiva variáveis a usar em itens seguintes está apresentada na Tabela E.2.

**Tabela E.2 - Variáveis a adquirir no Sistema AVAC**

Variável	Designação	Sigla	Comunicação				Sensor/Actuador	
			EA	ED	SA	SD		Modbus
$t_{amb\_ext}$	Temperatura ambiente exterior (°C)	I-001	X					Siemens [QA C]
$\phi_{ext}$	Humidade relativa exterior (%)	I-002	X					Siemens [QFA31]
$t_{amb}$	Temperatura ambiente interior (°C)	I-003	X					Siemens [QA M21]
$\phi$	Humidade relativa interior (%)	I-004	X					Siemens [QFM21]
$CO_2$	Dióxido de carbono (PPM)	I-005	X					Siemens [QPM21]
$CO$	Monóxido de carbono (PPM)	I-006	X					Titan Products [TPCO-DS]
$O_3$	Ozono (PPM)	I-007	X					S+S [RO3]
$COV\_THM$	Compostos orgânicos voláteis - THM (%)	I-008	X					S+S [KLQ]
$COV\_NCL3$	Compostos orgânicos voláteis - Cloraminas (%)	I-009	X					S+S [KLQ]
$t_{avac\_sp}$	Temperatura ambiente interior pretendida (°C)	D-001					X	Carel [Gateway ModBus]
$\phi_{avac\_sp}$	Humidade relativa interior pretendida (%)							
$eea_{avac}$	EE activa consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-002					X	Schneider [PM9C]
$et_{avac}$	Energia térmica consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-003					X	Flexim [Fluxus BTU]

#### Sistema de Bombagem

O SGTCP controlará também o funcionamento do SB de modo a fazer uma gestão dos consumos de energia, bem como monitorizar os principais gastos energéticos deste processo e a qualidade da água da piscina.

As bombas do SB devem ser dotadas de variadores electrónicos de velocidade com capacidade de comunicação ModBus ou outro.

Na monitorização será considerado a medição em contínuo do consumo da EE e energia térmica do processo, das pressões à entrada e saída das bombas e dos filtros. A avaliação da qualidade da água será feita partindo da mediação da concentração total de sólidos dissolvidos, cálcio em termos de carbonato de cálcio, alcalinidade em termos de carbonato de cálcio e pH.

A rede sensorial afecta ao SB é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar as seguintes variáveis físicas: temperatura da água da piscina, caudal, pressão, nível

de pH da água, total de sólidos dissolvidos, concentração de cálcio em termos de carbonato de cálcio e a alcalinidade em termos de carbonato de cálcio.

Sensor de temperatura da água da piscina da marca *Burkert*, ou equivalente, modelo *TST001Compact* (Burkert, 2008). Equipado internamente com uma termoresistência do tipo PT100, medição máxima de 125°C, saída em corrente de 4 a 20 mA e um índice de protecção IP65. A localização destes sensores é na tubagem dos filtros para as respectivas piscinas, com ligação hidráulica por meio de rosca e ficha para ligação eléctrica do tipo 2508.

Sensor de caudal de água da marca *Burkert*, ou equivalente, modelo *8041* (Burkert, 2012A). A temperatura máxima de leitura deste equipamento é de 80°C, saída em corrente de 4 a 20 mA e um índice de protecção IP65. A ligação física é efectuada através de terminais de aperto, tendo um suporte próprio para o efeito referência *Sadlle S020*.

Sensor de pressão da marca *Burkert*, ou equivalente, modelo *8323* (Burkert, 2012B). Gama de medição entre 0 e 10 Bar com uma temperatura do fluido máximo de 150°, saída em corrente de 4 a 20 mA e um índice de protecção IP65. É instalado na tubagem de água.

Sensor de nível de pH da marca *Vernier*, ou equivalente, modelo *SensorDAQ* (Vernier, 2001) com sonda *PH-BTA* (Vernier, 2013). Gama de medição de 0 a 14, temperatura de operação entre 5 a 80°C, tempo de resposta de 1 segundo, saída em tensão de 0 a 5 V e um índice de protecção IP65. É instalado na tubagem de água.

Sensor da concentração de sólidos dissolvidos da marca *Vernier*, ou equivalente, modelo *SensorDAQ* com sonda *CON-BTA* (Vernier, 2012A). Gama de medição de 0 mg/L a 1.000 mg/L TDS, temperatura de operação entre 0 a 80°C, tempo de resposta de 15 segundo, saída em tensão de 0 a 5 V e um índice de protecção IP65. É instalado na tubagem de água.

Sensor de concentração de cálcio na água da marca *Vernier*, ou equivalente, modelo *SensorDAQ* com sonda *CA-BTA* (Vernier, 2012B). Gama de medição de 0,20 mg/L a 40.000 mg/L, pH entre 3 a 10, saída em tensão de 0 a 5 V e um índice de protecção IP65. É instalado na tubagem de água.

Sensor alcalinidade da água da marca *Hach*, ou equivalente, modelo *APA 6000* (Hach, 2013). Gama de medição de 50 ug/L a 10 mg/L, saída em corrente de 4 a 20 mA, tempo de ciclo de 4 minutos e um índice de protecção IP65. É instalado na tubagem de água.

Ao nível dos dispositivos, ligados em rede, afectos ao sistema AVAC serão utilizados dispositivos com vista a:

- Controlo da qualidade da água da piscina;
- Monitorização da EE;

- Contagem da energia térmica;
- Variação de velocidade das bombas.

Dispositivo controlo da qualidade da água da piscina da marca *Chemtrol*, ou equivalente, modelo *PC7000* (Chemtrol, n.d.). Este controlador deverá ser instalado na parede, em local de fácil acesso, perto da tubagem do fluido a analisar, devendo os sensores ser aplicados na tubagem respectiva. Tem capacidade para monitorizar quatro parâmetros da água: nível de pH, nível de cloro residual livre, condutividade e potencial de oxidação/redução. Dispõe de saídas em corrente na gama de 4 a 20 mA para cada componente medido.

Dispositivo para monitorização do consumo da EE e de energia térmica similar ao da monitorização dos consumos globais.

Dispositivos de variação de velocidade das bombas hidráulicas da marca *Omron*, ou equivalente, referência *CIMR-E7Z43P71* (Omron, 2002). Este equipamento funciona com uma placa de comunicação *CM090*, para a sua interligação com o sistema de gestão técnica.

Na Figura E.2 é apresentado um esquema de princípio do SB da água da piscina, que é constituído por:  $n$  bombas,  $x$  filtros de areias, um permutador de placas e a rede sensorial e de dispositivos.



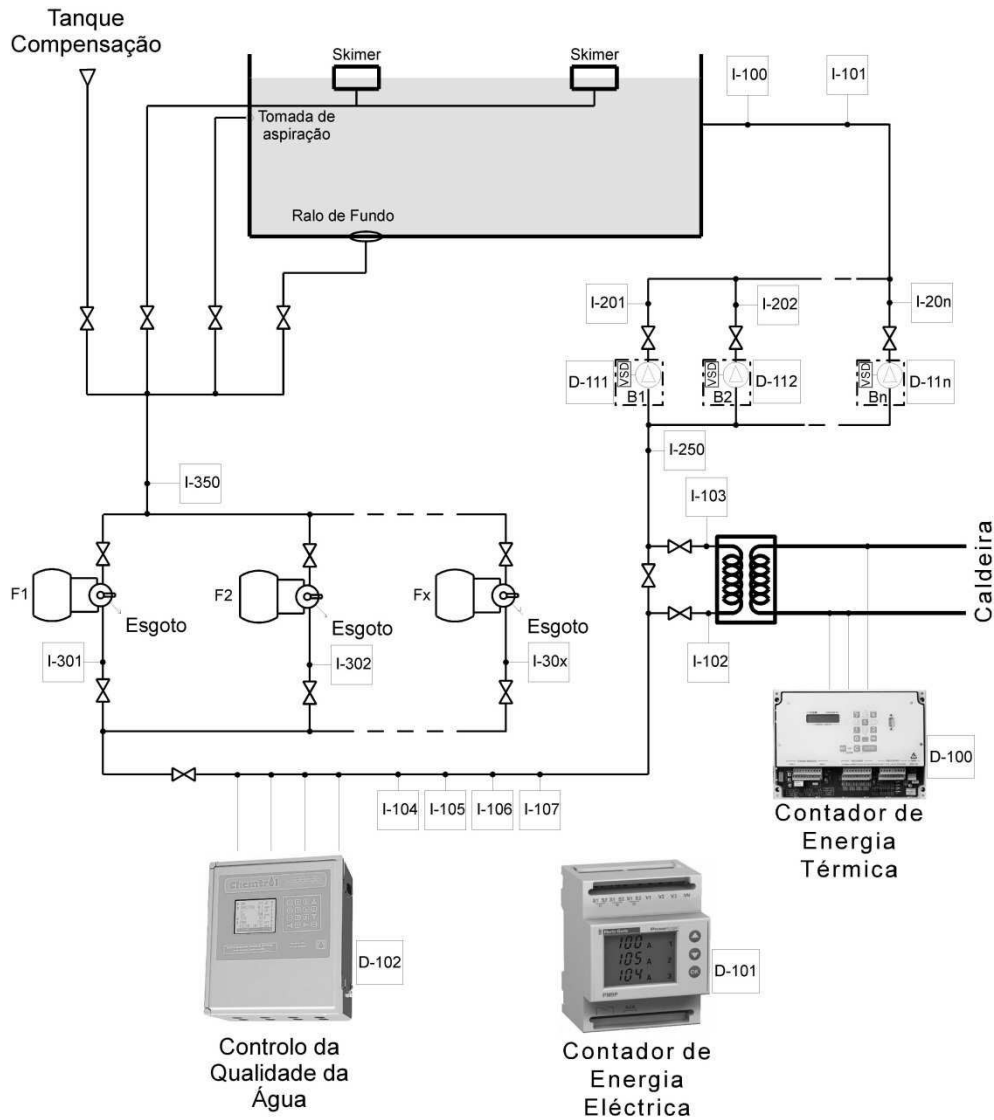


Figura E.2 – Esquema de princípio do SB

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura E.2 e respectivas variáveis a usar em itens seguintes está apresentada na Tabela E.3.

Tabela E.3 - Variáveis a adquirir no SB

Variável	Designação	Sigla	Comunicação				Sensor/Actuador
			EA	ED	SA	SD	
$t_{in}$	Temperatura da água a introduzir na piscina (°C)	I-100	X				Burkert [TST 001 compact (783715)]
$q_p$	Caudal da água no circuito hidráulico da piscina (m <sup>3</sup> /h)	I-101	X				Burkert [Type 8041 (558065)]
$p_{i\_p}$	Pressão à entrada do permutador da piscina (Pa)	I-102	X				Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{o\_p}$	Pressão à saída do permutador da piscina (Pa)	I-103	X				Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{i\_gb}$	Pressão à entrada do grupo de bombas da piscina (Pa)	I-250	X				Burkert [Type 8323 (551684)]

$p_{o\_b1}$	Pressão à saída da bomba nº 1 da piscina (Pa)	I-201	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{o\_b2}$	Pressão à saída da bomba nº 2 da piscina (Pa)	I-202	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
...	...				
$p_{o\_bn}$	Pressão à saída da bomba nº n da piscina (Pa)	I-20n	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{i\_f}$	Pressão à entrada dos filtros piscina (Pa)	I-350	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{o\_f1}$	Pressão à saída do filtro nº1 da piscina (Pa)	I-301	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
$p_{o\_f2}$	Pressão à saída do filtro nº 2 da piscina (Pa)	I-302	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
...	...				
$p_{o\_fx}$	Pressão à saída do filtro nº x da piscina (Pa)	I-30x	X		Burkert [Type 8323 (551684)]
$ph$	Nível de PH da água	I-104	X		Vernier [PH-BTA]
$tds$	Total de sólidos dissolvidos (mg/L)	I-105	X		Vernier [CON-BTA]
$c_a$	Concentração de cálcio em termos de carbonato de cálcio (mg/L de $CaCO_3$ )	I-106	X		Vernier [CA-BTA]
$al$	Alcalinidade em termos de carbonato de cálcio (mg/L de $CaCO_3$ )	I-107	X		Hach [APA 6000]
$et_{SB}$	Energia térmica consumida pela piscina (kWh)	D-100		X	Flexim [Fluxus BTU]
$eea_{SB}$	EE activa consumida pelo SB (kWh)	D-101		X	Schneider [PM9C]
$ph_{pool}$	Nível de pH da água antes do controlador				
$cl_{pool}$	Nível de cloro residual livre da água				
$s_{pool}$	Condutividade da água antes do controlador	D-102		X	Chemtrol [PC 7000]
$t_{pool}$	Temperatura da água antes do controlador				
$rdx_{pool}$	Potencial de oxidação/redução da água				
$B_1$	Bomba nº 1	D-111		X	Omron [CIMR-E7Z...]
$B_2$	Bomba nº 2	D-112		X	Omron [CIMR-E7Z...]
...	...				
$B_n$	Bomba nº n	D-11n		X	Omron [CIMR-E7Z...]

### Sistema de Iluminação

O SGTCP irá controlar o funcionamento da iluminação em todos os espaços existente na instalação, tendo sempre em contra a sua ocupação, de modo a minimizar o seu tempo de funcionamento. Em espaços com iluminação natural é efectuada a medição do seu nível no interior, para avaliar a necessidade de ligar a iluminação artificial. É ainda efectuada a monitorização dos principais gastos energéticos em todo o SI.

A rede sensorial afecta ao SI é composta por um conjunto de sensores capazes de monitorizar as seguintes variáveis físicas: níveis de iluminação e movimentos no espaço.

