



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Estudo de Soluções de Medidas de Eficiência  
Energética em Sistemas AVAC Utilizando a  
Metodologia do Custo-Ótimo com a Diretiva Europeia  
EPBD**

**JORGE MIGUEL CABRITA RAMOS**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor João Francisco Fernandes

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

**Dezembro de 2017**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Estudo de Soluções de Medidas de Eficiência  
Energética em Sistemas AVAC Utilizando a  
Metodologia do Custo-Ótimo com a Diretiva Europeia  
EPBD**

**JORGE MIGUEL CABRITA RAMOS**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor João Francisco Fernandes

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

**Dezembro de 2017**



## Resumo

A humanidade tem vindo cada vez mais a depender de fontes de energia não renovável, tendo sido a partir da Revolução industrial no século XIX que se registou ainda um maior aumento desta dependência. A partir deste século, as fontes de energia primárias deixaram de ser suficientes para os consumos energéticos da humanidade, sendo no setor dos edifícios um dos mais consumidores. Derivado da evolução deste setor, o consumo energético dos mesmos tem aumentado, tendo registado que o consumo energético por parte dos edifícios ronda cerca dos 40% dos consumos totais da União Europeia. Devido a este consumo exacerbado, a União Europeia tem vindo a apresentar algumas preocupações e considera a utilização de energias renováveis e a redução do consumo de energia.

As metas propostas para realização deste trabalho são de conseguir identificar e caracterizar quais as melhores medidas de eficiência energética a aplicar aos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado para quatro países presentes na Europa, tendo em conta os seus custos de implementação, exploração. A análise financeira das medidas, serão estudadas através da metodologia de custo ótimo, com a qual se encontrará a solução mais rentável de um conjunto de várias soluções.

De maneira a encontrar as tais medidas ótimas de cada país, serão feitos alguns estudos para obtenção do sistema com menor custo de exploração e menores emissões de gases efeito estufa. Na perspetiva financeira, encontraram-se os sistemas mais económicos a partir da relação de energia consumida e custo de exploração do sistema de climatização. Na vertente ambiental, foram considerados os valores de emissões de dióxido de carbono que cada um dos sistemas emite para o meio ambiente, dependendo este valor das condições energéticas do país em que se insere o edifício.

Ainda serão apresentados os coeficientes globais de transferência de calor ótimos para as paredes e janelas dos edifícios abastecidos por energia térmica do sistema de referência e pelo sistema com menor custo de exploração.

Assim se obteve as várias soluções de melhoria de eficiência energética do sistema, atuando na envolvente e no sistema de climatização do edifício.

## Abstract

Humanity has been increasingly dependent on non-renewable energy sources, and since the Industrial Revolution in the nineteenth century there has been a further increase in this dependence. From this century, primary energy sources are no longer sufficient for the energy consumptions of humanity, being in the buildings sector one of the most consuming. As a result of the evolution of this sector, their energy consumption has increased, with energy consumption by buildings around 40% of the total consumption in the European Union. Due to this exacerbated consumption, the European Union has come up with some concerns and considers the use of renewable energy and the reduction of energy consumption.

The goals proposed for this work are to identify and characterize the best energy efficiency measures to be applied to the Heating, Ventilation and Air Conditioning systems for four countries present in Europe, taking into account their costs of implementation, operation. The financial analysis of the measures will be studied through the methodology of optimal cost, which will find the most cost effective solution of a set of several solutions. In this field of financial calculation it wasn't possible to implement the investment costs of the different types of equipment used, being only applied in the elements of the envelope, insulation and windows. On the environmental side, the values of carbon dioxide emissions that each of the systems emit for the environment were considered, depending on this value of the energy conditions of the country where the building is inserted.

The optimum global heat transfer coefficients for the walls and windows of buildings supplied by thermal energy of the reference system and by the most profitable system will also be presented.

This resulted in the various solutions to improve the energy efficiency of the system, acting in the surroundings and in the system of air conditioning of the building.

## **Palavras-Chave**

- Medidas de Eficiência Energética;
- Metodologia do Custo-Ótimo;
- EPBD-Recast;
- Sistemas AVAC;
- Energia em edifícios;
- Simulação Energética Multizona de Edifícios;
- Legislação Portuguesa
- Diretivas Europeias

## **Keywords**

- Energy Efficiency Measures;
- Cost-optimal methodology;
- EPBD-Recast;
- HVAC system;
- Buildings energy;
- Multizone Energetic Simulation of Buildings;
- Portuguese legislation;
- European Directives;

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Luís Coelho, pelo vasto apoio, pelo seu tempo a mim disponibilizado e pelas suas francas e fundamentais sugestões no desenvolvimento desta dissertação.

Também agradeço ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, particularmente ao Departamento de Engenharia Mecânica, pelo acolhimento despendido nesta etapa da minha vida e pelos ensinamentos que me permitiram evoluir academicamente a cada dia que passou.

Não menos importantes, também quero agradecer aos meus três principais pilares, pois sem eles nada disto seria possível, à minha Mãe (Eulália Ramos), ao meu Pai (Jorge Ramos) e à minha Namorada (Joana Capela). Após imensas horas de trabalho sempre estiveram presentes a dar-me motivação, apoio e carinho para continuar, nunca me faltando com nada, nem nos maus, nem nos bons momentos.

Por fim, vai daqui um agradecimento enorme para um amigo especial que fiz nesta instituição (Ricardo Loureiro), para a mãe da minha namorada (Ana Maria Rodrigues), para o meu velho e grande amigo (André César) e para os outros tantos que me acompanharam e nos dias menos bons sempre tiveram uma palavra amiga a dar.

A todos os referidos, o meu sincero e grande obrigado.



# Índice Geral

Resumo .....	I
Abstract.....	II
Palavras-Chave .....	III
Keywords.....	IV
Agradecimentos .....	V
Índice Geral .....	1
Índice Figuras .....	7
Índice Tabelas .....	14
Siglas e Abreviaturas .....	17
1. Introdução .....	18
1.1. Enquadramento .....	18
1.2. Objetivos e fatores que contribuem para a oportunidade da realização da dissertação.....	22
1.3. Estrutura da dissertação .....	24
2. Estado da Arte.....	25
2.1. Metodologia do Custo Ótimo.....	25
2.2. Recuperador de Calor.....	26
2.3. Caldeira a gás .....	28
2.4. Caldeira de Biomassa a Pellets .....	28
2.5. Chiller.....	29
2.6. Bomba de calor Aerotérmica .....	29
2.7. Bomba de calor geotérmica.....	30
2.8. Torre de Arrefecimento.....	30
3. Casos de Estudo .....	31
3.1. Caracterização do edifício.....	31

3.2.	Cargas térmicas dos edifícios.....	34
3.2.1.	Caudais de ar novo.....	35
3.2.2.	Iluminação .....	36
3.2.3.	Equipamentos Elétricos .....	37
3.2.4.	Ocupação .....	38
3.2.5.	Perfis de utilização.....	38
3.3.	Características arquitetónicas dos edifícios de referência.....	40
3.3.1.	Paredes .....	41
3.3.2.	Cobertura .....	47
3.3.3.	Envidraçados.....	48
3.3.4.	Palas de sombreamento.....	50
3.3.5.	Pavimentos.....	52
3.3.6.	Envolventes interiores .....	57
3.3.7.	Separador Paredes Exteriores, Janelas e Portas .....	58
3.3.8.	Separador Infiltrações .....	59
3.4.	Características do sistema de climatização .....	61
3.4.1.	General.....	62
3.4.2.	Componentes do sistema de ventilação .....	63
3.4.3.	Composição das zonas .....	66
3.4.4.	Dados de dimensionamento .....	69
3.5.	Centrais de produção energia térmica .....	70
3.5.1.	Chillers.....	71
3.5.2.	Caldeiras .....	76
3.5.3.	Torres de arrefecimento .....	77
3.5.4.	Separador água quente de serviço.....	78
3.5.5.	Separador configuração .....	81

3.5.6.	Separador dos horários dos equipamentos.....	81
3.5.7.	Separador da distribuição .....	82
3.5.8.	Separador acerca da bomba de circulação de água.....	83
3.6.	Sistemas de produção de energia térmica .....	83
3.6.1.	Eletricidade .....	84
3.6.2.	Combustíveis .....	85
3.6.3.	Separador do sistema de centrais .....	87
3.6.4.	Separador de atribuição dos sistemas de climatização .....	87
3.6.5.	Separador de atribuição dos tarifários aos sistemas de centrais .....	88
3.6.6.	Simulação dos vários casos de estudo .....	89
3.7.	Determinação do coeficiente global de transmissão de calor ótimo .....	90
3.7.1.	U ótimo das paredes para o edifício de referência.....	90
3.7.2.	U ótimo dos envidraçados para o edifício de referência.....	94
3.7.3.	U ótimo da parede exterior para o edifício com a melhor medida de eficiência energética .....	97
3.7.4.	U ótimo dos envidraçados para o edifício com a melhor medida de eficiência energética .....	97
4.	Resultados e Análise .....	98
4.1.	Estudo 1 – Consumo de energia Final de cada país .....	98
4.2.	Estudo 2 – Sistema de climatização mais benéfico .....	100
4.2.1.	Portugal.....	101
4.2.2.	Grécia.....	109
4.2.3.	Alemanha .....	112
4.2.4.	Finlândia .....	115
4.3.	Estudo 3 – U ótimo das paredes e envidraçados no sistema de referência ....	118
4.3.1.	Portugal.....	118
4.3.2.	Grécia.....	121