Sensor de nível iluminação da marca *Intech*, ou equivalente, modelo *TWN-LUX* (Intech, n.d.). Gama de medição de 0 a 1000 Lux, temperatura de operação entre 0 a 60°C, humidade relativa entre 5 a 85%, saída em corrente 4 a 20 mA, e um índice de protecção IP54. É Instalado na parede.

Detector de movimento da marca *Hager*, ou equivalente, modelo *EE840* (Hager, 2011). Com um ângulo de visão de 360°, e um índice de protecção IP55. É Instalado na parede.

Ao nível dos dispositivos, ligados em rede, afectos ao SI será utilizado o dispositivo para monitorização da EE, similar ao da monitorização dos consumos globais.

Todos os espaços terão um detector de ocupação e só os espaços com iluminação natural dispõem de um sensor de nível iluminação. A relação entre o código dos sensores e dispositivo e respectivas variáveis a usar nos itens seguintes está apresentada na Tabela E.4.

**Tabela E.4 - Variáveis a adquirir no SI**

Variável	Designação	Sigla	Comunicação					Sensor/Actuador
			EA	ED	SA	SD	Modbus	
$mov_1$	Detector de movimento do espaço 1	I-401		X				Hager [EE840]
$mov_2$	Detector de movimento do espaço 2	I-402		X				Hager [EE840]
...	...							
$mov_a$	Detector de movimento do espaço $a$	I-40a		X				Hager [EE840]
$luz_1$	Sensor de iluminação do espaço 1	I-451	X					Intech [TWN-LUX]
$luz_2$	Sensor de iluminação do espaço 2	I-452	X					Intech [TWN-LUX]
...	...							
$luz_a$	Sensor de iluminação do espaço $a$	I-45a	X					Intech [TWN-LUX]
$ILM_1$	Comando da iluminação do espaço 1	O-401				X		–
$ILM_2$	Comando da iluminação do espaço 2	O-402				X		–
...	...							
$ILM_a$	Comando da iluminação do espaço $a$	O-40a				X		–
$eea_{SI}$	EE activa consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-200					X	Schneider [PM9C]

### Sistema de AQS

O SGTCP irá controlar o funcionamento dos chuveiros de modo a minimizar o seu tempo de funcionamento, bem como monitorizar os principais gastos energéticos no SPAQS.

A rede sensorial afectada ao sistema de AQS é composta por um conjunto de sensores capazes de detectar a ocupação dos chuveiros.

Detector da marca *Omron*, ou equivalente, modelo *E3Z-LS6* (Omron, 2011). Constituído por fotocélula direccionada com índice de protecção IP67, instalada por cima do chuveiro.

Ao nível dos dispositivos, ligados em rede, afectos ao sistema de AQS será utilizado o que permite a contagem da energia térmica, similar ao da monitorização dos consumos globais.

Na Figura E.3 é apresentado um esquema de princípio do sistema de AQS que é constituído por:  $b$  electroválvulas,  $b$  detectores de ocupação, um acumulador de AQS e o dispositivo.

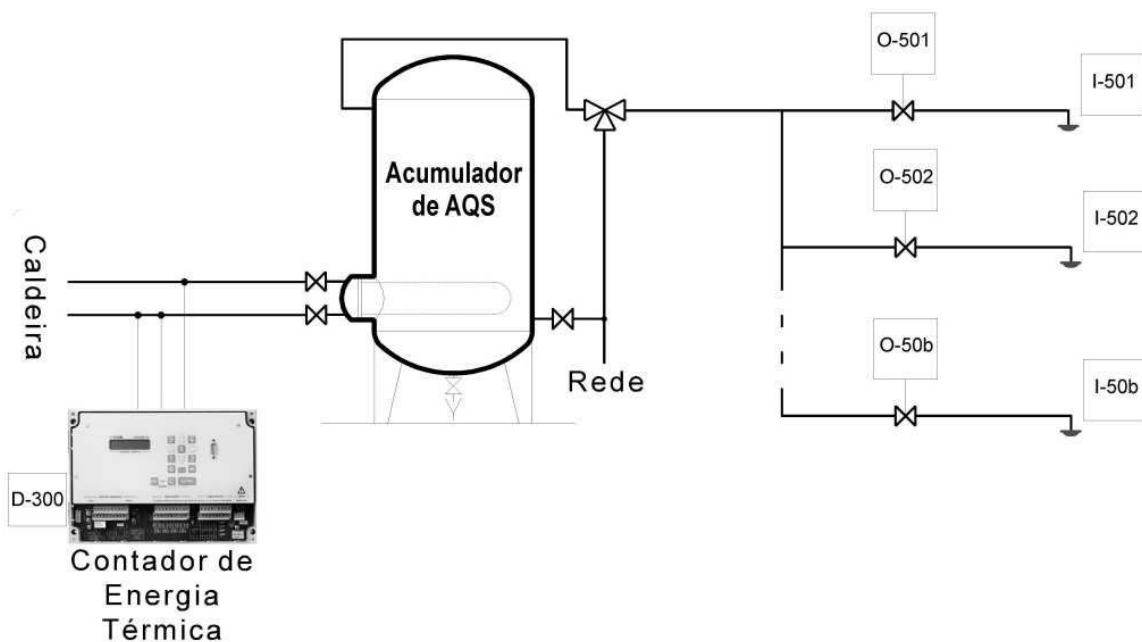


Figura E.3 – Esquema de princípio do Sistema de AQS

A relação entre o código dos sensores e dispositivos apresentados na Figura E.3 e respectiva Variável, a usar em itens seguintes, está apresentada na Tabela E.5.

**Tabela E.5 - Variáveis a adquirir no Sistema de AQS**

Variável	Designação	Sigla	Comunicação					Sensor/Actuador
			EA	ED	SA	SD	Modbus	
$ocp_1$	Detector de ocupação do chuveiro 1	I-501	X					Hager [EE840]
$ocp_2$	Detector de ocupação do chuveiro 2	I-502	X					Hager [EE840]
...	...							
$ocp_b$	Detector de ocupação do chuveiro $b$	I-50b	X					Hager [EE840]
$CHV_1$	Comando do chuveiro 1	S-501			X			-
$CHV_2$	Comando do chuveiro 2	S-502			X			-
...	...							
$CHV_b$	Comando do chuveiro $b$	S-50b			X			-
$et_{AQS}$	Energia térmica consumida pelo sistema AVAC (kWh)	D-300					X	Flexim [Fluxus BTU]

**Controlo e monitorização dos processos**

O controlo de todos os processos é efectuado tendo em consideração o modo de utilização temporal da instalação, sendo a monitorização efectuada em contínuo. Assim, é definido o termo **Espaço em Utilização**, que é representado por uma matriz temporal: dia de semana versos horário de funcionamento da instalação.

A monitorização dos processos deverá efectuar as seguintes tarefas: mostrar e guardar (*MosGua*) mensalmente as variáveis independentes e dependentes existentes com períodos de leitura definidos e emitir aviso (*EmAvi*) quando uma determinada variável ultrapassa um valor limite.

**Monitorização dos consumos globais**

Os critérios para a monitorização dos consumos globais vêm expressos na Tabela E.6.

**Tabela E.6 – Monitorização das variáveis independentes dos consumos globais**

Variável	Sigla	<i>MosGua</i>	Referência	Fonte	<i>EmAvi</i>
					Aviso emitido
$eea_{total}$	D-500	60 min	-	-	-
$et_{total}$	D-501	60 min	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitam avaliar outras condições de funcionamento do edifício (Tabela E.7), sendo que neste caso:

- A previsão do  $IEE$  do edifício ( $IEE_{pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais será dada por  $IEE_{pe} = \frac{0,086 \times et_{total} + 0,29 \times eea_{total}}{A_{util}} \times \frac{12}{mes}$ .
- A previsão dos custos energéticos do edifício ( $CE_{pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais será dada por  $CE_{pe} = (p_{gn} \times et_{total} + p_{ee} \times eea_{total}) \times \frac{12}{mes}$ .

**Tabela E.7 – Monitorização das variáveis dependentes dos consumos globais**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IEE_{pe}$	60 min	$IEE_{pe} > 35$	(RSECE, 2006)	“Valor limite dos consumos globais específicos para a topologia do edifício ultrapassado”
$CE_{pe}$	60 min	-	-	-

**Sistema de AVAC**

Nos passos seguintes são descritas as variáveis necessárias para o sistema AVAC, assim como a formulação da estratégia de controlo e monitorização a implementar.

**Variáveis do AVAC**

As variáveis do Sistema de AVAC são, na essência, de dois tipos distintos: as características técnicas da instalação e as de monitorização do processo.

Ao nível das características técnicas da instalação, as variáveis são de dois tipos dependentes e independentes.

As variáveis independentes (Tabela E.8), que em alguns dos casos são invariantes no tempo, podem ser determinadas pelo caderno de encargos ou usando simulação dinâmica de edifícios.

Os valores de  $Q_{env}^{real}$ ,  $Q_{dum}^{real}$ ,  $Q_{re}^{real}$ ,  $Q_{env}^{80\%\_Tpo}$ ,  $Q_{dum}^{80\%\_Tpo}$ ,  $Q_{re}^{80\%\_Tpo}$ ,  $Q_{env}^{80\%\_Tbh}$ ,  $Q_{dum}^{80\%\_Tbh}$  e  $Q_{re}^{80\%\_Tbh}$  e das variáveis ambientais  $t_{amb}^{80\%\_Tpo}$  e  $t_{amb}^{80\%\_Tbh}$  são determinadas considerando os passos descritos no ponto 3.2 do Capítulo 3.

**Tabela E.8 - Variáveis independentes do Sistema de AVAC**

Variável	Designação
$Q_{env}^{real}$	Energia sensível fornecida à nave da piscina em condições reais (kWh)
$Q_{dum}^{real}$	Energia consumida para redução da carga latente da nave da piscina em condições reais (kWh)
$Q_{re}^{real}$	Energia necessária para aquecer a água a injectar na piscina em condições reais (kWh)

$Q_{env}^{80\%\_Tpo}$	Energia sensível fornecida à nave da piscina com humidade relativa de 80% e critério de Temperatura de orvalho (kWh)
$Q_{dum}^{80\%\_Tpo}$	Energia consumida para redução da carga latente da nave da piscina com humidade relativa de 80% e critério de temperatura de orvalho (kWh)
$Q_{re}^{80\%\_Tpo}$	Energia necessária para aquecer a água a injectar na piscina com humidade relativa de 80% e critério de temperatura de orvalho (kWh)
$Q_{env}^{80\%\_Tbh}$	Energia sensível fornecida à nave da piscina com humidade relativa de 80% e critério de temperatura de bolbo húmido (kWh)
$Q_{dum}^{80\%\_Tbh}$	Energia consumida para redução da carga latente da nave da piscina com humidade relativa de 80% e critério de temperatura de bolbo húmido (kWh)
$Q_{re}^{80\%\_Tbh}$	Energia necessária para aquecer a água a injectar na piscina com humidade relativa de 80% e critério de temperatura de bolbo húmido (kWh)
$\phi^{real}$	Humidade relativa em condições reais de funcionamento da instalação (%)
$A_{util}$	Área útil do edifício (m <sup>2</sup> )
$p_{gn}$	Preço do GN (€/kWh)
$p_{ee}$	Preço da EE (€/kWh)
$t_{amb}^{80\%\_Tpo}$	Temperatura ambiente interior para uma humidade relativa de 80% e respeita o critério de Temperatura de orvalho (°C)
$t_{amb}^{80\%\_Tbh}$	Temperatura ambiente interior para uma humidade relativa de 80% e respeita o critério de temperatura de temperatura de bolbo húmido (°C)
$t_{avac\_sp}$	Parâmetro da temperatura ambiente interior para o sistema de AVAC (°C)
$\phi_{avac\_sp}$	Parâmetro da humidade relativa interior para o sistema de AVAC (%)
$t^{real}$	Temperatura ambiente em condições reais de funcionamento da instalação (°C)

As variáveis dependentes são determinadas partindo das independentes com as formulações que se passam a descrever.

**Tabela E.9 - Variáveis dependentes do Sistema de AVAC**

Variável	Designação
$IEE_{avac}$	Componente IEE de responsabilidade do AVAC (kgep/ m <sup>2</sup> .ano)
$a_{IEE}$	Constante característica da recta do IEE
$b_{IEE}$	Constante característica da recta do IEE
$CE_{avac}$	CE de responsabilidade do AVAC (€)
$a_{CE}$	Constante característica da recta do CE
$b_{CE}$	Constante característica da recta do CE

As variáveis associadas à monitorização do processo já se encontram descritas na Tabela E.2.

#### Modelo de controlo do sistema de AVAC

O modelo de controlo pressupõe a alteração das variáveis de controlo, nos períodos de não utilização da piscina, que minimizem energeticamente a instalação considerando dois critérios: temperatura de bolbo húmido e temperatura de ponto de orvalho.