4.3.3.	Alemanha .....	125
4.3.4.	Finlândia .....	128
4.4.	Estudo 4 – U ótimo das paredes e envidraçados no sistema mais benéfico de cada país.....	131
4.4.1.	Portugal.....	132
4.4.2.	Grécia.....	136
4.4.3.	Alemanha .....	139
4.4.4.	Finlândia .....	143
4.5.	Estudo 5 – Emissões de CO <sub>2</sub> para atmosfera .....	147
4.5.1.	Portugal.....	147
4.5.2.	Grécia.....	148
4.5.3.	Alemanha .....	149
4.5.4.	Finlândia .....	150
4.6.	Estudo 6 – Metodologia do custo ótimo .....	151
4.6.1.	Portugal.....	152
4.6.2.	Grécia.....	157
4.6.3.	Alemanha .....	161
4.6.4.	Finlândia .....	165
5.	Conclusão .....	170
5.1.	Propostas de trabalhos futuros .....	172
	Referências bibliográficas .....	174
	Anexos .....	177
	Anexo 1 – Relatório das simulações energéticas para os sistemas sem recuperador em Portugal.....	178
	Anexo 2 - Relatório das simulações energéticas para os sistemas com recuperador em Portugal.....	185

Anexo 3 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U de parede ótima para Portugal .....	192
Anexo 4 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U da Janela ótima para Portugal.....	197
Anexo 5 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U da Parede e Janela ótima para Portugal .....	202
Anexo 6 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Parede ótima para Portugal .....	207
Anexo 7 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Janela ótima para Portugal.....	212
Anexo 8 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Parede e Janela ótima para Portugal .....	217
Anexo 9 – Caudais de Ar mínimo necessário nos vários espaços .....	222
Anexo 10 – Dados climáticos de Portugal pelo programa CLIMAS-SCE.....	232
Anexo 11 – Estimativa de equipamentos do edifício .....	233
Anexo 12 – Determinação das Potências de iluminação por área dos vários espaços do edifício .....	248
Anexo 13 – Determinação dos caudais de ventilação no âmbito do REH e RECS.....	255
Anexo 14 – Determinação da Temperatura dos espaços não condicionados .....	257
Anexo 15 – Necessidades de Energia do sistema AVAC.....	259
Anexo 16 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência em Portugal .....	260
Anexo 17 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Grécia .....	263
Anexo 18 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Alemanha .....	266
Anexo 19 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Finlândia.....	269

Anexo 20 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade em Portugal .....	272
Anexo 21 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Grécia .....	274
Anexo 22 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Alemanha .....	277
Anexo 23 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Finlândia .....	279

## Índice Figuras

Figura 1 - Cave do edifício em estudo .....	32
Figura 2 - Piso 0 do edifício em estudo .....	32
Figura 3 - Piso 1 do edifício em estudo .....	33
Figura 4 - Piso 2 do edifício em estudo .....	33
Figura 5 - Piso 3 do edifício em estudo .....	34
Figura 6 - Piso 4 do edifício em estudo .....	34
Figura 7 - Perfil de utilização da iluminação na cozinha.....	39
Figura 8 - Perfil de ocupação na cozinha.....	39
Figura 9 - Perfil de utilização dos equipamentos elétricos na cozinha .....	40
Figura 10 - Valores da zona climática da Grande Lisboa (LNEG) .....	41
Figura 11 - Caracterização da parede exterior para Portugal .....	42
Figura 12 - Mapa das zonas climáticas da Grécia (E. Maldonado, 2011) .....	43
Figura 13 - Caracterização da parede exterior para a Grécia.....	44
Figura 14 - Caracterização da parede exterior para a Alemanha .....	45
Figura 15 - Caracterização da parede exterior para a Finlândia .....	46
Figura 16 - Caracterização da cobertura .....	47
Figura 17 - Características do vão envidraçado do Refeitório para Portugal .....	49
Figura 18 - Vãos envidraçados do edifício .....	49
Figura 19 - Características do vão envidraçado do Refeitório para a Grécia .....	50
Figura 20 - Lista de palas de sombreamento .....	51
Figura 21 - Característica das palas presentes no vão do quarto 001 .....	51
Figura 22 - Separador Floors - Floor Above Unconditioned Space .....	52
Figura 23 - Separador Floors - Slab Floor Below Grade .....	54
Figura 24 - Separador Partitions - Wall Partition .....	58
Figura 25 - Separador Partitions - Ceiling Partition .....	58

Figura 26 - Separador Walls, Windows, Doors .....	59
Figura 27 - Esquema de funcionamento da ventilação do edifício .....	60
Figura 28 - Separador Infiltration .....	61
Figura 29 - Lista de sistemas de climatização .....	62
Figura 30 - Separador General do Sistema de climatização -1, 0, 1 .....	62
Figura 31 - Separador General do Sistema de climatização 2, 3 .....	62
Figura 32 – Componente Ventilation Air .....	63
Figura 33 - Componente Ventilation Reclaim .....	64
Figura 34 - Componente Cooling Coil .....	64
Figura 35 - Componente Heating Coil.....	65
Figura 36 - Componente ventilation Fan .....	65
Figura 37 - Componente Duct System.....	66
Figura 38 - Componente Exhaust Fan .....	66
Figura 39 – Opção Spaces .....	67
Figura 40 - Opção Thermostats .....	68
Figura 41 - Opção Common Data.....	68
Figura 42 - Opção Terminal Units .....	69
Figura 43 - Opção System Sizing .....	69
Figura 44 - Opção Zone Sizing.....	70
Figura 45 - Lista de Centrais de aquecimento e arrefecimento .....	71
Figura 46 - Separador General do Chiller.....	72
Figura 47 - Separador General da Bomba de calor aerotérmica.....	72
Figura 48 - Separador General da Bomba de calor geotérmica.....	72
Figura 49 - Separador Design Inputs do Chiller .....	73
Figura 50 - Separador Design Inputs da bomba de calor aerotérmica.....	74
Figura 51 - Separador Design Inputs da bomba de calor geotérmica .....	75

Figura 52 - Tabela de performance de arrefecimento da bomba de calor aerotérmica ..	75
Figura 53 - Tabela de performance de aquecimento da bomba de calor aerotérmica ....	75
Figura 54 - Configuração da caldeira a gás .....	76
Figura 55 - Configuração da Caldeira de biomassa a pellets.....	77
Figura 56 - Configuração da torre de arrefecimento .....	78
Figura 57 - Configuração do furo geotérmico .....	78
Figura 58 - Separador Service Hot Water.....	79
Figura 59 - Horário de consumo de água quente .....	79
Figura 60 - Separador schedules of equipment das bombas de calor geotérmicas.....	82
Figura 61 - Separador Distribution da bomba de calor geotérmica .....	82
Figura 62 - Separador Source Water da bomba de calor geotérmica .....	83
Figura 63 - Tarifa da eletricidade aplicada a Portugal.....	85
Figura 64 - Tarifa do Gás Natural aplicado a Portugal.....	86
Figura 65 - Tarifa dos Pellets aplicado a Portugal.....	87
Figura 66 - Seleção das centrais referentes ao sistema número 1 .....	87
Figura 67 - Separador de atribuição dos sistemas de climatização aos sistemas de centrais .....	88
Figura 68 - Atribuição dos tarifários aos vários tipos de consumos .....	88
Figura 69 - Dados diversos adicionais .....	89
Figura 70 - Janela para escolha dos resultados pretendidos com as simulações .....	89
Figura 71 - Gráfico do preço do isolamento dependendo da sua espessura .....	91
Figura 72 - Gráfico da relação da espessura de isolamento com o custo médio anual... 93	93
Figura 73 - Gráfico da relação do U da parede exterior com o custo médio anual .....	93
Figura 74 - Gráfico do preço do envidraçado dependendo do seu valor de U .....	96
Figura 75 - Gráfico da relação do U dos envidraçados com o custo médio anual .....	97
Figura 76 - Gráfico das necessidades de energia final do sistema AVAC .....	99

Figura 77 - Gráfico do custo de exploração total dos sistemas de climatização para Portugal.....	103
Figura 78 - Diferença de custos de exploração comparando com o sistema de referência para Portugal.....	104
Figura 79 - Gráfico do custo de exploração dos sistemas de arrefecimento para Portugal .....	105
Figura 80 - Gráfico do custo de exploração dos sistemas de aquecimento para Portugal .....	106
Figura 81 - Gráfico dos custos de exploração dos sistemas em Portugal .....	108
Figura 82 – Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Grécia	111
Figura 83 - Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Alemanha .....	114
Figura 84 - Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Finlândia .....	117
Figura 85 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência em Portugal.....	119
Figura 86 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência em Portugal.....	120
Figura 87 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício em Portugal.....	121
Figura 88 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência na Grécia.....	123
Figura 89 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Grécia.....	124
Figura 90 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Grécia.....	125
Figura 91 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência na Alemanha .....	126

Figura 92 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Alemanha .....	127
Figura 93 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Alemanha .....	128
Figura 94 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Finlândia .....	129
Figura 95 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Finlândia .....	130
Figura 96 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Finlândia .....	131
Figura 97 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema de Portugal.....	133
Figura 98 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema de Portugal.....	134
Figura 99 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício em Portugal .....	135
Figura 100 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Grécia.....	137
Figura 101 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Grécia.....	138
Figura 102 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Grécia .....	139
Figura 103 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Alemanha .....	140
Figura 104 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Alemanha .....	141
Figura 105 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Alemanha .....	142
Figura 106 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Finlândia .....	144

Figura 107 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Finlândia .....	145
Figura 108 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Finlândia .....	146
Figura 109 - Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente dos sistemas em Portugal.....	147
Figura 110 - Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Grécia .....	148
Figura 111 - Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Alemanha .....	149
Figura 112 - Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Finlândia .....	151
Figura 113 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC em Portugal.....	153
Figura 114 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos em Portugal.....	154
Figura 115 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC de Portugal com os U's de referência e com os U's ótimos .....	155
Figura 116 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Grécia .....	158
Figura 117 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Grécia .....	159
Figura 118 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Grécia com os U's de referência e com os U's ótimos .....	160
Figura 119 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Alemanha.....	162
Figura 120 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Alemanha .....	163
Figura 121 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Alemanha com os U's de referência e com os U's ótimos .....	164
Figura 122 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Finlândia .....	166

Figura 123 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Finlândia .....	167
Figura 124 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Finlândia com os U's de referência e com os U's ótimos .....	168

## Índice Tabelas

Tabela 1- Excerto da tabela de cálculo do caudal de ar novo dos espaços.....	36
Tabela 2- Excerto da tabela de cálculo da densidade de potência de iluminação .....	37
Tabela 3 - Excerto da tabela de cálculo da potência total dos equipamentos elétricos ..	38
Tabela 4 - Cálculo da taxa de utilização dos equipamentos elétricos para a cozinha ....	40
Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e vãos envidraçados .....	42
Tabela 6 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Grécia para os vários elementos do edifício(Eduardo Maldonado, 2015).....	44
Tabela 7 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Alemanha para os vários elementos do edifício(Eduardo Maldonado, 2015) .....	45
Tabela 8 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Finlândia para os vários elementos do edifício(Eduardo Maldonado, 2015).....	46
Tabela 9 - Fator solar dos vãos envidraçados de referência .....	48
Tabela 10 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo de Portugal	53
Tabela 11 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Grécia ...	55
Tabela 12 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Alemanha .....	56
Tabela 13 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Finlândia .....	57
Tabela 14 - Lista de sistemas de produção de energia térmica.....	83
Tabela 15 - Preço do isolamento por metro quadrado .....	90
Tabela 16 - Espessuras de isolamento admitidas.....	91
Tabela 17 - Dados para o cálculo do U ótimo das paredes exteriores para Portugal ....	93
Tabela 18 - Tipos de envidraçados admitidos .....	95
Tabela 19 - Dados para o cálculo do U ótimo dos envidraçados para Portugal .....	96
Tabela 20 - Necessidades de energia primária .....	99
Tabela 21 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados a Portugal .....	102

Tabela 22 - Soluções mais favoráveis para as diferentes estações climáticas em Portugal .....	107
Tabela 23 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Grécia .....	110
Tabela 24 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Alemanha .....	113
Tabela 25 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Finlândia.....	116
Tabela 26 – Custos médios anuais do sistema de referência em Portugal para os vários U's das paredes .....	119
Tabela 27 - Custos médios anuais do sistema de referência em Portugal para os vários U's das janelas .....	120
Tabela 28 - Custos médios anuais do sistema de referência na Grécia para os vários U's das paredes .....	123
Tabela 29 - Custos médios anuais do sistema de referência na Grécia para os vários U's das janelas .....	124
Tabela 30 - Custos médios anuais do sistema de referência na Alemanha para os vários U's das paredes .....	126
Tabela 31 - Custos médios anuais do sistema de referência na Alemanha para os vários U's das janelas .....	127
Tabela 32 - Custos médios anuais do sistema de referência na Finlândia para os vários U's das paredes .....	129
Tabela 33 - Custos médios anuais do sistema de referência na Finlândia para os vários U's das janelas .....	130
Tabela 34 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC de Portugal para os vários U's das paredes .....	133
Tabela 35 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC de Portugal para os vários U's das janelas .....	134
Tabela 36 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Grécia para os vários U's das paredes.....	137
Tabela 37 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Grécia para os vários U's das Janelas .....	138

Tabela 38 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Alemanha para os vários U's das paredes .....	140
Tabela 39 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Alemanha para os vários U's das Janelas.....	141
Tabela 40 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Finlândia para os vários U's das paredes .....	144
Tabela 41 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Finlândia para os vários U's das Janelas.....	145

## Siglas e Abreviaturas

- EPBD – Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios;
- NZEB – Edifícios de Consumo de Energia Quase Nulo;
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
- UTAN – Unidade Tratamento de Ar Novo;
- AQS – Água Quente Sanitária;
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia;
- ADENE – Agência Nacional de Energia;
- REHVA – Federação das Associações Europeias de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
- HAP – Hourly Analysis Program;
- SCE - Sistema Certificação Energética dos Edifícios;
- RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
- RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
- REH - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;
- RECS - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;
- U – Coeficiente Global de Transferência de Calor;

# **1. Introdução**

Neste presente capítulo irá ser feito um enquadramento dos temas abordados ao longo desta dissertação, explicando de uma forma teórica e clara o contexto em que o assunto foi estudado, provando a relevância acerca deste tema. São apresentados também alguns dos fatores cúmplices pelo desenvolvimento deste tema e quais os seus objetivos. É ainda apresentada a estrutura orientadora deste trabalho final de mestrado.

## **1.1. Enquadramento**

As alterações climáticas a que o ambiente tem estado a ser sujeito, deve-se principalmente ao consumo excessivo e inconsciente da parte dos Humanos, tornando-se este consumo de recursos naturais insustentável e bastante problemático. Esta irracionalidade no consumo de energia leva a impactos diretos e nocivos para o planeta, como também um elevado custo financeiro.

Numa tentativa de eliminar o excesso de energia consumida e promover o uso racional da mesma, a União Europeia decidiu criar regras através de um acordo em 1997, chamado de Protocolo de Quioto. Este protocolo, tem como objetivo obrigar aos países assinantes deste tratado, a definirem medidas de ação de forma a reduzir os consumos de recursos energéticos e por consequente, a redução de emissões de gases de efeito de estufa para atmosfera. O Protocolo de Quioto, baseia-se num acordo internacional entre os países industrializados aderentes a imposição de limites de emissões de gases que provoquem o fenómeno do Aquecimento Global. Neste tratado, impôs-se aos países aderentes a diminuição das suas emissões em cerca de 5,2%, face às emissões referentes de cada país no ano de 1990, no período entre 2008 e 2012. O protocolo, para além de influenciar na diminuição da emissão dos gases de efeito de estufa, também promove a atualização tecnológica nos setores da energia e dos transportes, estimula o uso de fontes energéticas renováveis, elimina alguns dos mecanismos financeiros inapropriados aos fins da Convenção e protege todo o meio ambiente de mais desastres.

A partir deste ponto e até aos dias de hoje, países da União Europeia têm vindo cada vez mais abraçar este tipo de iniciativas, medidas e pesquisas de forma a estimular a eficiência energética nos mais diversos sectores, incluindo o sector dos edifícios, que derivado a alguns estudos e análises de consumos de energia se chegou à conclusão, que este é dos setores que mais gasta e desperdiça em comparação a todos os outros sectores. Para este

setor, segundo dados facultados pela Direção Geral em Energia e Geologia (DGEG) em 2012, estima-se que cerca de 40% da energia total consumida na Europa, seja proveniente da utilização da mesma nos edifícios. Isto faz com que este setor, seja um dos mais preocupantes e mais importante de ser melhorado, em questão do desempenho energético. (DGEG, 2015)

Derivado desta preocupação, o Parlamento Europeu decidiu criar a 16 de Dezembro de 2002, a Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE, acerca do Desempenho Energético dos Edifícios, também conhecida como *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD). O EPBD surge com o objetivo de promover aperfeiçoamento do desempenho energéticos dos edifícios na União Europeia, dando atenção aos aspetos exteriores climáticos, as condições locais, as exigências de clima interior e a rentabilidade económica do edifício. Desta forma, o EPBD veio estabelecer 5 parâmetros acerca do desempenho energético dos edifícios, sendo eles:

- 1) Metodologia que integre diferentes abordagens que se complementam, aproveitando-se o potencial e benefício de cada técnica para cálculo do desempenho energético dos edifícios;
- 2) Imposição de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e de grandes edifícios existentes que sejam alvo de obras de renovação;
- 3) Certificação energética dos edifícios;
- 4) Exigência de inspeções regulares às caldeiras e instalações de ar condicionado dos edifícios;
- 5) Avaliação das instalações de aquecimento com caldeiras que tenham mais de quinze anos.

Mesmo com estes 5 parâmetros estabelecidos, houve a necessidade de uma reformulação em 2010, da diretiva EPBD de 2002. Esta atualização da diretiva deveu-se a estudos feitos pela *Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations* (REHVA) que revelaram que existiam grandes diferenças entre os vários países da UE nos regulamentos técnicos. Estas diferenças implicam no setor da construção e introduzem alguns obstáculos na produção, comercialização e projeto de construções no mercado aberto da UE.

Devido aos pontos negativos que o EPBD induz, a UE teve a necessidade de reformular a diretiva de 2002, de forma a eliminar as suas desvantagens e a acelerar o processo de redução das emissões, para a nova EPBD *Recast*. Esta diretiva, também designada por Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio 2010, veio clarificar alguns pontos e melhorar os requisitos do desempenho energético de edifícios, substituindo a antiga EPBD.

A nova EPBD de 2010, veio confirmar que a UE está a esforçar-se para conseguir cumprir os objetivos do Protocolo de Quioto, através da melhoria do desempenho energéticos dos edifícios e do aumento da utilização de fontes de energia renovável. A execução da nova diretiva faz com que surja um grande desafio, o de alcançar o maior desempenho energético do edifício com um custo económico aceitável (metodologia do custo ótimo). Para além disto, a diretiva sugere que até ao final do ano de 2018, todos os novos edifícios públicos da UE têm que ser edifícios de balanço energético quase nulo (*Nearly Zero Energy Buildings* ou NZEB), tendo depois de 2020 todos os edifícios novos atingir também o mesmo desempenho.