A base da optimização energética tem como referência as equações que nos caracterizam a evolução, em função da humidade relativa, do  $IEE_{avac}$  e  $CE_{avac}$  :

$$IEE_{AVAC} = a_{IEE} + b_{IEE} \times \phi \quad (E.1)$$

$$CE_{AVAC} = a_{CE} + b_{CE} \times \phi \quad (E.2)$$

Para o critério da temperatura de orvalho os parâmetros  $a_{IEE\_Tpo}$ ,  $b_{IEE\_Tpo}$ ,  $a_{CE\_Tpo}$  e  $b_{CE\_Tpo}$  são dados por:

$$a_{IEE\_Tpo} = \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{real}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} \times \left( 80\% + 2 \overset{real}{\phi} \right) - \frac{\left( \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} \times \overset{real}{\phi}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.3)$$

$$b_{IEE\_Tpo} = \frac{\left( \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} - \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{real}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.4)$$

$$a_{CE\_Tpo} = \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{real}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} \times \left( 80\% + 2 \overset{real}{\phi} \right) - \frac{\left( \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} \times \overset{real}{\phi}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.5)$$

$$b_{CE\_Tpo} = \frac{\left( \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{80\%\_Tpo}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} - \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{real}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.6)$$

Para o critério da temperatura de bolbo húmido os parâmetros  $a_{IEE\_Tbh}$ ,  $b_{IEE\_Tbh}$ ,  $a_{CE\_Tbh}$  e  $b_{CE\_Tbh}$  são dados por:

$$a_{IEE\_Tbh} = \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{real}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} \times \left( 80\% + 2 \overset{real}{\phi} \right) - \frac{\left( \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{env} + \overset{80\%\_bh}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} \times \overset{real}{\phi}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.7)$$

$$b_{IEE\_Tbh} = \frac{\left( \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}} - \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times 0,086 + \overset{real}{Q}_{dum} \times 0,29}{A_{util}}}{80\% + \overset{real}{\phi}} \quad (E.8)$$



$$a_{CE\_Tbh} = \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{real}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} \times \left( 80\% + 2 \overset{real}{\phi} \right) - \frac{\left( \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} \times \overset{real}{\phi} \quad (E.9)$$

$$b_{CE\_Tbh} = \frac{\left( \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{env} + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{80\%\_Tbh}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} - \frac{\left( \overset{real}{Q}_{env} + \overset{real}{Q}_{re} \right) \times p_{gn} + \overset{real}{Q}_{dum} \times p_{ee}}{A_{util}} \quad (E.10)$$

As variáveis de controlo a aplicar serão as que permitem optimizar o CE do edifício,  $CE_{avac}$ .

O cálculo do  $IEE_{avac}$  é meramente para monitorização do processo.

Algoritmo:  
Controlo do sistema de AVAC

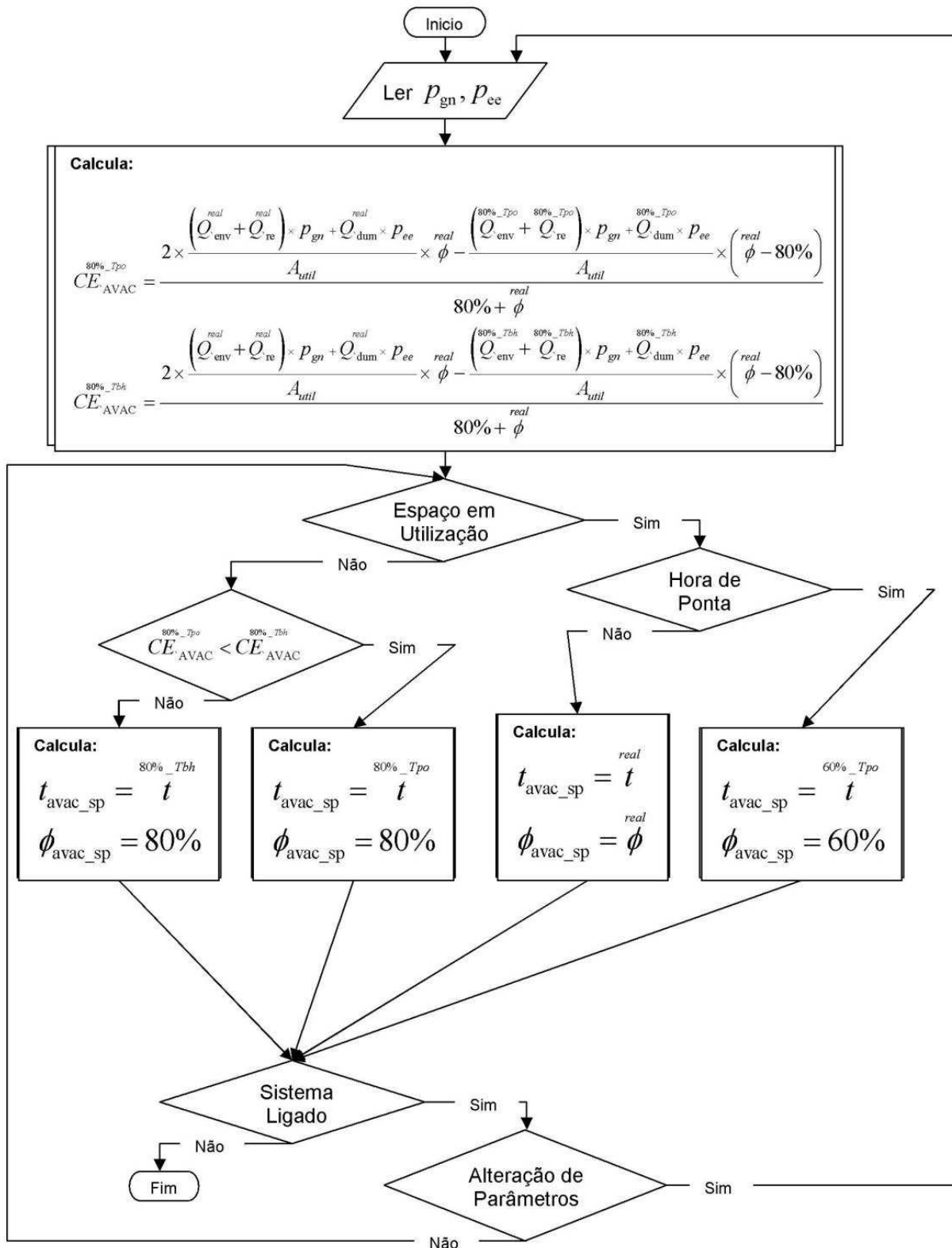


Figura E.4 – Fluxograma do sistema de climatização da nave da piscina

Monitorização do sistema AVAC

Os critérios para a monitorização das variáveis independentes do sistema AVAC vêm expressas na Tabela E.10.

**Tabela E.10 – Monitorização das variáveis independentes do Sistema AVAC**

Variável	Sigla	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi	
						Aviso emitido
$t_{amb\_ext}$	I-001	15 min	-	-	-	
$\phi_{ext}$	I-002	15 min	-	-	-	
$t_{amb}$	I-003	15 min	$0 < t_{amb} - t_{in} > 4$	(IPQ, 2009A)	-	“A diferença entre a temperatura ambiente relativamente à temperatura da água da piscina não está no intervalo recomendado”
$\phi$	I-004	15 min	80 %	(IPQ, 2009A)	-	“A humidade relativa ultrapassou o valor máximo recomendado”
$co_2$	I-005	15 min	$1800 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de dióxido de carbono ultrapassou o máximo de referência”
$co$	I-006	15 min	$12,5 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de monóxido de carbono ultrapassou o máximo de referência”
$oz$	I-007	15 min	$0,2 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	-	“Concentração de ozono ultrapassou o máximo de referência”
$cov\_THM$	I-008	15 min	$36 \text{ } \mu\text{g/m}^3$	(WHO, 2006)	-	“Concentração de THM ultrapassou a zona de conforto para exposições moderadas”
$cov\_NCL3$	I-008	15 min	$0,5 \text{ mg/m}^3$	(Héry, 1994)	-	“Concentração de cloraminas ultrapassou a zona de conforto para exposições de longa duração”
$eea_{avac}$	D-002	60 min	-	-	-	
$et_{avac}$	D-003	60 min	-	-	-	

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do sistema (Tabela E.11), sendo neste caso:

- Concentração total dos compostos orgânicos voláteis ( $T_{cov}$ ), que uma boa aproximação será dada por  $T_{cov} = cov\_THM + cov\_NCL3$ .
- Evolução do  $IEE$  de responsabilidade do sistema AVAC previsto ( $IEE_{AVAC\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada

$$\text{por } IEE_{AVAC\_pe} = \frac{0,086 \times et_{avac} + 0,29 \times eea_{avac}}{A_{util}} \times \frac{12}{mes}.$$

- Evolução do CE de responsabilidade do AVAC previsto ( $CE_{AVAC\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por

$$CE_{AVAC\_pe} = (p_{gn} \times et_{avac} + p_{ee} \times eea_{avac}) \times \frac{12}{mes}.$$

Tabela E.11 – Monitorização das variáveis dependentes do Sistema AVAC

Variável	MosGua	Referência	EmAvi	
			Fonte	Aviso emitido
$T_{cov}$	15 min	$0,6 \text{ mg/m}^3$	(RSECE, 2006)	“Concentração dos compostos orgânicos voláteis totais ultrapassou o máximo de referência”
$IEE_{AVAC\_pe}$	60 min	$IEE_{AVAC\_pe} > 0,43 \times 35$	(RSECE, 2006)	“O consumo específico do sistema AVAC está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{AVAC\_pe}$	60 min	-	-	-

### Sistema de Bombagem

O controlo e monitorização do SB dispõem de uma rede sensorial detalhada, com o intuito de controlar as bombas de uma forma eficiente e monitorizar os parâmetros de funcionamento do SB ao nível das bombas e dos filtros

#### Variáveis do SB

As variáveis do SB são na essência de três tipos: as características técnicas da instalação, as de monitorização do processo (Tabela E.12) e as auxiliares.

Ao nível das características técnicas da instalação as variáveis são dependentes, podendo ser estimadas com a instalação em funcionamento ou partindo dos dados disponíveis do caderno de encargos, ou ainda dos outros documentos técnicos. Para este processo, as variáveis consideradas são apresentadas na Tabela E.12.

Tabela E.12 - Variáveis dependentes do SB

Variável	Designação
$a_{b\_in}$	Constante $a$ da curva característica da bomba indicado pelo fabricante
$c_{b\_in}$	Constante $c$ da curva característica da bomba indicado pelo fabricante
$n_f$	Número de bomba em funcionamento no sistema hidráulico da piscina
$h_b$	Altura manométrica da bomba (m)
$h_s$	Altura manométrica da instalação (m)
$q_{fun}$	Caudal da água pretendido para o circuito hidráulico da piscina ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
$n$	Número de bombas do sistema hidráulico da piscina
$q_{nom}$	Caudal de água nominal definido para a piscina ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
$n_{nom}$	Velocidade nominal das bombas do sistema hidráulico da piscina (rpm)
$p_{en}$	Potência eléctrica nominal do motor da bomba do sistema hidráulico da piscina (W)
$pe$	Constante característica do motor de indução
$pd$	Constante característica do motor de indução

$pc_{f\_l}$  Perda de carga de um filtro lavado

As variáveis associadas à monitorização do processo já se encontram descritas na Tabela E.3.

As principais variáveis auxiliares vêm apresentadas na Tabela E.13.

**Tabela 6.13 - Variáveis auxiliares do SB**

Variável	Designação
$a_{b1}$	Constante $a$ da curva característica da bomba nº 1
$a_{b2}$	Constante $a$ da curva característica da bomba nº 2
...	...
$a_{bn}$	Constante $a$ da curva característica da bomba nº $n$
$a_{gb}$	Constante $a$ da curva característica, valor médio das $n$ bombas
$c_{b1}$	Constante $c$ da curva característica da bomba nº 1 da piscina
$c_{b2}$	Constante $c$ da curva característica da bomba nº 2 da piscina
...	...
$c_{bn}$	Constante $c$ da curva característica da bomba nº $n$ da piscina
$c_{gb}$	Constante $c$ da curva característica do sistema de bombas, valor médio das $n$ bombas
$a_h$	Constante $a$ da curva característica da potência hidráulica de uma bomba
$c_h$	Constante $c$ da curva característica da potência hidráulica de uma bomba
$d$	Constante $d$ da curva característica da potência hidráulica de uma bomba
$a_s$	Constante $a$ da curva característica da instalação
$c_s$	Constante $c$ da curva característica da instalação
$a_{b\_ref}$	Constante $a$ da curva característica de uma bomba
$c_{b\_ref}$	Constante $c$ da curva característica de uma bomba
$a_{s\_ref}$	Constante $a$ da curva característica da instalação
$c_{s\_ref}$	Constante $c$ da curva característica da instalação
$h_{b\_ref1}$	Altura manométrica da bomba (m)
$h_{b\_ref2}$	Altura manométrica da bomba (m)
$q_{ref1}$	Caudal da água ( $m^3/h$ )
$q_{ref2}$	Caudal da água ( $m^3/h$ )
$q_{vv-ref}$	Caudal dado quando se iguala a curva característica do sistema de bombas com curva de afinidade ( $m^3/h$ )
$f_{ref}$	Número de bombas em regime nominal
$p_{ne}$	Potência eléctrica de $n$ conjuntos motor-bomba (W)
$p_{e\_vn}$	Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba em regime nominal (W)
$p_{e\_vv}$	Potência eléctrica de um conjunto motor-bomba a velocidade variável (W)
$n_f$	Número de bombas em funcionamento no sistema hidráulico da piscina

#### Parâmetros de funcionamento do SB

Para controlar o funcionamento das bombas é fulcral determinar os parâmetros associados ao SB, que são a curva característica de uma bomba, do sistema de bombas e da instalação.