O NZEB é definido pela diretiva, como sendo edifícios com um elevado desempenho energético em que a energia consumida pelos mesmos é reduzida e proveniente de fontes de energia renovável produzidas no edifício. Na nova diretiva, os países membros devem de garantir requisitos mínimos de desempenho assegurando níveis de rentabilidade ótimos, usando para tal uma metodologia de custo-ótimo definida pela Comissão Europeia. A partir deste momento, pela primeira vez, a Comissão Europeia preocupa-se e define uma política de otimização de custos através de uma metodologia. Esta metodologia encontra-se já publicada através de um documento orientador, de forma a que os países da UE reflitam acerca do cálculo do custo ótimo e sobre os seus princípios, tendo em consideração os parâmetros do país em que se insere.

Este documento originou, em Janeiro de 2012, o Regulamento Delegado nº244/2012 que inclui a diretiva EPBD *Recast* e a metodologia comparativa a utilizar para os diferentes países membros para o cálculo dos níveis de custo ótimo dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e já existentes.

Esta metodologia do custo ótimo especifica as regras para a comparação das medidas de eficiência energética, das medidas que utilizem fontes de energias renováveis e de conjuntos dessas medidas, com base no custo atribuído à sua implementação e nos níveis de desempenho energético primário. A metodologia estabelece ainda como devem ser

aplicadas essas regras aos edifícios de referência selecionados, definindo assim os níveis de custo ótimo para os requisitos mínimos de desempenho energético.

Assim sendo, a determinação do custo ótimo e a garantia do desempenho do NZEB, são medidas da total responsabilidade dos países da UE na adoção da Diretiva 2010/31/EU.

Com a implementação da Diretiva e regulamentação estima-se uma redução de 11% do consumo de energia final até finais de 2020 na UE. Sendo previsto ainda, a criação de 2 milhões de novos postos de trabalho em toda a UE e uma poupança de cerca de 4 bilhões de barris de petróleo.

Embora não estejam destinados objetivos associados aos desempenhos energéticos dos edifícios já existentes, é sugerível que seja seguido o exemplo dos edifícios novos e que sejam criadas medidas legislativas pelos países membros da UE para que os edifícios também já existentes se aproximem dos NZEB, em termos de eficiência energética, de forma a reduzir ainda mais o consumo de energia primária total em toda a UE.

Mais recentemente, a 12 de Dezembro de 2015, em Paris, foi alcançado o acordo mundial sobre as alterações climáticas, designado por Acordo de Paris, entrando em vigor a 4 de Novembro de 2016. Neste acordo foi revisto o tratado de Quioto, de forma a atualizá-lo com o objetivo de limitar o aquecimento global para um valor abaixo dos 2°C, abrangendo o período a partir de 2020.

A mentalidade que Portugal como membro assinante da diretiva tem vindo a ter, é de tornar a regulamentação europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios como direito nacional. Com a diretiva, Portugal sofreu um crescimento quanto à melhoria da eficiência global dos edifícios, devido à revisão da sua legislação, definindo assim condições de conforto térmico, de forma não só a melhorar os consumos de energia na climatização dos edifícios, como também em todos os outros consumos energéticos. Tendo sido assim, através da adaptação do EPBD 2002, implementado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos edifícios, designado por SCE, que levou à criação do Certificado de Desempenho Energético e de Qualidade do Ar Interior dos Edifícios.

O sistema de certificação energética veio desta forma assegurar que os regulamentos seriam aplicados quanto às condições de eficiência energética, de qualidade do ar interior e à utilização de energias renováveis nos edifícios, fazendo com que os edifícios

obedeçam ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Como entidade nacional gestora do SCE existe a ADENE, uma entidade sem fins lucrativos que tem como objetivo promover e realizar atividades na área da eficiência energética.

As legislações atrás referidas embora tenham sido transpostas como direito nacional da EPBD de 2002, a 20 de Agosto de 2013 foi publicado em Diário da República o novo decreto de Lei nº. 118/2013 admitindo para direito nacional a Diretiva nº. 2010/31/EU (EPBD Recast), aprovando desta forma o SCE, cuja designação atual é Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de comércio e serviços (RECS). Neste momento está a ser revista a atual Diretiva EPBD *recast*, para que em 2018 seja criada uma nova versão adaptada ao contexto atual.

## **1.2. Objetivos e fatores que contribuem para a oportunidade da realização da dissertação**

Esta dissertação tem como objetivo principal o estudo das soluções de medidas de eficiências energéticas mais comuns dos sistemas AVAC em termos financeiros baseando-se na metodologia do custo ótimo e respeitando a Diretiva Europeia 2010/31/EU – EPBD Recast. Os fatores que contribuem para a realização deste tema devem-se a:

- Conhecer a regulamentação aplicável ao desempenho energético e à avaliação da rentabilidade energética dos edifícios, no âmbito nacional e europeu;
- Identificar os vários tipos de soluções de eficiência energética dos sistemas AVAC existentes e analisar quais as suas vantagens e desvantagens na sua aplicação;
- Desenvolver e propor a abordagem metodológica de custo ótimo para as várias soluções de eficiência energética dos sistemas AVAC, compreendendo quais os principais fatores para a utilização desta metodologia;

- Estudar aplicação das várias soluções em 4 países da Europa e avaliar qual das soluções será a mais favorável em termos de custo ótimo para cada clima estipulado;

Este trabalho será provido de um caráter teórico e de um caráter prático dos conceitos estudados, onde se incidirá uma maior preocupação. É importante referir, que todas as soluções ótimas apresentadas deverão ser analisadas com os requisitos mínimos de desempenho energético atualmente impostos. Tentar-se-á identificar as melhores medidas de solução de eficiência energética com o menor custo possível, aplicado a Portugal e a outros três países da União Europeia. Isto fará com que se encontre as soluções ótimas para determinado tipo de clima.

Os estudos práticos desta dissertação consistem em identificar alguns conjuntos de medidas de solução de eficiência energética tendo em conta a metodologia do custo ótimo e respeitando a diretiva europeia EPBD Recast, aplicados a um edifício de serviços, Hotel, com 5 pisos providos com as características da envolvente de referência, designado pelo SCE.

A análise baseia-se nos seguintes objetivos específicos:

- Definir o edifício de referência quanto aos seus elementos construtivos e sistemas energéticos que deve abranger os valores de referência impostos pelos requisitos mínimos de desempenho energético de cada país, de forma a incluir a geometria e características térmicas da envolvente, bem como os sistemas relacionados com o conforto térmico;
- Transposição do edifício de referência e suas características em termos de geometria e clima onde o edifício se encontra inserido no *software Hourly Analysis Program*;
- Analisar através do *software HAP* as necessidades de energia primária do edifício nos países propostos;
- Definir as medidas de solução de eficiência energética adequadas aos sistemas AVAC. As medidas deverão ser escolhidas de forma a se adaptarem às características do edifício em estudo garantindo uma relação de custo ótimo;
- Calcular os custos globais das soluções de medidas de eficiência energética aplicadas ao edifício em estudo e sua localização, durante o seu ciclo de vida

económico, tendo em conta os custos de investimento das envolventes e os custos de exploração do sistema;

- Avaliar e comparar os valores obtidos de custos através da metodologia do custo ótimo das diferentes soluções de medidas de eficiência energética;
- Refletir sobre os dados obtidos, quais as soluções energeticamente e economicamente mais vantajosas a utilizar para cada caso de estudo.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação é composta por cinco capítulos.

No primeiro capítulo é exposto a temática em estudo, o seu enquadramento e os principais objetivos desta dissertação.

O segundo capítulo apresenta uma breve explicação acerca da metodologia utilizada de cálculo do custo ótimo durante toda a dissertação em concordância com a Diretiva EPBD *Recast*, explicando alguns dos conceitos fulcrais da regulamentação europeia e nacional e a sua aplicação. E ainda se apresentará algumas explicações dos equipamentos que irão ser abordados nas medidas de soluções de eficiência energética nos sistemas AVAC estudadas, quanto ao seu funcionamento, aplicabilidade, vantagens e desvantagens, etc.

No terceiro capítulo trata-se da simulação das diferentes medidas para o edifício de serviços nos quatro climas em estudo. Ainda neste capítulo é apresentado uma explicação quanto ao tipo de edifício de serviços escolhido e todas as suas características, bem como a implementação do mesmo no software *Hourly Analysis Program (HAP)*.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia de cálculo do custo ótimo aplicada aos casos em estudo e feita uma avaliação cuidada dos resultados. Ainda neste capítulo são retiradas algumas conclusões sobre as medidas impostas no ponto de vista económico para cada caso, e apresentadas algumas conclusões comparativas.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas todas as conclusões relevantes deste estudo das soluções de medidas de eficiência energética nos sistemas AVAC para os diferentes climas distintos e ainda apresentadas alguns temas para futuros trabalhos.

## **2. Estado da Arte**

Neste capítulo irá ser feita uma explicação sucinta do que se trata a metodologia do custo ótimo e como a aplicar.

Ainda no presente capítulo serão apresentados os vários tipos de equipamentos que serão utilizados nos sistemas em estudo, incluindo a definição de cada um deles, o tipo de funcionamento e algumas vantagens e desvantagens.