**Aferição da curva característica de uma bomba** - A curva característica pode ser estimada a partir da utilização de dois sensores de pressão, um na entrada da bomba ( $P_i$ ) e outro na saída ( $P_o$ ), e sabendo o caudal ( $q_p$ ) que a bomba debita, sendo a altura manométrica da bomba ( $h_b$ ), para um determinado caudal, obtida a partir de:

$$h_b(q_p) = 1,02 \times 10^{-9} \times [P_o(q_p) - P_i(q_p)] \quad (\text{E.11})$$

Considerando que a bomba  $n$  se encontra em velocidade nominal e com um caudal estabilizado, as constantes características  $a_b$  e  $c_b$  podem ser determinadas pelo algoritmo da Figura E.5:

Algoritmo:

**Curva característica de uma bomba**

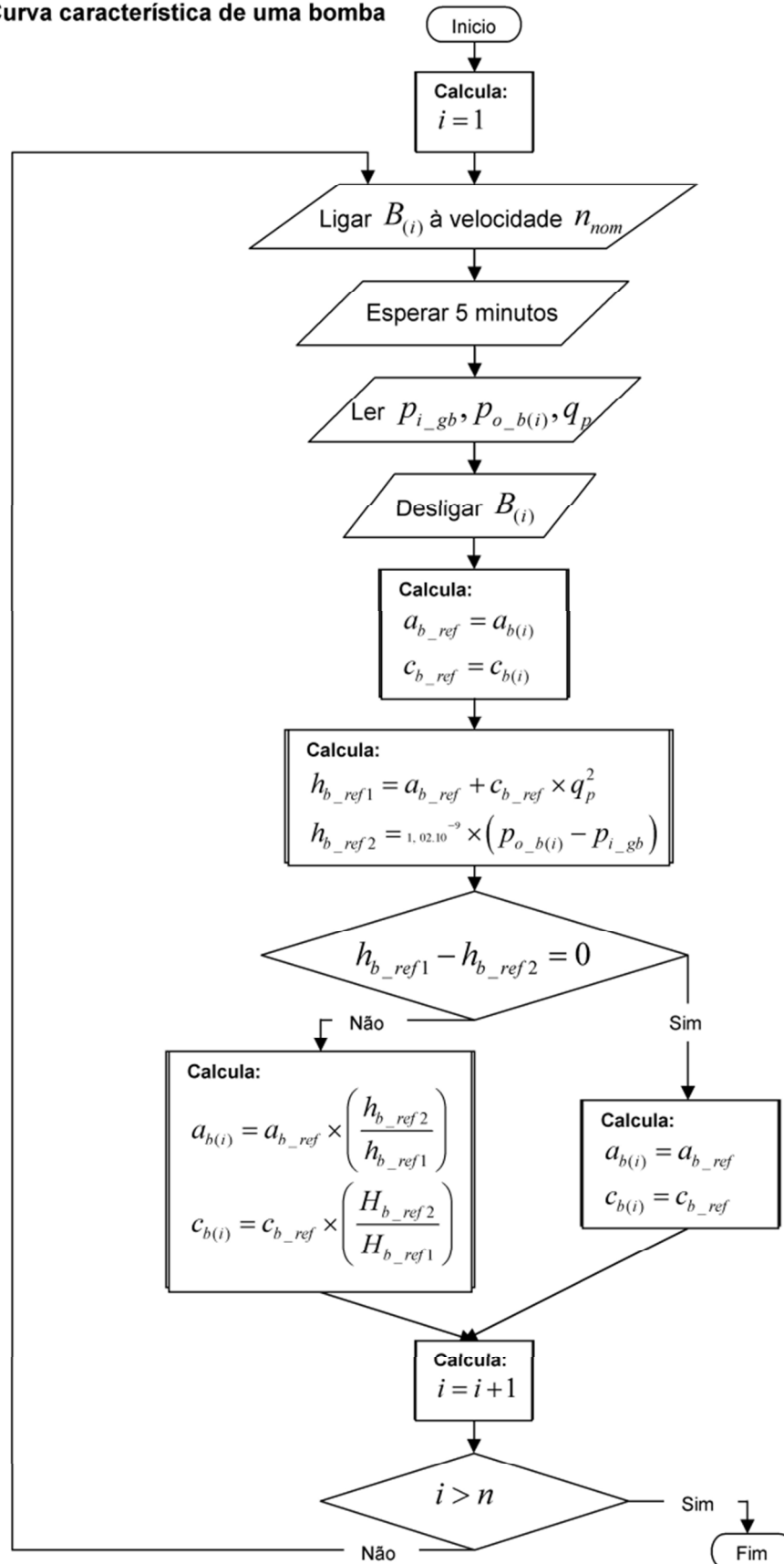


Figura E.5 – Algoritmo de aferição da curva característica de uma bomba

**Aferição da curva característica do sistema de bombas** - Partindo das constantes características  $a_b$  e  $c_b$  das bombas  $n$  existentes, a determinação das constantes características do sistema de bombas pode ser efectuada partindo do algoritmo da Figura E.6.

Algoritmo:  
**Curva característica do sistema de bombas**

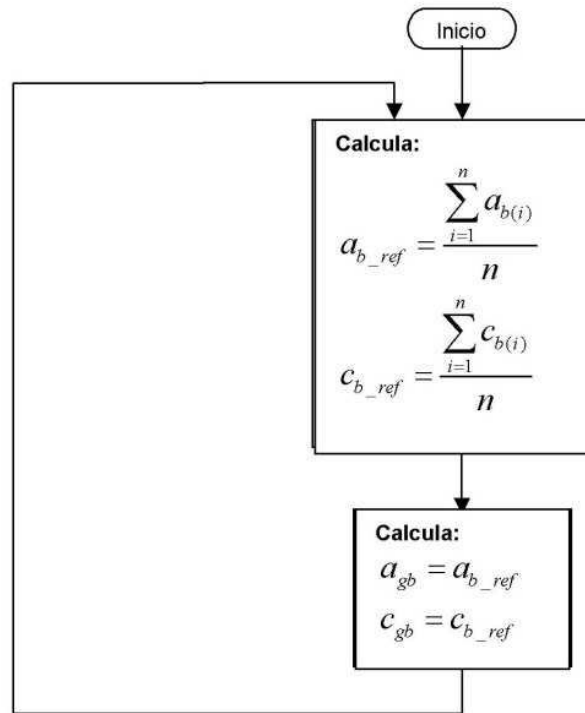


Figura E.6 – Algoritmo de aferição da curva característica do sistema de bombas

**Aferição da curva característica da instalação** - As constantes  $a_s$  e  $c_s$  podem ainda ser estimadas partindo da utilização de um caudalímetro e testando dois pontos de funcionamento em velocidade nominal da instalação. Sabendo que  $q_1$  é o caudal debitado pelo sistema com uma bomba em velocidade nominal e  $q_n$  é o caudal debitado pelo sistema com  $n_f$  bombas em velocidade nominal, temos:

$$a_s = a_b + c_b q_1^2 - \frac{c_b q_1^2 \left( \frac{q_n^2}{n_f^2} - q_1^2 \right)}{q_n^2 - q_1^2} \quad (\text{E.12})$$

$$c_s = \frac{c_b \left( \frac{q_n^2}{n^2} - q_1^2 \right)}{q_n^2 - q_1^2} \quad (\text{E.13})$$



Na Figura E.7 é apresentado o algoritmo para a determinação das constantes  $a_s$  e  $c_s$ .

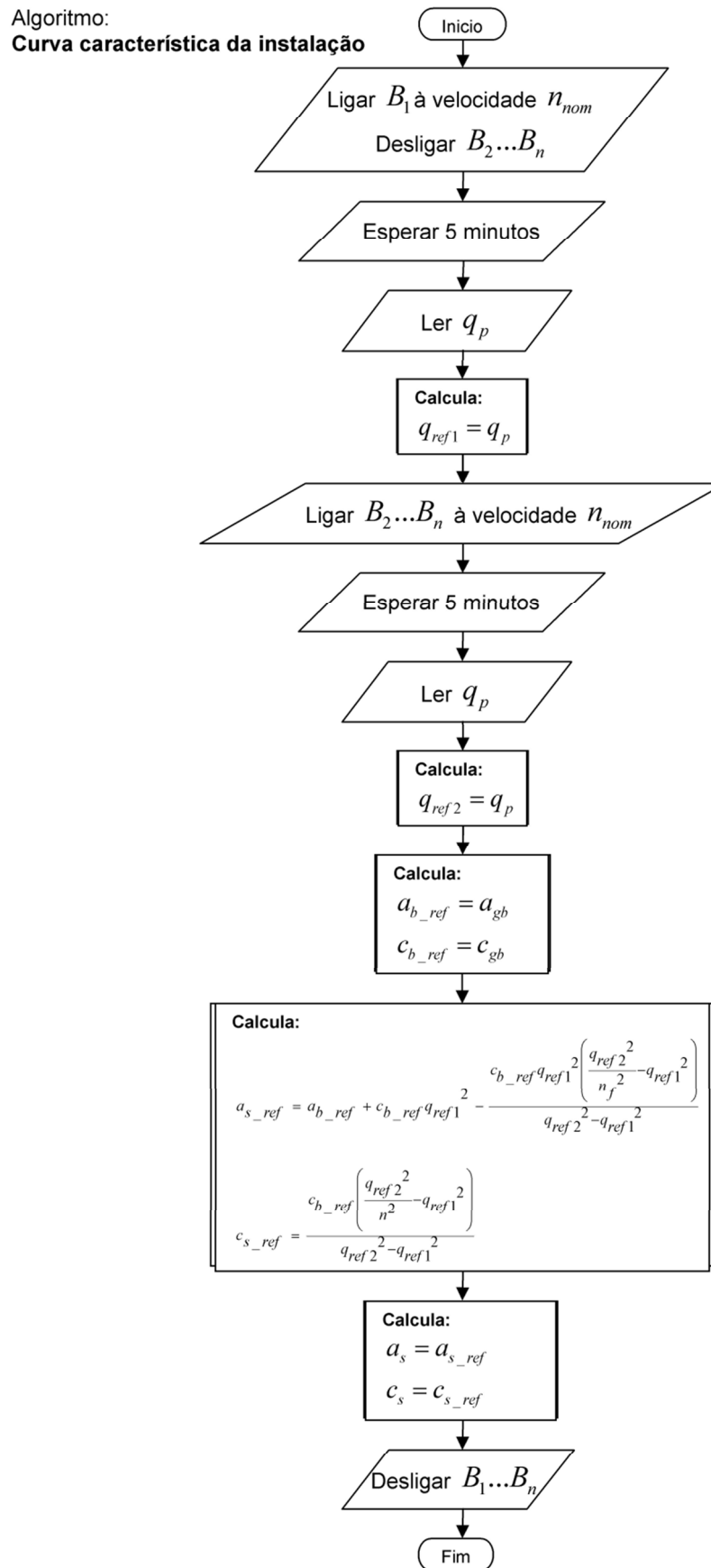
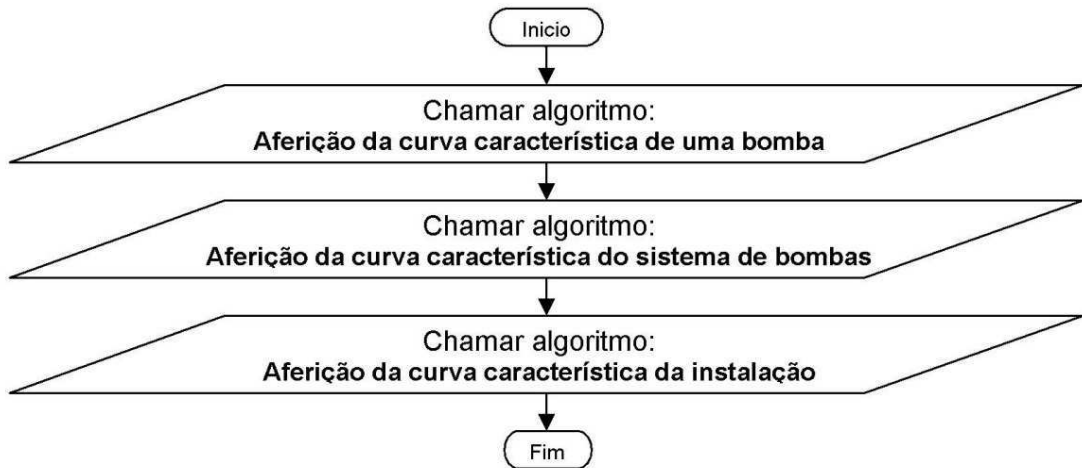


Figura E.7 – Algoritmo de aferição da curva característica da instalação

**Parâmetros do SB** - A aferição dos parâmetros de funcionamento do SB deverão ser efectuados em períodos de não utilização da instalação, sendo o primeiro dia da semana (Domingo) o mais adequado. Este algoritmo está descrito na Figura E.7.

Algoritmo:  
**Parâmetros do SB**



**Figura E.8 – Algoritmo para determinação dos parâmetros de funcionamento do SB**

Modelo de controlo do SB

O modelo de controlo proposto tem como objectivo principal garantir o caudal mínimo regulamentar, durante os períodos normais de utilização, e um caudal inferior ao regulamentar para os períodos de não utilização, com a garantia da avaliação da qualidade da água em tempo real. Neste sentido, é expectável a redução do caudal da instalação para metade do caudal nominal, nas seguintes situações:

- Durante o período de não utilização das instalações;
- Nos períodos em que os custos energéticos são mais elevados (horas de ponta).

Contudo devemos ter sempre atenção à qualidade da água e se esta se começar a degradar deve aumentar-se gradualmente o caudal da instalação até garantir as condições satisfatórias de IS.

Como o SB é composto normalmente por mais do que uma bomba em paralelo é necessário determinar a potência eléctrica tomada pela instalação na globalidade. A redução do consumo energético é possível partindo da determinação da menor potência tomada para as diferentes combinações de funcionamento das bombas. Ou seja, determinar o número de bombas que

devem trabalhar em regime nominal  $f$  e as que devem funcionar em velocidade variável  $n_f - f$ , o que minimiza a potência eléctrica tomada.