### **2.1. Metodologia do Custo Ótimo**

Os edifícios são os maiores responsáveis pelo consumo energético de toda a Europa, fazendo com que estes sejam uma peça fundamental a ser melhorada devido às emissões de gases de estufa. Dito isto, os edifícios são um dos sectores em que as políticas implementadas são importantes para que se consiga alcançar os objetivos climáticos e energéticos propostos.(Brandão De Vasconcelos, Pinheiro, Manso, & Cabaço, 2016)

Este potencial que os edifícios apresentam, no que toca à poupança energética e consequente redução das emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, deve ser devidamente analisado e tratado por políticas internas da União Europeia, de forma a consciencializar a sociedade para uma redução do consumo de carbono. Estas mesmas políticas podem desencadear benefícios para as economias internas de cada país, promovendo a independência relativa à importação de energia proveniente de outros países, supressão das coimas impostas pela UE devido às infrações dos limites de emissão de gases de efeito de estufa, melhoria da qualidade do ar.

Embora se tenha começado a pensar em todo este potencial quanto ao consumo energético dos edifícios, este não está a ser totalmente aproveitado. Para que tal aconteça, é necessário considerar-se também o tempo de vida dos edifícios e a franca melhoria na eficiência energética dos mesmos, aquando da projeção dos edifícios.

Tendo já sido criada uma diretiva referente ao desempenho energético dos edifícios em 2002, a sua reformulação para a EPBD Recast (EPBD 2010/31/EU) foi bastante importante de forma a introduzir uma melhor política de poupança energética, uma vez que foi exigido a todos os Estados Membros os seguintes objetivos:

- Introdução de características mínimas de desempenho dos edifícios, no que toca a consumos energéticos, elementos de construção e aspetos técnicos de construção dos edifícios.
- Determinação de características baseadas numa metodologia de custo ótimo que tivesse em conta o tempo de vida útil dos edifícios.
- Implementação de edifícios de consumo de energia quase nulo (NZEB – Nearly Zero Energy Building), a partir de 2020.

A referida metodologia de cálculo do custo ótimo vem introduzir um novo requisito a ser considerado nas avaliações dos edifícios, o estudo do tempo de vida dos edifícios. Assim, estas mesmas avaliações, deixarão de estar apenas relacionadas com o custo de investimento, mas também com os custos de operação, manutenção e de poupança de energia ao longo do período de vida útil do edifício. (Almeida, Ferreira, & Rodrigues, 2013)

A aplicação da metodologia do custo ótimo num edifício é dividida em quatro etapas. Numa primeira etapa é definido o edifício de referência, através da sua localização, e dos seus elementos construtivos. De seguida, são definidas as medidas de eficiência energética ao edifício em estudo. Na terceira etapa, avalia-se as necessidades de energia útil e final do edifício de referência e o impacto que as medidas de melhoria de eficiência energética impõem. E por último, são calculados os custos das medidas de melhoria e aplicados os princípios da metodologia de comparação. (União Europeia, 2010)

## **2.2. Recuperador de Calor**

Os recuperadores de calor têm como função promover trocas de energia entre fluídos, podendo tomar diferentes tipos de configuração:

- Recuperador de calor de placas – Possui uma configuração de forma a que o ar de exaustão do espaço climatizado e o ar novo proveniente do exterior da UTAN se cruzem perpendicularmente ou paralelamente separados por uma superfície com boa condutibilidade térmica, para que a transferência de calor entre os fluídos se troquem o mais facilmente possível sem que se misturem.
- Roda térmica – este tipo de recuperador transfere tanto energia sensível como latente do ar de extração para o ar proveniente do exterior. Com sentidos opostos, os vários fluídos movem-se, passando um dos fluídos por uma metade da roda e

o outro pela outra metade, encontrando-se a roda em rotação. Uma das desvantagens deste tipo de recuperador é a necessidade de um pequeno motor, que consome energia, para a rotação da roda, sendo este um consumo que o recuperador de placas não possui. Mas embora exista essa desvantagem, é importante referir que na roda térmica as perdas de carga são menores, fazendo com que o consumo de energia por parte do ventilador seja menor.

Estas são algumas características que um recuperador de calor presente numa Unidade de Tratamento de Ar pode obter. O tipo mais comum de recuperadores é o permutador de placas de fluxos cruzados, sem existência de uma mistura física ou transferência de humidade entre o ar extraído e o ar novo insuflado.(Vieira, 2011)

Os recuperadores de calor não são mais que um permutador de calor que troca energia entre o ar de insuflação e o ar de extração, de forma a pré-arrefecer ou pré-aquecer, dependendo da situação em que se encontra. O caso de pré-arrefecimento do ar de insuflação acontece na situação de verão, em que a temperatura exterior se encontra mais elevada em relação à temperatura do ar de retorno dos espaços climatizados. No caso de pré-aquecimento, acontece o inverso, este ocorre na situação Inverno, em que a temperatura do exterior se encontra mais baixa comparando com a temperatura do ar de extração dos espaços climatizados.

Esta recuperação de energia por parte do recuperador de calor da UTAN promove uma redução das potências térmicas a instalar e, conseqüentemente, uma redução no custo de investimento em instalações fontes de calor ou de frio mais potentes. A redução do consumo de energia impõe também uma redução do custo de exploração e porventura uma redução das emissões de agentes poluentes para o meio ambiente. Embora o recuperador de calor promova poupanças de energia térmica, este induz também custos, derivado do investimento necessário a ser aplicado para compra do recuperador de calor, maior investimento em ventiladores de maior potência e aumento dos consumos de energia elétrica, por consequência das perdas de carga que o recuperador de calor induzirá no sistema de climatização. Dito isto, antes de escolher a aplicação do recuperador de calor, é necessário fazer um estudo acerca do custo e benefício que o recuperador dará ao sistema.

O recuperador de calor utilizado para os vários estudos feitos mais à frente, será do tipo roda térmica.

### **2.3. Caldeira a gás**

A caldeira, não dependendo do tipo de combustível usado, é um equipamento que produz energia térmica, podendo ser usada para aquecimento de águas quentes sanitárias ou para produção de água quente ou vapor para climatização de edifícios. Sendo este o tipo de aquecimento central mais comum. Neste subcapítulo falaremos de caldeiras em que o combustível usado para seu funcionamento é o gás.

Este tipo de caldeiras tem como vantagem, conseguir aquecer instalações de dimensões muito grandes, equipamento barato face a outros tipos de tecnologias de aquecimento, boa eficiência, fácil utilização, largo tempo de vida de funcionamento e o seu abastecimento é contínuo a partir da rede de gás instalada no edifício, ou seja, não fornece qualquer preocupação ao utilizador em termos de abastecimento de gás à caldeira.

As desvantagens neste equipamento a gás é o seu custo de exploração, devido ao custo dispendioso do gás, é de difícil aplicação em edifícios já existentes, devido ao seu volume e peso e emite CO<sub>2</sub> para a atmosfera.(Roriz, 2007)

### **2.4. Caldeira de Biomassa a *Pellets***

Estes equipamentos possuem a mesma função das caldeiras a gás, só que como o próprio nome indicada, estas funcionam a *pellets*, ao invés das anteriores que funcionavam com gás. As caldeiras a *pellets* são equipamentos mais sofisticados, diferentes dos outros tipos de caldeiras e muito mais eficientes em relação às salamandras. São boas alternativas ao aquecimento, mas não se justificam serem aplicadas em apartamentos, pequenos edifícios. Trata-se, portanto, de um equipamento a ser aplicado em edifícios com grandes necessidades de aquecimento, nomeadamente moradias grandes com baixa eficiência energética e outros grandes edifícios não residenciais.

Como principais vantagens das caldeiras de biomassa a *pellets*, elas têm possibilidade de automização e de monitorização da combustão, uma gaseificação sólida, níveis de emissões de carbono para a atmosfera praticamente nulos e custos de exploração do equipamento bastante menores em relação às caldeiras a gás ou a gásóleo, devendo-se isto ao custo dos *pellets* relativamente mais baixos que o custo dos outros combustíveis.(Zaichenko & Shterenberg, 2017)

Em termos de desvantagens, neste tipo de caldeira já é necessário haver uma preocupação no abastecimento de *pellets* no depósito da caldeira, pois esta tem de ser feita

manualmente. Mas a grande desvantagem está no seu custo de investimento inicial, pois derivado da sua sofisticação, esta torna-se mais cara em comparação com outro tipo de caldeira, o que pode inviabilizar a utilização deste tipo em muitos edifícios, derivado da recuperação do investimento na exploração ser difícil. (Guia casa eficiente, 2014)

## **2.5. Chiller**

O chiller trata-se de uma unidade produtora de água fria, ideal para promover a transferência de calor entre fluídos, que em conjunto com determinados equipamentos de AVAC, este possibilita a climatização e o controlo da temperatura e da humidade relativa de um determinado espaço. (ASHRAE, 2009)

Através do sistema de climatização, o chiller retira o calor da água proveniente dos ventiloconvectores no interior dos espaços, diminuindo a sua temperatura, e enviando de novo para o interior dos espaços.

Para além da grande durabilidade e eficiência da máquina, esta também apresenta uma ótima relação de custo e benefício, embora funcione a energia elétrica, o seu consumo é bastante baixo, e pode trabalhar com uma grande variação de temperaturas, inclusive negativas.

As desvantagens focam-se na sua instalação, pois trata-se de um equipamento bastante robusto, que necessita de transporte especializado e algumas preocupações a nível arquitetónico do edifício. (Guia casa eficiente, 2014)

## **2.6. Bomba de calor Aerotérmica**

Para a situação de aquecimento e arrefecimento do edifício também existe a possibilidade de utilização de bombas de calor, dispositivos que possibilitam a transferência de calor de uma fonte fria para uma fonte quente. O seu funcionamento é feito a partir do ciclo termodinâmico, sendo necessária a realização de trabalho para que o processo ocorra. No ciclo termodinâmico deste equipamento é utilizado um fluído volátil, designado por fluído refrigerante, que entra em estado de ebulição quando absorve calor e condensa ao perder calor. O fluído refrigerante flui através de tubos para o evaporador e para o condensador, constituintes que provocam as transferências de energia térmica de um fluído para o outro, que para o caso da climatização de edifícios se tratará de água. (Roriz, 2007)

As bombas de calor têm inúmeras vantagens comparando com outros sistemas tradicionais como a biomassa, gás ou gasóleo. Estas usam energia renovável, devido ao aproveitamento do calor do ar, não produzem quaisquer gases contaminantes ou nocivos para a saúde, não têm nenhum depósito de armazenamento combustível, é de instalação fácil e rápida, os seus custos de manutenção são insignificantes, pois não são necessários quaisquer tipos de limpeza e a sua eficiência é elevada.

Mas como é sabido, qualquer moeda tem duas faces, e o mesmo acaba por acontecer com este tipo de equipamentos. O seu custo inicial é elevado, os ventiladores que a unidade exterior possui, provocam algum barulho, sendo necessário ter-se cuidado com o local onde se instalará a unidade para que não incomode os utilizadores. Por último, as bombas de calor diminuem as suas eficiências quanto menores forem as temperaturas do ar exterior do equipamento. (Energia, 2016)

## **2.7. Bomba de calor geotérmica**

Este tipo de bomba de calor diferencia-se da bomba de calor anterior, pelo facto de esta conseguir extrair calor ou frio do interior da Terra, onde as temperaturas são mais moderadas. Estes equipamentos podem ser uma excelente opção para edifícios com grandes necessidades de climatização e água quente, podendo ser também acoplados a sistemas solares fotovoltaicos, representando uma enorme vantagem a nível ambiental.

Mas devido ao seu elevado custo de investimento inicial e as dificuldades associadas à implementação da instalação de tubagem subterrânea não fazem sentido em habitações unifamiliares. (Guia casa eficiente, 2014)

## **2.8. Torre de Arrefecimento**

As torres de arrefecimento têm a principal função de induzir o arrefecimento da água quente proveniente dos condensadores das unidades produtoras de frio. Este equipamento só é necessário em alguns sistemas, como é o caso de quando o arrefecimento é produzido através de um ciclo frigorífico de compressão ou absorção ou então, quando o sistema de refrigeração utiliza um condensador arrefecido a água.

Quanto ao funcionamento da torre de arrefecimento, baseia-se no princípio do arrefecimento da água que nela circula derivado da evaporação parcial de uma pequena parte dessa água. Existem dois modos de fazer esta evaporação, por convecção natural, utilizada para grandes potências, mas não utilizadas para sistemas de climatização, ou

então, de convecção forçada, feita por intermédio de um ventilador à entrada ou saída da torre.

Na torre, a água passa através de uma malha fina que garante uma elevada área de permuta entre a água que nela circula e o ar, conseguindo um bom contacto entre o ar e a água, permitindo desta forma uma melhor evaporação e por consequência um melhor arrefecimento da água. (Roriz, 2007)

Através dos furos geotérmicos também é possível diminuir a temperatura da água quente das unidades produtoras de água fria, ou seja, fazer a mesma função que uma torre de arrefecimento, com a diferença que nos furos o sistema acoplado a este funciona a água – água.

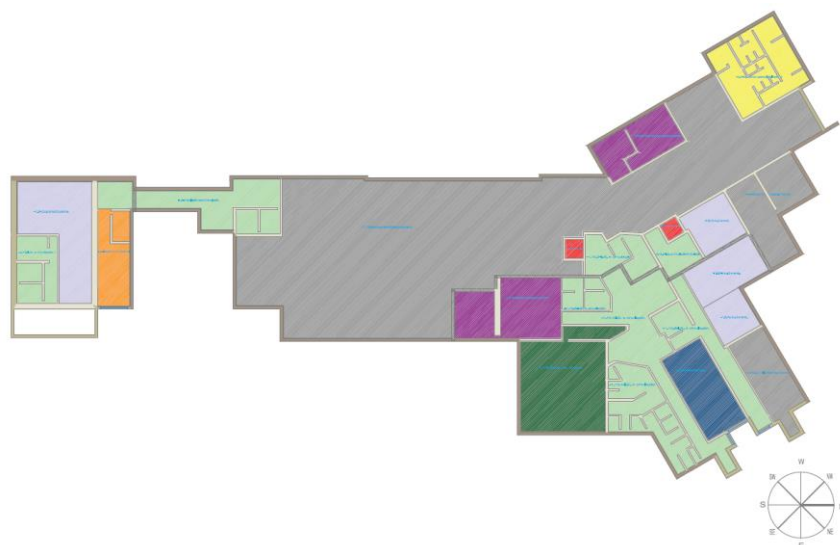
### **3. Casos de Estudo**

#### **3.1. Caracterização do edifício**

O edifício utilizado para os diferentes estudos de soluções de melhoria de eficiência energética nos sistemas AVAC, trata-se de um edifício de comércio e serviços, mais propriamente um hotel. A escolha deste tipo de edifício deve-se ao facto de a sua taxa de ocupação e de consumos serem constantes ao longo do ano, o que facilita nas análises económicas das várias soluções e também devido à sua arquitetura, simplificando um pouco a simulação energética do edifício no software HAP.

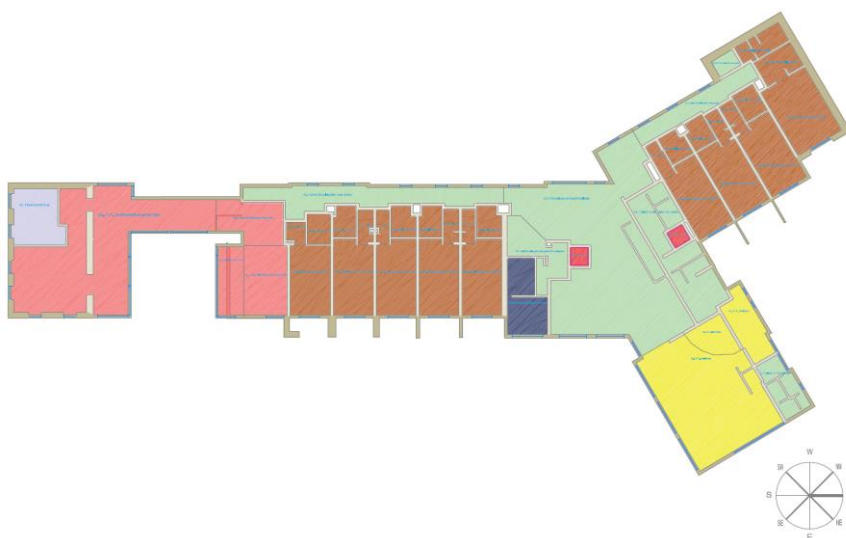
O edifício será estudado em 4 tipos de climas distintos.

O edifício é constituído por 6 andares, um dos quais trata-se de uma cave com um dos lados subterrado. Na cave encontra-se um parque de estacionamento, lavandaria, zonas técnicas dos geradores bombas e caldeiras, escritórios, salão de jogos, ginásio, balneário do pessoal, refeitório do pessoal e ainda uma parte da cozinha.



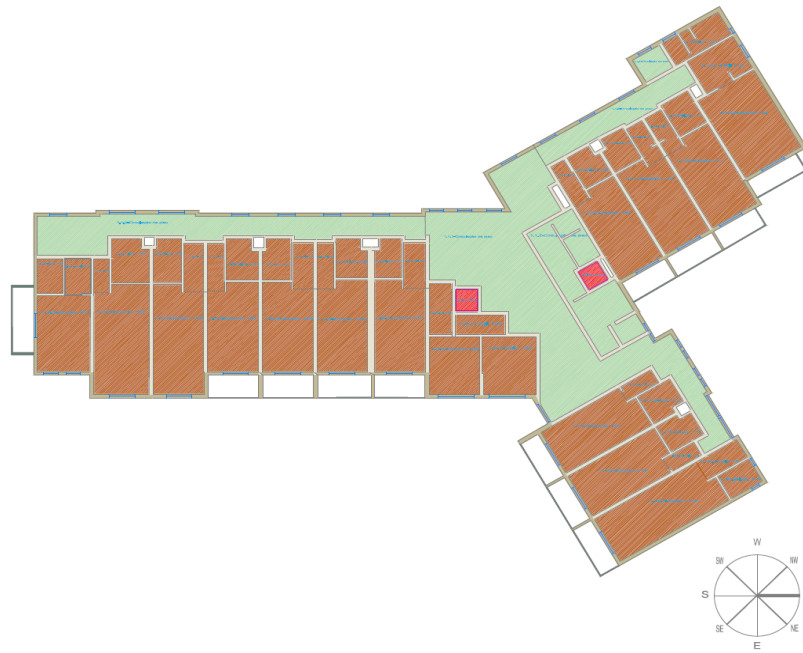
*Figura 1 - Cave do edifício em estudo*

No piso 0 encontra-se a receção do hotel, um gabinete de contabilidade, bar, restaurante, uma outra parte da cozinha e os quartos dos hóspedes. Ambos os quartos dos hóspedes são constituídos por um hall de entrada, uma instalação sanitária e o quarto.