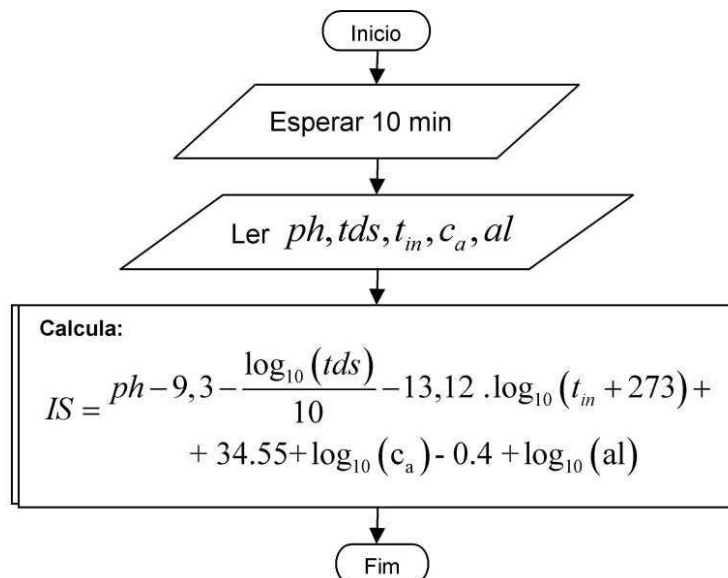
**Cálculo do IS da instalação** - Avaliação da qualidade da água é fulcral para a implementação do modelo de controlo do SB. Nesta perspectiva, a determinação do índice de *Langelier*, mais conhecido como IS, será o passo seguinte.

Partindo dos dados das variáveis independentes do SB (Tabela E.3), a determinação do IS é efectuada utilizando a equação E.14.

$$IS = ph - 9,3 - \frac{\log_{10}(tds)}{10} - 13,12 \cdot \log_{10}(t_{in} + 273) + 34,55 + \log_{10}(c_a) - 0,4 + \log_{10}(al) \quad (E.14)$$

Na Figura E.9 é apresentado o algoritmo para a determinação do *IS* da instalação. Segundo o que foi formulado no Capítulo 2, o *IS* é considerado satisfatório quando pertence ao intervalo: -0,5 e +0,5.

Algoritmo:  
**Calculo do IS da instalação**



**Figura E.9 – Algoritmo de cálculo do *IS* da instalação**

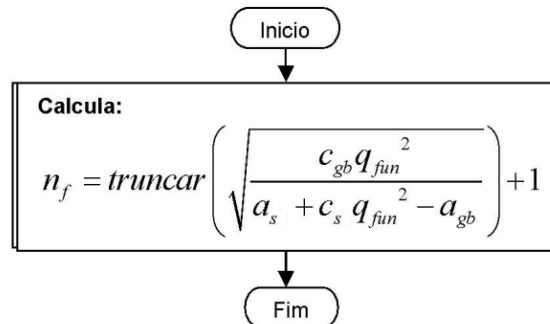
**Determinação do  $n_f$  função do caudal** - O primeiro passo é determinar o número de bombas em funcionamento ( $n_f$ ) que garanta o  $q_{fun}$ . Para ser obtido, iguala-se as curvas características do sistema de bombas e a do sistema hidráulico obtendo-se um valor fraccionário que representa o número total de bombas que devem funcionar. Então  $n_f$  será dado por:

$$n_f = f(q_{fun}) = \text{truncar} \left( \sqrt{\frac{c_{gb} q_{fun}^2}{a_s + c_s q_{fun}^2 - a_{gb}}} \right) + 1 \quad (\text{E.15})$$

Na Figura E.10 é apresentado o algoritmo para calcular o  $n_f$  que pode garantir o  $Q_{fun}$ .

Algoritmo:

**Algoritmo de calculo do  $n_f$  função do caudal**



**Figura E.10 – Algoritmo de cálculo do  $n_f$  função do caudal**

**Determinação do par  $(n_f, f)$**  - O modelo de controlo pressupõe determinar o par  $(n_f, f)$  que minimiza a potência eléctrica tomada pelo SB, para um determinado caudal pretendido na instalação  $q_{fun}$ .

Sabendo que a potência eléctrica tomada pelo SB, para diferentes caudais, pode ser estimado por:

$$p_{me} = f \cdot p_{me\_vn} + (n_f - f) \cdot p_{e\_vv} \quad (\text{E.16})$$

Onde:

$$P_{e\_vn} = \frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}}{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}} \frac{P_{en}}{\left( \frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}}{P_{en}} + pe + pd \left( \frac{a_h + c_h \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}}{P_{en}} \right)^2 \right)^2} \quad (E.17)$$

$$P_{e\_vv} = \frac{P_{h\_vv}}{\frac{P_{h\_vv}}{P_{en}} + pe + pd \left( \frac{P_{h\_vv}}{P_{en}} \right)^2} \quad (E.18)$$

Com:

$$P_{h\_vv} = \left( \frac{Q_{vv}}{Q_{vv-ref}} \right)^3 P_{h\_vv-ref} \quad (E.19)$$

onde:

$$Q_{vv} = \frac{\frac{2c_b \Delta Q}{(n_f - f)^2} \pm \sqrt{\left( \frac{2c_b \Delta Q}{(n_f - f)^2} \right)^2 - 4 \left( \frac{c_b}{(n_f - f)^2} - c_s \right) \left( \frac{c_b \Delta Q^2}{(n_f - f)^2} + a_b - \Delta H - a_s \right)}}{2 \left( \frac{c_b}{(n_f - f)^2} - c_s \right)}$$

$$\Delta Q = \frac{\frac{a_b}{a_s + c_s q_{fun}^2} - \frac{c_b}{(n_f - f)^2} - q_{fun} + \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}}{\sqrt{\left( q_{fun} - \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}} \right)^2 - \frac{c_b}{(n_f - f)^2}}}$$

$$\Delta H = \frac{\frac{a_b}{a_s + c_s q_{fun}^2} - \frac{c_b}{(n_f - f)^2} \times (a_s + c_s q_{fun}^2)}{\left( q_{fun} - \sqrt{\frac{f^2(a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}} \right)^2 - \frac{c_b}{(n_f - f)^2}} - a_s - c_s q_{fun}^2 \quad (E.20)$$

$$Q_{vv-ref} = \sqrt{\frac{a_b \cdot (n_f - f)^2 \cdot Q_{vv}^2}{a_s \cdot (n_f - f)^2 + c_s \cdot (n_f - f)^2 \cdot Q_{vv}^2 - c_b \cdot Q_{vv}^2}} \quad (\text{E.21})$$

$$P_{h\_vv-ref} = a_h + b_h \frac{Q_{vv-ref}}{(n_f - f)} \quad (\text{E.22})$$

Na Figura E.11 é apresentado o algoritmo para determinar o par  $(n_f, f)$  que minimiza a potência eléctrica tomada pelo SB.

Algoritmo:

**Algoritmo de determinação do par  $(n_f, f)$**

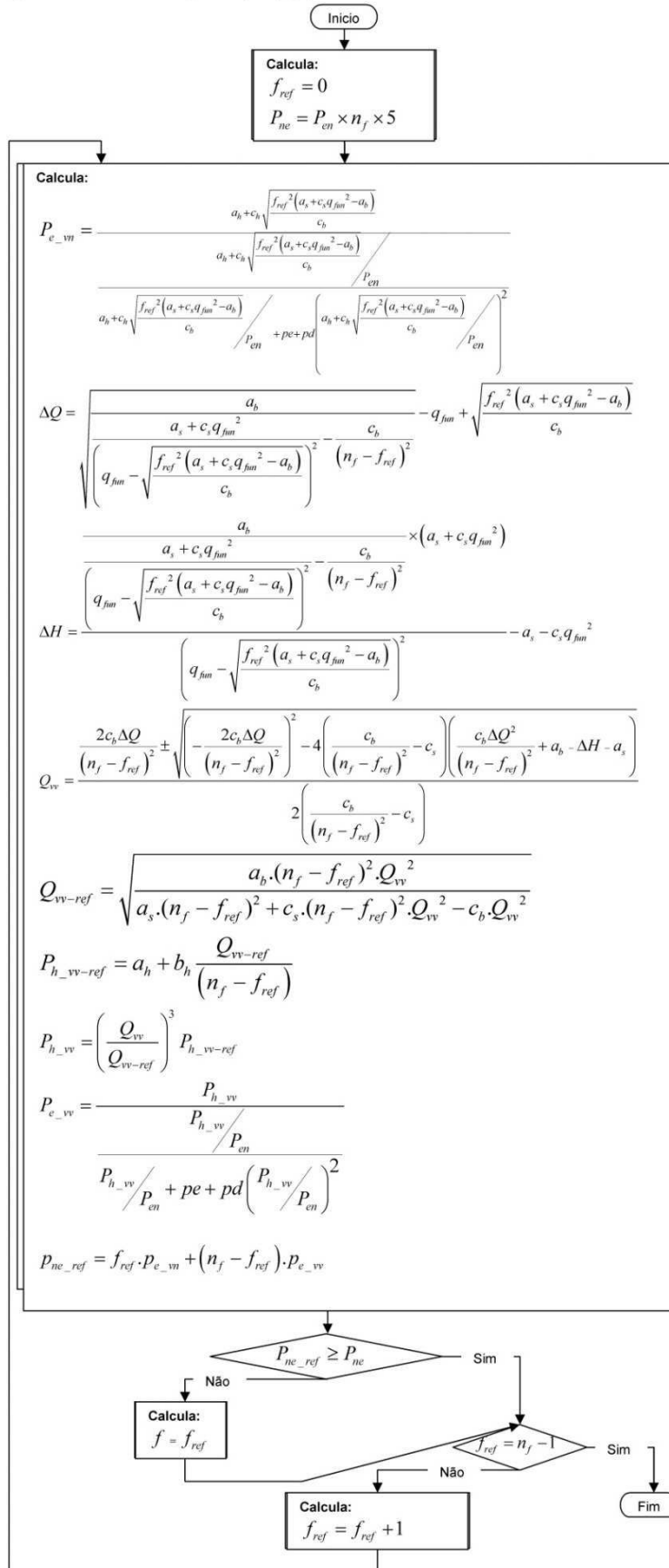


Figura E.11 – Algoritmo de cálculo do par  $(n_f, f)$

**Determinação da velocidade das bombas em regime velocidade variável** - A velocidade de cada bomba em velocidade variável ( $n_{vv}$ ) estará dependente do caudal pretendido na instalação  $q_{fun}$ , sendo dado por:

$$n_{vv} = \frac{n_{nom} \times Q_{vv}}{Q_{vv-ref}} = \frac{n_{nom} \times Q_{vv}}{\sqrt{\frac{a_b \cdot (n_f - f)^2 \cdot Q_{vv}^2}{a_s \cdot (n_f - f)^2 + c_s \cdot (n_f - f)^2 \cdot Q_{vv}^2 - c_b \cdot Q_{vv}^2}}} \quad (E.23)$$

onde:

$$Q_{vv} = \frac{\frac{2c_b \Delta Q}{(n_f - f)^2} \pm \sqrt{\left( \frac{2c_b \Delta Q}{(n_f - f)^2} \right)^2 - 4 \left( \frac{c_b}{(n_f - f)^2} - c_s \right) \left( \frac{c_b \Delta Q^2}{(n_f - f)^2} + a_b - \Delta H - a_s \right)}}{2 \left( \frac{c_b}{(n_f - f)^2} - c_s \right)}$$

$$\Delta Q = \frac{\frac{a_b}{a_s + c_s q_{fun}^2} - q_{fun} + \sqrt{\frac{f^2 (a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}}}{\sqrt{\left( q_{fun} - \sqrt{\frac{f^2 (a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}} \right)^2 - \frac{c_b}{(n_f - f)^2}}}$$

$$\Delta H = \frac{\frac{a_b}{a_s + c_s q_{fun}^2} \times (a_s + c_s q_{fun}^2)}{\left( q_{fun} - \sqrt{\frac{f^2 (a_s + c_s q_{fun}^2 - a_b)}{c_b}} \right)^2 - \frac{c_b}{(n_f - f)^2}} - a_s - c_s q_{fun}^2 \quad (E.24)$$

Na Figura E.12 é apresentado o algoritmo para calcular a velocidade de cada bomba em velocidade variável.