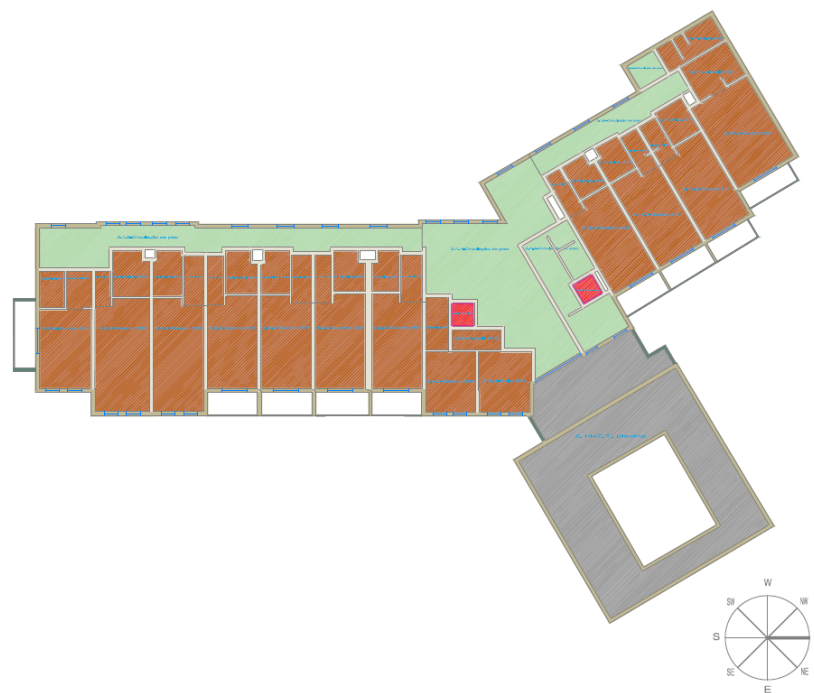
*Figura 2 - Piso 0 do edifício em estudo*

Referente ao piso 1 este é principalmente constituído por quartos e corredores de circulação. Neste piso, existem quartos também constituídos por pequenas salas de estar.



*Figura 3 - Piso 1 do edifício em estudo*

O piso 2 difere apenas do piso anterior na zona onde se encontra colocada uma piscina descoberta.



*Figura 4 - Piso 2 do edifício em estudo*

No piso 3 apenas existem quartos e corredores de circulação.

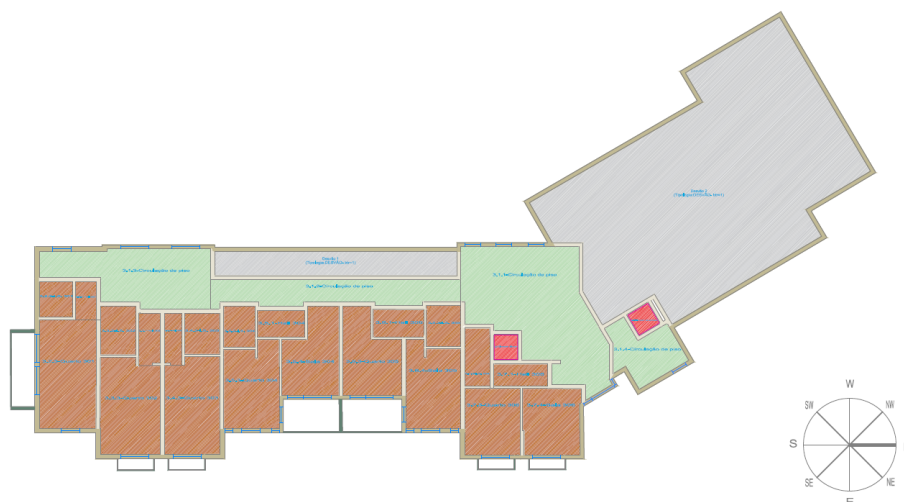


Figura 5 - Piso 3 do edifício em estudo

Por último, o piso 4 constitui-se apenas por duas zonas técnicas pertencentes ao elevador dos clientes e outro dos funcionários e uma pequena zona de circulação, para que se consiga aceder às zonas técnicas.

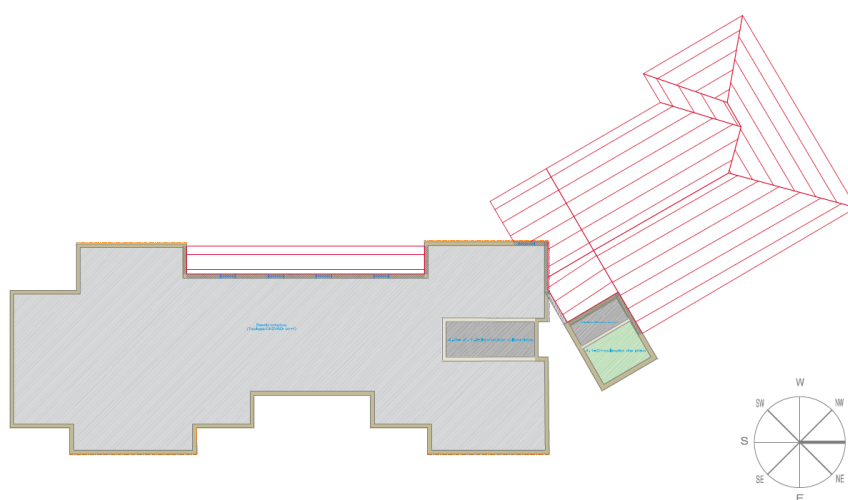


Figura 6 - Piso 4 do edifício em estudo

Entre o teto do piso 3 e o telhado no piso 4 existe um desvão de ar fortemente ventilado ( $btr = 1$ ).

### 3.2. Cargas térmicas dos edifícios

Os valores das cargas térmicas impostas pelos caudais de ar novo inserido nos espaços, a iluminação, os equipamentos elétricos, os perfis de utilização e a ocupação do edifício serão iguais em todos os países em estudo. Estes valores serão acerca das características mínimas térmicas impostas para o caso de Portugal.

### **3.2.1. Caudais de ar novo**

Para determinação dos caudais de ar novo nos diferentes espaços, tem-se de considerar qual a eficácia do método de ventilação adotado. Para a situação em estudo, foi admitido que a insuflação dos espaços seria feita pelo teto, com uma boa estratégia de distribuição do ar insuflado pelo espaço e com pelo menos 8°C acima da temperatura do local de extração/retorno também pelo teto. Consultado a tabela I.01 – Valores de eficácia para diferentes métodos de ventilação, presente na Portaria N°. 353-A/2013 de 4 de Dezembro, chegamos a uma eficácia de ventilação de 80%. Os valores de eficácia de ventilação são definidos como a razão entre o caudal de ar novo que chega realmente à zona que se pretende tratar e o caudal de ar novo insuflado nessa mesma zona. (Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, 2013)

Tendo o valor da eficácia de ventilação, resta considerar o tipo de atividade a que cada espaço se destina, o número de ocupantes, a área de pavimento do espaço e os caudais mínimos a insuflar, para que as exigências regulamentares presentes no RECS sejam cumpridas. Nos vários espaços, excetuando nos quartos, o RECS estabelece o caudal de ar novo mínimo em função da carga poluente da ocupação e em função da carga poluente do edifício, sendo o valor mais elevado dos dois métodos de cálculo o adotado. Para a situação dos quartos, apenas é usado o método de cálculo do caudal de ar novo em função da carga poluente da ocupação, e é o resultado deste que irá ditar qual o caudal de ar novo a insuflar nestes espaços.

Tabela 1- Excerto da tabela de cálculo do caudal de ar novo dos espaços

Piso	Nº	Espaço	Área [m²]	Nº Ocupação	Eficácia de Ventilação	Caudal Ar mínimo em função da carga poluente da ocupação (tabelado) [m³/h.pessoa]	Caudal Ar mínimo em função da carga poluente do edifício(tabelado) [m³/h.m²]	Calculo Caudal em função da ocupação [m³/h]	Calculo Caudal em função da área [m³/h]	Caudal de Ar mínimo necessário [m³/h]	Caudal de Ar mínimo necessário [l/s]
-1	1	Estacionamento	483	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	2	Balneários pessoal	43,9	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	3	Escritório economato	28,6	1	0,8	24	3	30	107	107	30
-1	4	Circulação piso	48,1	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	5	0,8	24	3	150	93	150	42
-1	6	Cozinha	50,7	3	0,8	35	3	131	190	190	53
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	8	Lavandaria	59,4	3	0,8	35	5	131	371	371	104
-1	9	Elevador de serviço	2,6	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	10	I.S. e circulação	170,1	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	11	Z.T. Caldeiras	29,3	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	12	Ginásio	34,1	10	0,8	98	3	1225	128	1225	343
-1	13	Elevador clientes	2,7	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	14	Gabinete diretor	45,7	1	0,8	20	3	25	171	171	48
-1	15	Sala de jogos	69,2	5	0,8	35	3	219	260	260	73
-1	16	I.S. e circulação 1	20,7	0	0,8		0	0	0	0	0

### 3.2.2. Iluminação

Para o cálculo dos ganhos internos através da iluminação, é necessário recorrer-se à Portaria n.º 17-A/2016 de 4 de Fevereiro, onde se poderá encontrar os valores máximos de densidade de iluminação (DPI/100lux) em função do objetivo que cada tipo de espaço e à Norma Europeia 12464-1, para ser retirado o valor do nível de iluminância mantida dependendo também do objetivo em que se insere no espaço. (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016) (Comité Europeia de Normalização, 2002)

Este último valor retirado servirá para que o valor máximo de densidade de iluminação seja corrigido, e assim obtermos o valor verdadeiro de densidade de iluminação dos espaços do edifício.

$$DPI_{corrigido} = \bar{E} \times \frac{DPI}{100 \text{ lux}}$$

Em que:

$\frac{DPI}{100 \text{ lux}}$  – Valor máximo de densidade de iluminação [(W/m²)/100 lux]

$\bar{E}$  - Nível de iluminância mantida [lux]

O valor corrigido de densidade de iluminação é o que será inserido no *software* HAP no subseparador “Internals” do separador “Spaces” no espaço.