Algoritmo:

**Algoritmo de calculo da velocidade de cada bomba em regime vv**

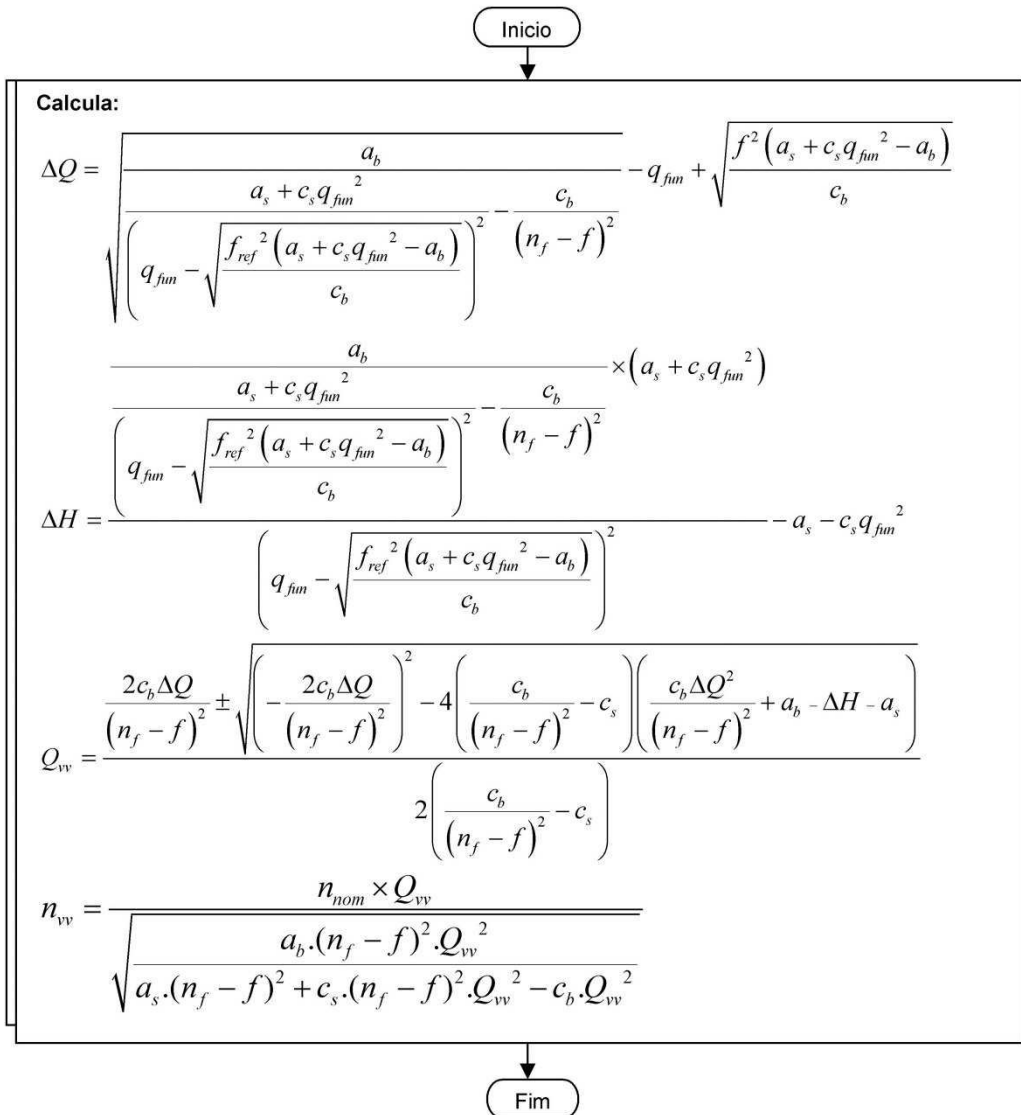


Figura E.12 – Algoritmo de cálculo da velocidade de cada bomba em regime vv

**Escalonamento de funcionamento das bombas** - O escalonamento das bombas é efectuado de modo a verificar-se uma rotatividade de funcionamento, ou seja, sempre que existir uma alteração do caudal existirá uma nova sequência de bombas em funcionamento, sendo o escalonamento feito de modo que a primeira bomba a entrar em velocidade nominal seja a imediatamente a seguir à última que esteve nestas condições.

O escalonamento é representado por uma matriz com codificação binária, como representado na Tabela E.14. Cada bit assume valor 0 para uma bomba desligada e 1 para uma bomba em regime nominal.

**Tabela E.14 – Matriz de escalonamento**

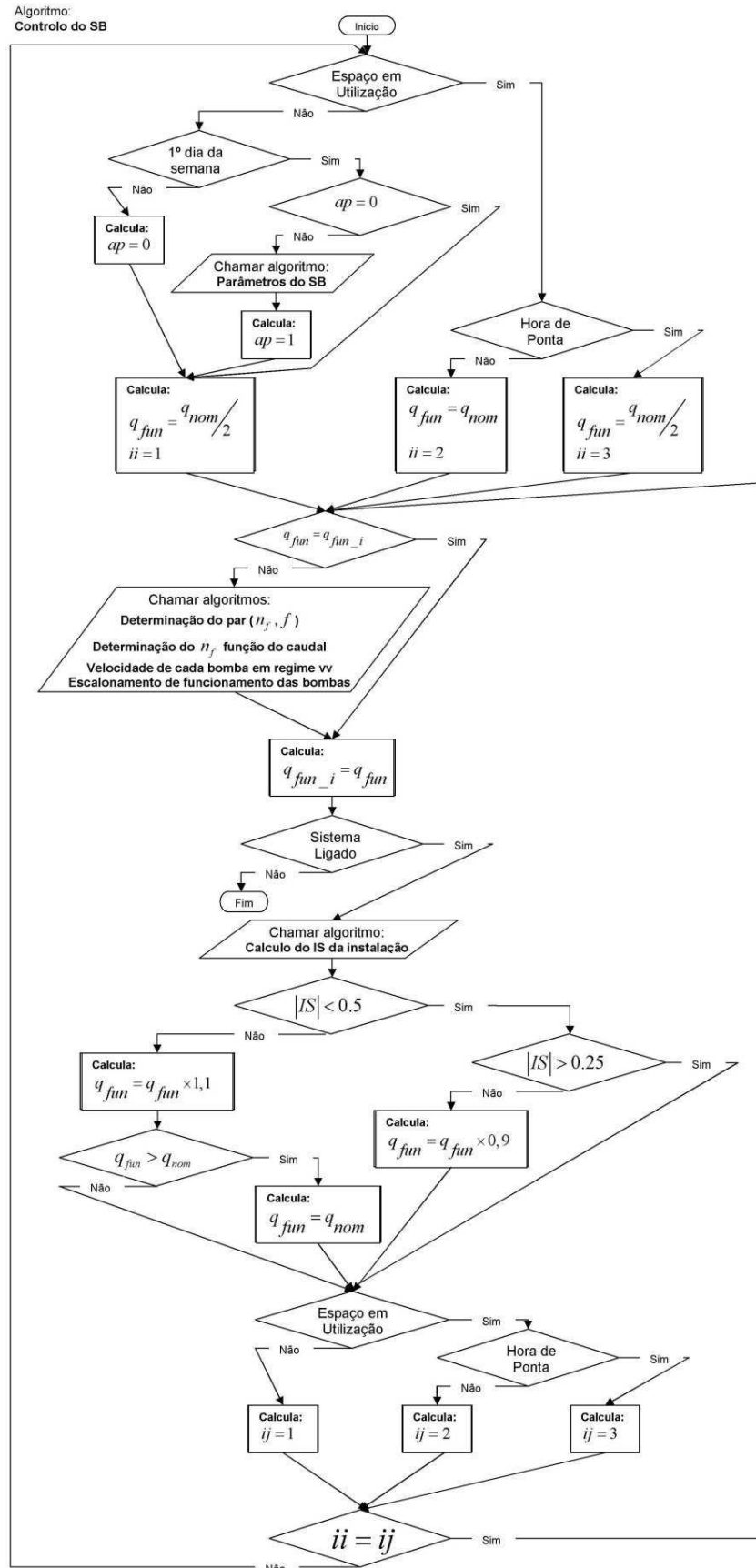
$B_1$	0
$B_2$	1
$B_3$	1
$B_4$	0
...	
$B_n$	0

Sistematizando, irão estar  $f$  de bombas em funcionamento a velocidade nominal e  $(n_f - f)$  em velocidade variável ( $N_{vv}$ ) determinada no ponto anterior. Para a rotatividade de funcionamento das bombas será necessário guardar a informação sobre a última bomba que entrou em velocidade nominal ( $i_{ult}$ ) e o número de bombas no mesmo regime de velocidade ( $n_{f\_ult}$ ).

Na Figura E.13 é apresentado o algoritmo para escalonamento de funcionamento das bombas.



**Algoritmo controlo do SB** - Este algoritmo (Figura E.14) irá implementar todos os algoritmos anteriormente descritos.



**Figura E.14 – Algoritmo para controlo do SB**

## Monitorização do SB

Os critérios para a monitorização das variáveis independentes do SB vêm expressos na Tabela E.15.

Tabela E.15 – Monitorização das variáveis independentes do SB

Variável	Sigla	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
					Aviso emitido
$t_{in}$	I-100	15 min	-	-	-
$q_p$	I-101	15 min	-	-	-
$p_{i\_p}$	I-102	15 min	-	-	-
$p_{o\_p}$	I-103	15 min	-	-	-
$p_{i\_gb}$	I-250	15 min	-	-	-
$p_{o\_b1}$	I-201	15 min	-	-	-
$p_{o\_b2}$	I-202	15 min	-	-	-
...					
$p_{o\_bn}$	I-20n	15 min	-	-	-
$p_{i\_f}$	I-350	15 min	-	-	-
$p_{o\_f1}$	I-301	15 min	-	-	-
$p_{o\_f2}$	I-302	15 min	-	-	-
...					
$p_{o\_fx}$	I-30x	15 min	-	-	-
$ph$	I-104	15 min	$6.9 < ph > 8.0$	CNQ 23/93	“O pH da água da piscina está fora dos parâmetros recomendados”
$tds$	I-105	15 min	-	-	-
$c_a$	I-106	15 min	-	-	-
$al$	I-107	15 min	-	-	-
$eed_{SB}$	D-002	60 min	-	-	-
$et_{SB}$	D-003	60 min	-	-	-

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do sistema (Tabela E.16), sendo neste caso:

- O IS ou índice de Langelier (Perkins, 2000; Dąbrowski *et al.*, 2002; Langelier, 1936) é considerado satisfatório quando pertence ao intervalo: -0,5 e +0,5 (DHSS, 2003), (Stachecki & Haan, 1997) e (DHHS, 2005), e

$$IS = ph - 9,3 - \frac{\log_{10}(tds)}{10} - 13,12 \cdot \log_{10}(t_{in} + 273) + \\ + 34,55 + \log_{10}(c_a) - 0,4 + \log_{10}(al)$$

- A lavagem dos filtros deve ser feita quando a perda de carga excede 0.5Bar o valor da perda de carga estabelecida com o filtro lavado, logo a perda de carga do filtro  $x$  é dado por:  $pc_{fx} = p_{i\_f} - p_{i\_fx}$ .
- O funcionamento deficiente das bombas partindo da avaliação dos respectivos parâmetros.
- A evolução do IEE de responsabilidade do SB previsto ( $IEE_{SB\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por
 
$$IEE_{SB\_pe} = \frac{0,086 \times et_{SB} + 0,29 \times eea_{SB}}{A_{util}} \times \frac{12}{mes}.$$
- A evolução do CE de responsabilidade do SB previsto ( $CE_{SB\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por
 
$$CE_{SB\_pe} = (p_{gn} \times et_{SB} + p_{ee} \times eea_{SB}) \times \frac{12}{mes}.$$

**Tabela E.16 – Monitorização das variáveis dependentes do SB**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IS$	15 min	$ IS  > 0.5$	(DHSS, 2003)	“A qualidade da água da piscina está fora dos parâmetros considerados satisfatórios”
$pc_{f1}$	15 min	$pc_{f\_1} - pc_{f1} > 0.5$	CNQ 23/93	“Lavagem obrigatório do filtro 1”
...				
$pc_{fx}$	15 min	$pc_{f\_1} - pc_{fx} > 0.5$	CNQ 23/93	“Lavagem obrigatório do filtro x”
$a_{b1}$	15 min	$0.95 \times a_{b\_in} - a_{b1} > 0$	-	“Bomba 1 com anomalia ao nível da elevação”
...				
$a_{bn}$	15 min	$0.95 \times a_{b\_in} - a_{bn} > 0$	-	“Bomba n com anomalia ao nível da elevação”
$c_{b1}$	15 min	$0.95 \times c_{b\_in} - c_{b1} > 0$	-	“Bomba 1 com anomalia ao nível da elevação”
...				
$c_{bn}$	15 min	$0.95 \times c_{b\_in} - c_{bn} > 0$	-	“Bomba n com anomalia ao nível da elevação”
$IEE_{SB\_pe}$	60 min	$IEE_{SB\_pe} > 0,26 \times 35$	(RSECE, 2006)	“ O consumo específico do SB está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{SB\_pe}$	60 min	.	-	-

### Sistema de Iluminação

As variáveis independentes do SI vêm apresentadas na Tabela E.17.

**Tabela E.17 - Variáveis independentes do SI**

Variável	Designação
$mov_x$	Detector de movimento do espaço x
$luz_x$	Sensor de iluminação do espaço x
$ILM_x$	Iluminação do espaço x

### Modelo de controlo do SI

A regulação do funcionamento da iluminação pressupõe a capacidade de determinação de ocupação do espaço, em tempo real, como princípio base. Para o caso de espaços com iluminação natural, a avaliação do nível de iluminância será efectuada e incorporada no controlo.

O controlo (Figura E.15) de cada espaço independente e espaços de circulação, sem iluminação natural, será efectuada partindo dos detectores de movimento instalados.

Algoritmo:  
Controlo de iluminação por espaço sem iluminação natural

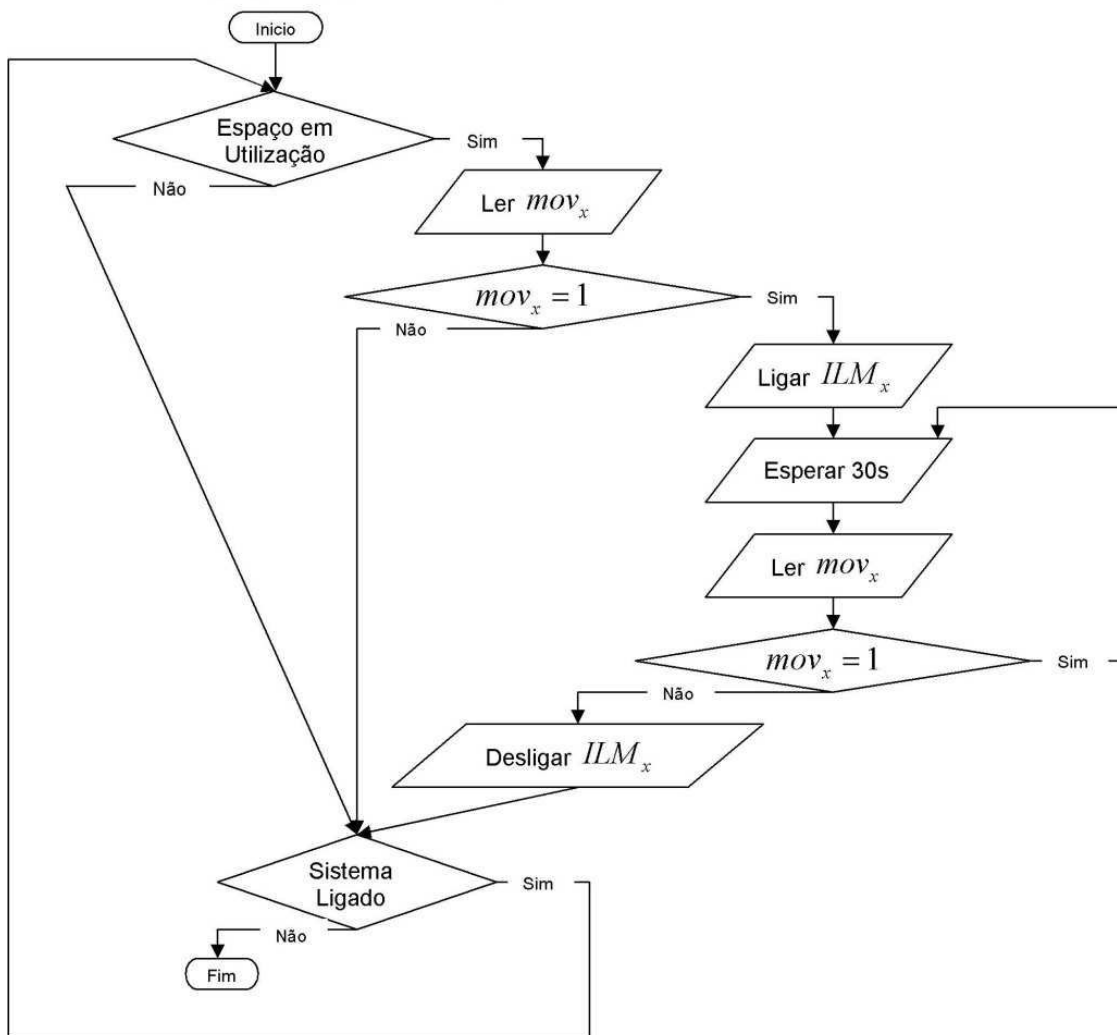


Figura E.15 – Algoritmo do SI - sem iluminação natural

Para o caso de espaços com iluminação natural (Figura E.16) é de considerar ainda um sensor de iluminação.

Algoritmo:  
Controlo de iluminação por espaço com iluminação natural

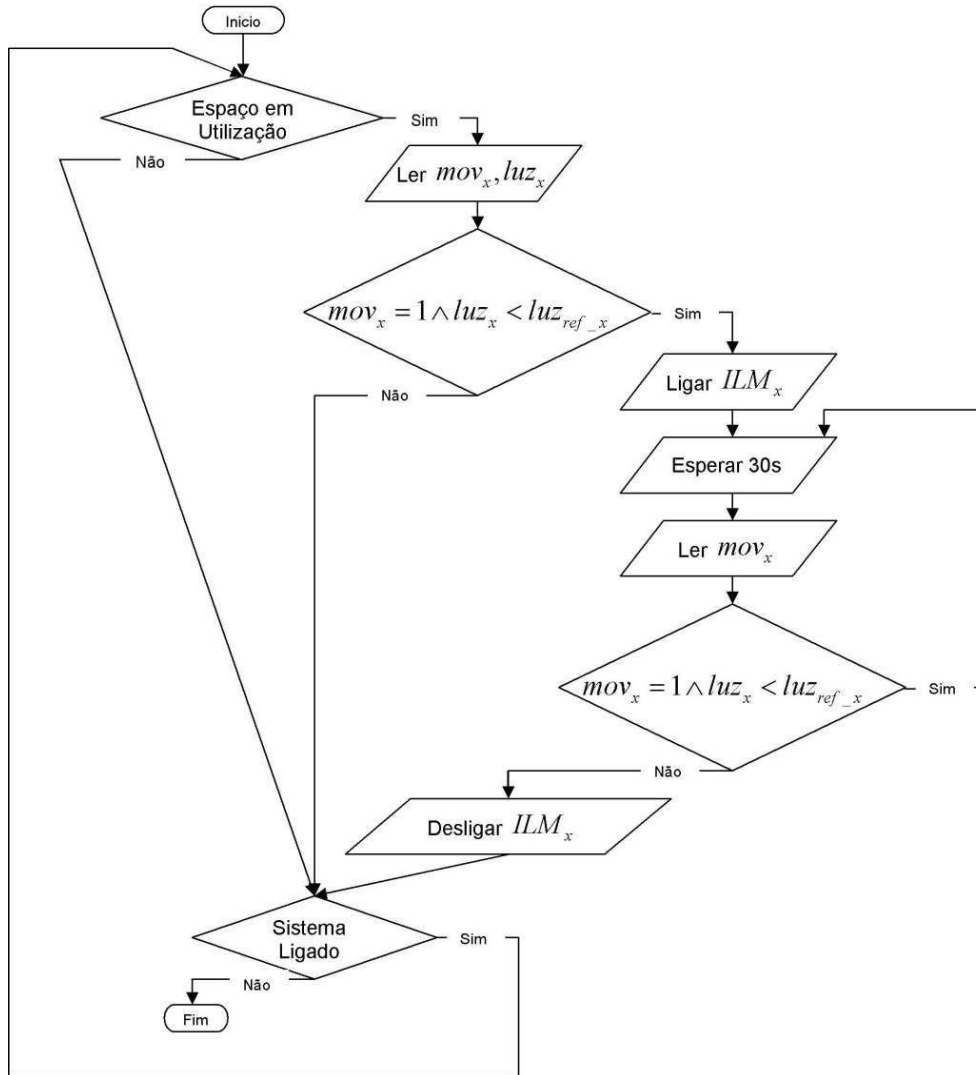


Figura E.16 – Algoritmo do SI - com iluminação natural

Monitorização do SI

Os critérios para a monitorização do SI vêm expressos na Tabela E.18.

Tabela E.18 – Monitorização das variáveis independentes do SI

Variável	Sigla	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi	
						Aviso emitido
$ILM_1$	O-401		-	-	-	
$ILM_2$	O-402		-	-	-	
...			-	-	-	
$ILM_a$	O-40a		-	-	-	
$eea_{SI}$	D-200	60 min	-	-	-	

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do SI (Tabela E.7), sendo neste caso:



- A previsão do *IEE* do SI ( $IEE_{SI\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $IEE_{SI\_pe} = 0,29 \times eea_{SI} / A_{util} \times 12 / mes$ .
- A previsão dos custos energéticos do SI ( $CE_{SI\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{SI\_pe} = p_{ee} \times eea_{total} \times 12 / mes$ .

**Tabela E.19 – Monitorização das variáveis dependentes do SI**

Variável	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi
				Aviso emitido
$IEE_{SI\_pe}$	60 min	$IEE_{SI\_pe} > 0,9 \times 35$	(RSECE, 2006)	“O consumo específico do SI está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{SI\_pe}$	60 min	-	-	-

### Sistema de Produção de AQS

Ao nível das variáveis independentes SPAQS restringem-se na essência às apresentadas na Tabela E.20.

**Tabela E.20 - Variáveis independentes de um chuveiro**

Variável	Designação
$ocp_y$	Detector de ocupação do chuveiro y
$CHV_y$	Electroválvula do chuveiro y

### Modelo de controlo do AQS

A estratégia de controlo assenta na detecção de presença de utilizador por baixo do chuveiro.

Algoritmo:  
Sistema de AQS por chuveiro

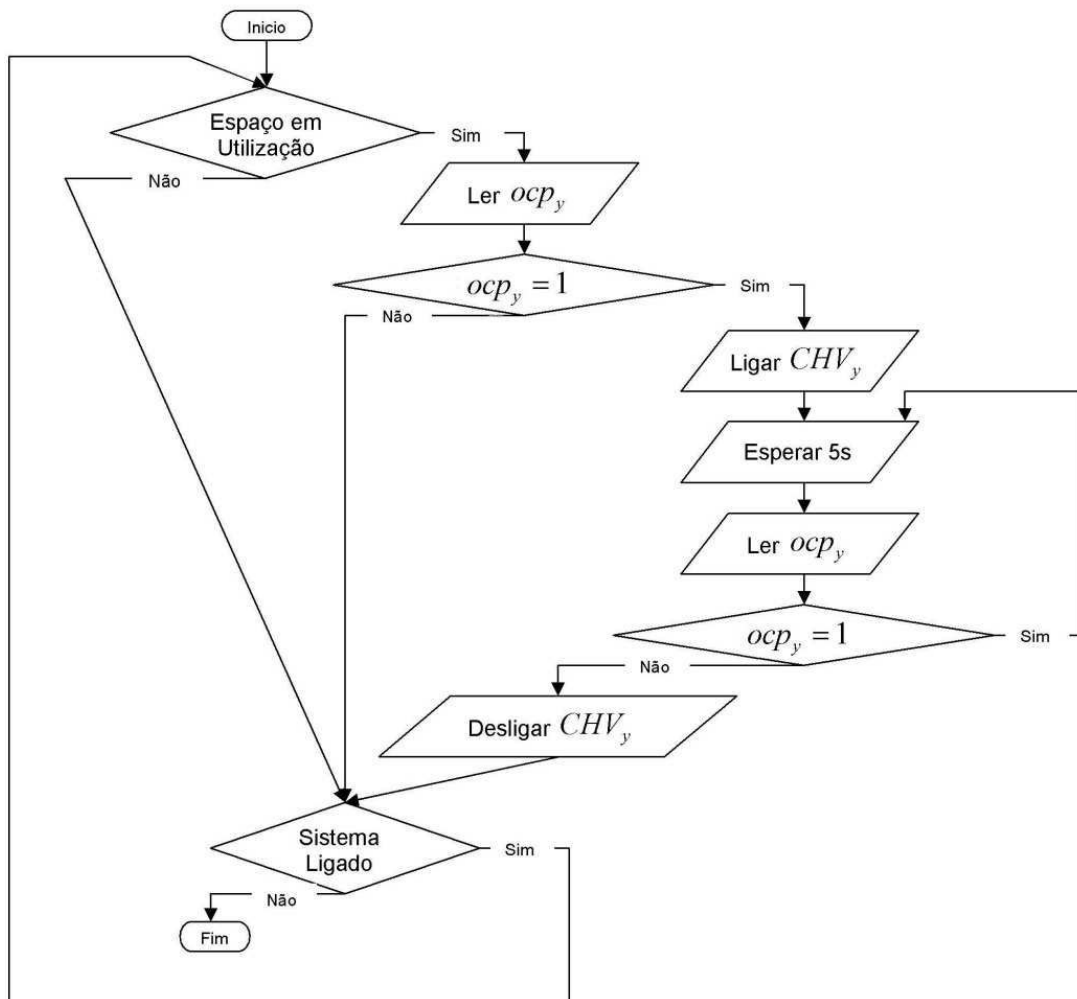


Figura E.17 – Algoritmo do AQS de um chuveiro

Monitorização do AQS

Os critérios para a monitorização dos consumos globais vêm expressos na Tabela E.21.

Tabela E.21 – Monitorização das variáveis independentes do AQS

Variável	Sigla	MosGua	Referência	Fonte	EmAvi	Aviso emitido
$et_{AQS}$	D-501	60 min	-	-	-	

Partindo das variáveis independentes é possível determinar variáveis dependentes que permitem avaliar outras condições de funcionamento do AQS (Tabela E.22), sendo neste caso:

- A previsão do *IEE* do AQS ( $IEE_{AQS\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos

consumos reais, que será dada por  $IEE_{AQS\_pe} = \frac{0,086 \times et_{AQS}}{A_{util}} \times \frac{12}{mes}$ .

- A previsão dos custos energéticos do AQS ( $CE_{AQS\_pe}$ ) partindo da evolução mensal dos consumos reais, que será dada por  $CE_{AQS\_pe} = p_{gn} \times et_{AQS} \times \frac{12}{mes}$ .

**Tabela E.22 – Monitorização das variáveis dependentes do AQS**

Variável	<i>MosGua</i>	Referência	Fonte	<i>EmAvi</i> Aviso emitido
$IEE_{AQS\_pe}$	60 min	$IEE_{AQS\_pe} > 0,12 \times 35$	(RSECE, 2006)	“ O consumo específico do SPAQS está a ultrapassar o limite recomendado”
$CE_{AQS\_pe}$	60 min	-	-	-

## Anexo F – Previsão do Comportamento Térmico de um Complexo de Piscinas Interiores em esp-r

### Localização e caracterização do edifício

O edifício proposto faz parte do complexo desportivo situado na cidade de Coimbra. Esta cidade pertencente às zonas climáticas I1-V1, localiza-se a uma longitude de 40,207°N e a uma latitude de 8,425°O.

O complexo desportivo é constituído por dois edifícios contíguos: um pavilhão multidesportos e um complexo de piscinas que alberga dois tanques. Um de dimensões olímpicas, 50 x 25 m, e outro de dimensões mais reduzidas, 25 x 12,5 m.

O complexo de piscinas, é constituído por cinco níveis assentes sobre três pisos dedicados a estacionamento (piso -2, -1 e piso 0). Em contacto com o nível 1 encontra-se o piso 1 para estacionamento, circundando-o. Os níveis 2 e 3 estão em contacto com outros dois pisos para estacionamento, piso 2 e 3, respectivamente.

### Estruturação do modelo

O modelo foi elaborado a partir do ponto mais a sudoeste do edifício, funcionando este ponto como origem.

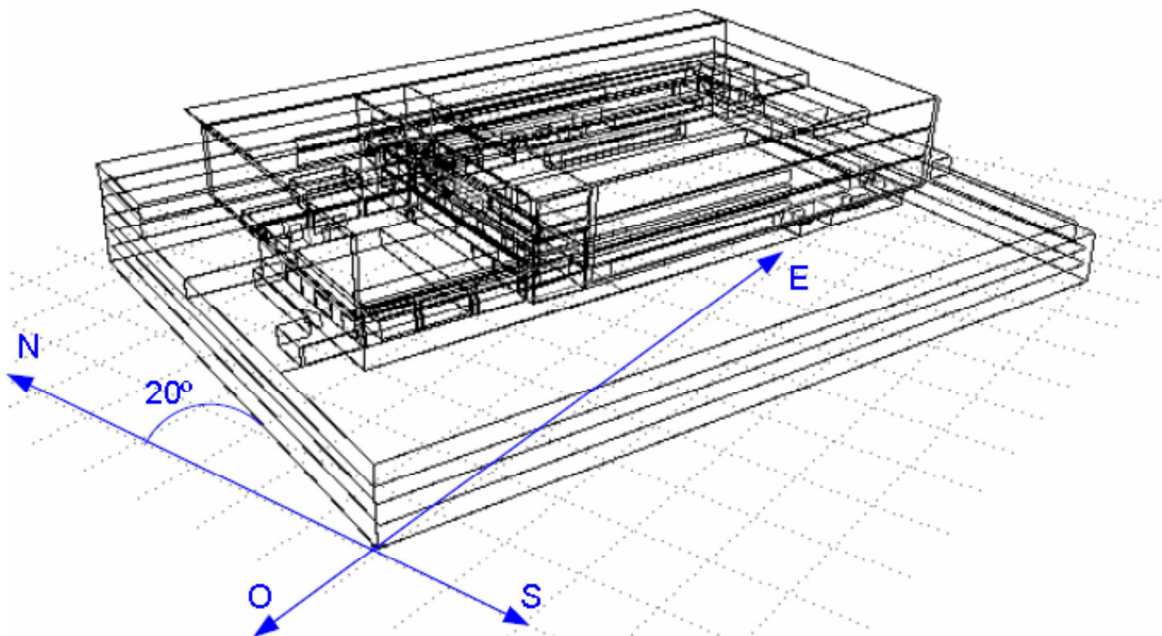


Figura F.1 – Orientação do edifício

O modelo foi dividido em duas alas, a partir do nível 1: a ala que serve a piscina polivalente, PR, e a ala que serve a piscina olímpica, PO, resultando um total de 28 zonas (Tabela F.1).

Tabela F.1 - Zonas que constituem o modelo e respectiva descrição

Zona	Nome	Descrição	Posição
1	Zona_1	Pisos -2, -1 e 0 do estacionamento	-
2	Zona_2	Estacionamento existente no nível 1 (lado Norte)	-
3	Zona_3	Estacionamento existente no nível 1 (lado Sul)	-
4	Zona_1_1	Sala do Pessoal	Nível 1
5	Zona_1_2	Balneários e instalações sanitárias do Pessoal	Nível 1
6	Zona_1_3	Tanque da piscina polivalente	Nível 1
7	Zona_1_4	Tanque da piscina olímpica	Nível 1
8	Nível_1	Circulações	Nível 1
9	Zona_2_1_PP	Balneários e instalações sanitárias femininas que da piscina polivalente servem a nave	Nível 2
10	Zona_2_6_PP	Arrecadação existente na nave da piscina polivalente	Nível 2
11	Zona_2_3_PP	Sala de primeiros socorros, sala de aulas teóricas e sala de massagem	Nível 2
12	Zona_3_9_PP	Observação que dá para o piscina polivalente, situando-se por baixo do lanternim	Nível 3
13	Nave_PP	Nave que contém a piscina polivalente	-
14	Est_N2_N3	Pisos 2 e 3 de estacionamento (estão em contacto com os níveis 2 e 3, respectivamente)	-
15	Zona_2_2_PO	Balneários e instalações sanitárias masculinas, sala de monitores e vigilantes, gabinete médico/observação, sala de recolha de análises (servem a nave da piscina polivalente)	Nível 2
16	Zona_2_4_PO	Circulação que liga as duas naves	Nível 2
17	Zona_2_3_PO	Circulação que ladeia a zona 15	Nível 2
18	Zona_2_5_PO	Caixa de escadas e caixa de elevador	Nível 2,3 e 4
19	Zona_2_6_PO	Balneários e instalações sanitárias femininas e masculinas, corredor de serviço, sala de monitores e vigilantes, sala de imprensa (servem a nave da piscina polivalente)	Nível 2
20	Zona_2_7_PO	Sala dos cronometristas	Nível 2
21	Zona_2_8_PO	Antecâmara	Nível 2,3 e 4
22	Zona_3_1_PO	Circulação	Nível 3 e 4
23	Zona_3_2_PO	Nível 3: Instalações sanitárias destinadas ao público, sala de organização de provas, sala de comunicação social, sala de arbitragem, sala de secretariado de competição, sala de reuniões de delegados Nível 4: sala de controlo, recepção, gabinetes, sala de espera, instalações sanitárias femininas e masculinas	Nível 3 e 4
24	Zona_3_4_PO	Circulações e bancadas	Nível 3
25	Zona_3_3_PO	Instalações sanitárias femininas e masculinas	Nível 3
26	Zona_4_1	Circulações e bancadas	Nível 4
27	Zona_5_1	Área técnica	Nível 5
28	Nave_PO	Nave que contém a piscina olímpica	-

### Ventilação, infiltrações e ganhos internos de energia

Foi definido, para cada zona, os caudais mínimos de ar novo e os padrões de utilização do edifício, tendo por base a aplicação do RSECE.

Para os caudais mínimos de ar novo considerou-se que o ar vinha directamente do exterior, facto esse que faz com que o *ESP-r* o considere como infiltração.

Considerou-se que a ventilação nas zonas 5, 9, 15, 19 e 26 era feita unicamente com recurso a extracção, isto é, a extracção do ar proveniente das zonas contíguas (zona 8 para a zona 5, zona 13 para as zonas 9 e 15 e zona 28 para a zona 19) seria suficiente para promover a renovação de ar imposta pelo regulamento.

Para o cálculo dos ganhos internos, consideraram-se os valores nominais indicados pelo RSECE. Destes, teve-se em conta o perfil indicado para “Centros comerciais” para calcular a taxa de ganhos devido ao equipamento (perfil constante) para as zonas correspondentes a estacionamento, cujos perfis de ocupação foram retirados de “Clubes desportivos com piscina”. Para determinar os ganhos relativos à ocupação na zona 4 recorreu-se ao perfil “Pronto-a-comer”, com a taxa de ocupação e de equipamento a variar segundo “Clubes desportivos com piscina”. Em relação à zona 23 considerou-se o perfil “Escritórios”. Para as restantes zonas foi tido em consideração o perfil “Clubes desportivos com piscina”.

O calor Sensível e Latente, para quantificar os ganhos relativos à ocupação, foram retirados do RSECE. Devido ao facto de não se ter conseguido introduzir um modelo no programa capaz de considerar a componente evaporativa das piscinas, tentou-se compensar essa falha com o cálculo da potência térmica para o aquecimento de água, que foi introduzido como valor constante nos ganhos internos e considerado 100% Latente (Figura F.2).

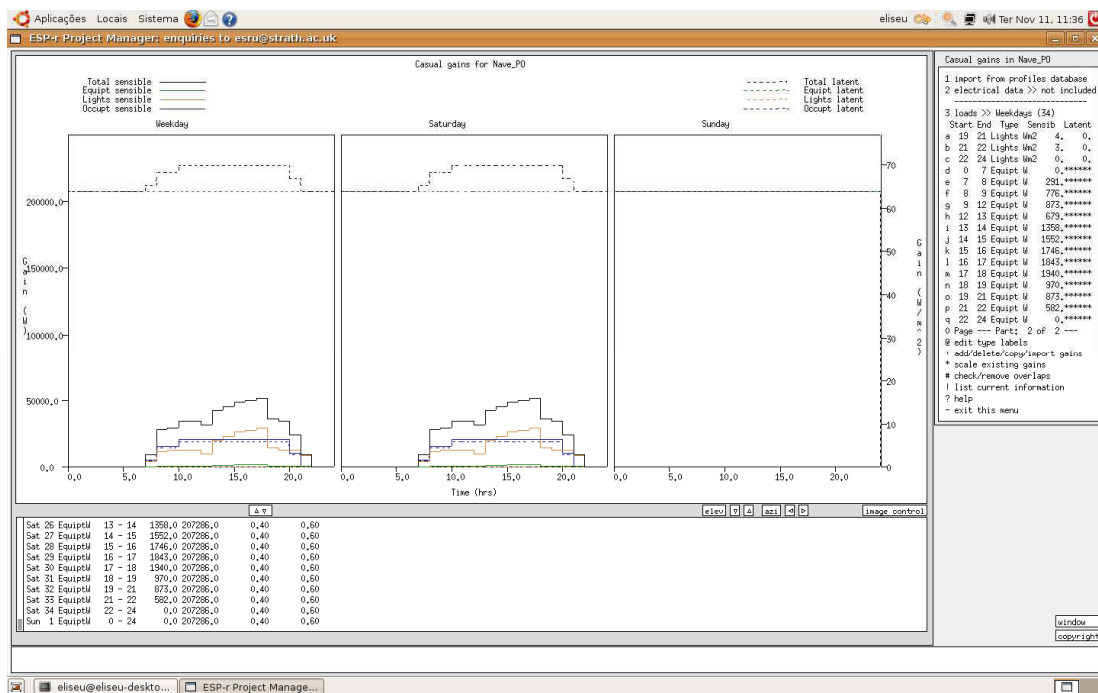


Figura F.3 – Ganhos internos

## Controlo da climatização

Definiram-se controlos de temperatura e de humidade relativa nas zonas com sistema de climatização. Para o período de Janeiro a Maio, impuseram-se temperaturas mínimas de 20°C e sem controlo de humidade relativa nas zonas 4, 11 e 23.

Para a estação de arrefecimento, de 1 de Junho a 30 de Setembro, limitou-se a temperatura máxima a 25°C e controlou-se a humidade relativa a 50%. Para o último período do ano, de 1 de Outubro a 31 de Dezembro, apenas se limitaram as temperaturas mínimas a 20°C (sem controlo de humidade relativa).

Em ambas as naves atribuiu -se um controlo fixo independente da altura do ano com as seguintes características:

- Nave PO:  $T_{\min} = T_{\max} = 26^{\circ}\text{C}$  com uma humidade relativa constante e igual a 55% (Figura F.3);
- Nave PP:  $T_{\min} = T_{\max} = 28^{\circ}\text{C}$  com uma humidade relativa constante e igual a 55%.

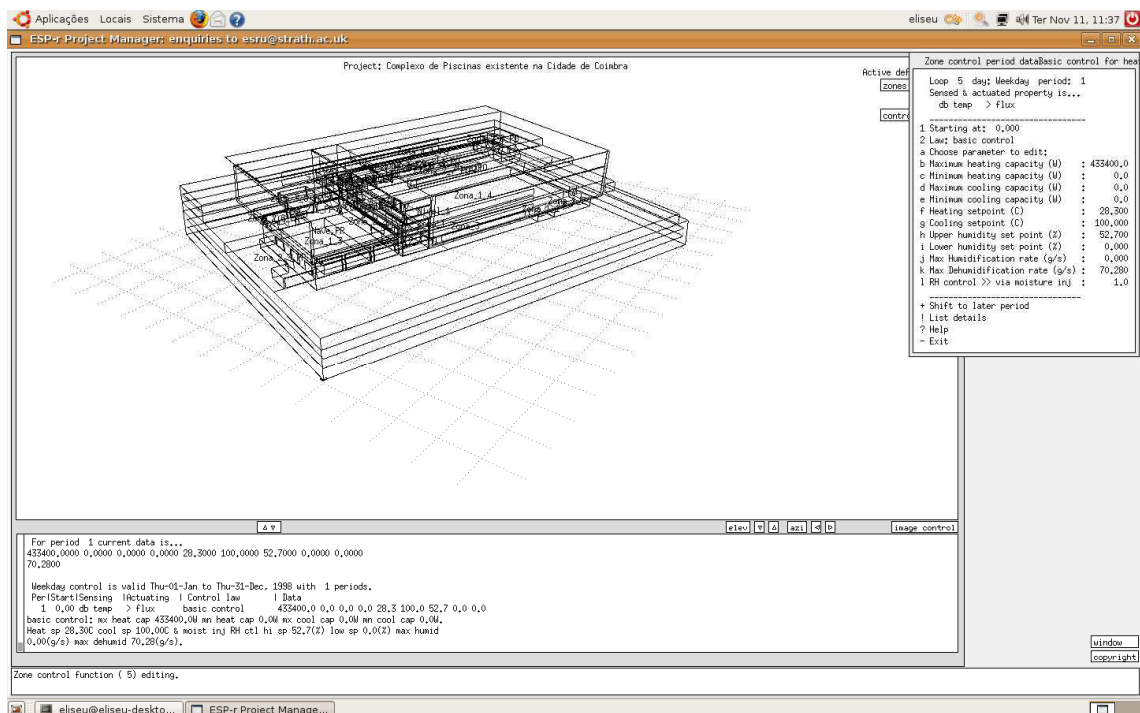


Figura F.3 – Lei de controlo da climatização da PO