Tabela 2- Excerto da tabela de cálculo da densidade de potência de iluminação

Piso	Nº	Espaço	Área [m²]	Nível de Iluminância mantida: Em - EN12464-1	DPI/100 lux - [(W/m²)/100 lux]- Tab.I.28	DPI (W/m²)- máximo	Iluminação- Potência (W) cálculo IE Eref
-1	1	Estacionamento	483	100	3,4	3,4	1642,2
-1	2	Balneários pessoal	43,9	200	3,8	7,6	333,64
-1	3	Escritório economato	28,6	300	2,4	7,2	205,92
-1	4	Circulação piso	48,1	200	3,8	7,6	365,56
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	200	3,8	7,6	187,72
-1	6	Cozinha	50,7	500	3,4	17	861,9
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5	200	3,4	6,8	268,6
-1	8	Lavandaria	59,4	300	3,4	10,2	605,88
-1	9	Elevador de serviço	2,6	0	0	0	0
-1	10	I.S. e circulação	170,1	100	3,8	3,8	646,38
-1	11	Z.T. Caldeiras	29,3	200	3,4	6,8	199,24
-1	12	Ginásio	34,1	200	3,4	6,8	231,88
-1	13	Elevador clientes	2,7	0	0	0	0
-1	14	Gabinete diretor	45,7	300	2,4	7,2	329,04
-1	15	Sala de jogos	69,2	300	3,4	10,2	705,84
-1	16	I.S. e circulação 1	20,7	100	3,8	3,8	78,66

Através da área conhecida de cada espaço do edifício, ainda foi feita uma estimativa da potência de iluminação de cada espaço, para se ter uma melhor perspectiva dos valores em causa, pela seguinte fórmula:

$$P_i = \frac{\text{Área} \times \bar{E} \times \text{DPI}}{100}$$

Em que:

$P_i$  – Potência de iluminação [W]

A – Área do espaço [ $m^2$ ]

$\bar{E}$  – Nível de iluminância mantida [lux]

DPI/100 – Valor máximo de densidade de iluminação [(W/ $m^2$ )/100lux]

### 3.2.3. Equipamentos Elétricos

Na situação dos equipamentos elétricos foi feita uma estimativa acerca dos equipamentos presentes em cada espaço, dependendo das suas funções. Através da potência de cada equipamento e da quantidade é possível calcular a potência total instalada dos equipamentos elétricos para cada espaço.

Tabela 3 - Excerto da tabela de cálculo da potência total dos equipamentos elétricos

Piso	Nº	Espaço	Área [m²]	Equipamentos	Potência [W]	Quantidade	Potência Total [W]
-1	1	Estacionamento	483				
-1	2	Balneários pessoal	43,9	Secador	1000	2	2000
				Computador	29	1	
				Impressora	74	1	
				Scanner	16	1	
				Fax	90	1	
				Televisão	90	1	
-1	3	Escritório economato	28,6				299
-1	4	Circulação piso	48,1				
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	Microondas	2000	2	
				Frigorífico	300	1	
				Televisão	90	1	
				Máquina de Café	600	1	
				Batedeira	100	2	
				Grelhador	3000	1	
				Exaustor	150	1	
				Fogão elétrico	6000	1	
				Forno elétrico	4500	1	
				Microondas	2000	1	
				Congelador	500	2	
				Frigorífico	250	2	
				Liquidificadora	200	1	
				Máquina lavar loiça	1500	1	
				Torradeira	800	2	
-1	6	Cozinha	50,7				20650
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5				
-1	8	Lavandaria	59,4	Máquina lavar Roupa	9300	2	
				Máquina secar roupa	12000	2	
				Calandra	13560	1	
				Ferro de Engomar	3800	2	
				Centrifugadora	1100	1	
							64860

### 3.2.4. Ocupação

A ocupação em cada espaço já foi considerada anteriormente aquando do cálculo dos caudais de ar, e esta ocupação foi determinada consoante a sua arquitetura e o seu tipo de utilização.

Para zonas comuns, como é o caso do estacionamento e de corredores de circulação pelo edifício, foi considerada nula a sua ocupação, pois são espaços em que a ocupação é desprezável devido ao facto da permanência de pessoas durante um longo período de tempo nesses espaços ser muito reduzido.

Todos os quartos foram considerados ocupados apenas por duas pessoas, isto é, como sendo quartos de casal.

Os restantes valores de ocupação encontram-se disponíveis em anexo nas tabelas de cálculo de caudal de ar novo.

### 3.2.5. Perfis de utilização

No software de cálculo dos ganhos e perdas de energia que está a ser utilizado é necessário traçar perfis de utilização, sejam eles, para a iluminação, para equipamentos elétricos como também para a ocupação.

Para a elaboração dos diferentes tipos de perfis, foram tidos em conta a função do espaço para o qual se está a elaborar os perfis, os seus horários de funcionamento e a percentagem de utilização, isto no caso dos equipamentos elétricos, durante o tempo em que o espaço está a ser utilizado.

No exemplo a seguir apresentado, demonstra-se a o perfil de utilização da iluminação na cozinha do nosso edifício em estudo.

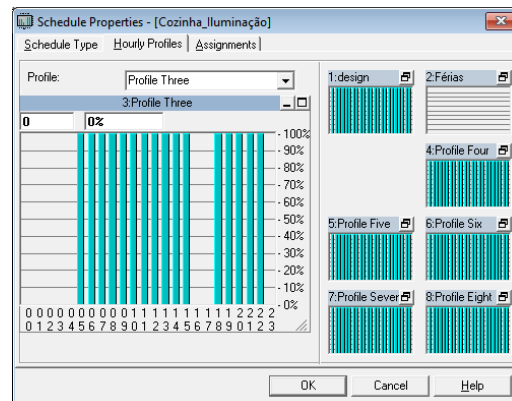


Figura 7 - Perfil de utilização da iluminação na cozinha

O horário de funcionamento admitido para a cozinha, está feito de maneira a que sejam servidos pequenos-almoços e almoços. Após o serviço de almoços, a cozinha encerra para descanso do pessoal, às 15h, voltando a reabrir por volta das 18h para o serviço de jantar encerrando o mesmo por volta das 22h.

Nos perfis acerca da iluminação e ocupação, a sua taxa de utilização foi admitida como se tratasse de um sistema tudo ou nada, ou seja, ou estão todas as luzes acesas do espaço quando este se encontra em utilização, ou estão todas desligadas quando este se encontra em desuso. No caso da ocupação, ou estão todas as pessoas admitidas presentes no espaço ou não está ninguém.

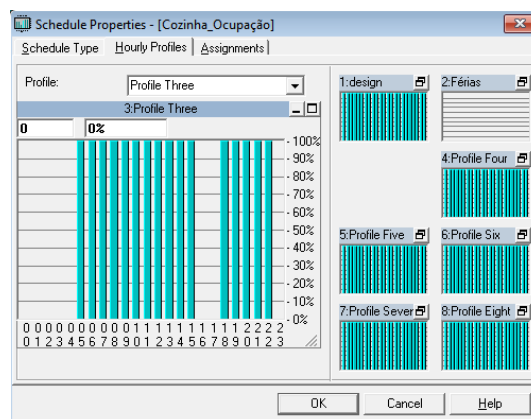


Figura 8 - Perfil de ocupação na cozinha

Na situação dos perfis acerca da utilização dos equipamentos elétricos, o cenário torna-se diferente, como já anteriormente descrito. Como os equipamentos elétricos são muitos e as suas potências são consideradas bastante elevadas, seria grave se admitisse que todos

os equipamentos se encontrariam sempre todos ligados desde das 5 horas da manhã até às 23 horas, todos os dias. Para tal, teve-se de estimar uma percentagem de utilização para cada equipamento e assim ficar a saber qual a potência realmente utilizada. Com ajuda do *software Microsoft Excel*, somando esta potência utilizada de todos os equipamentos e relacionando com a potência total instalada, ficamos a conhecer a taxa de utilização, valor este que iremos introduzir no perfil de utilização dos equipamentos elétricos.

Tabela 4 - Cálculo da taxa de utilização dos equipamentos elétricos para a cozinha

Espaço	Área [m <sup>2</sup> ]	Equipamentos	Potência [W]	Quantidade	Potência Total [W]	Percentagem de Utilização	Potência utilizada	Taxa de utilização
Cozinha	50,7	Batedeira	100	2	20650	0,1	14900	0,72
		Grelhador	3000	1		0,7		
		Exaustor	150	1		1		
		Fogão elétrico	6000	1		1		
		Forno elétrico	4500	1		0,8		
		Microondas	2000	1		0,3		
		Congelador	500	2		0,6		
		Frigorífico	250	2		0,6		
		Liquidificadora	200	1		0,1		
		Máquina lavar loiça	1500	1		0,9		
		Torradeira	800	2		0,1		

Para a cozinha do edifício, a taxa de utilização dos equipamentos elétricos presentes é de 72%. Tendo este valor calculado, resta assim elaborar o perfil de utilização.

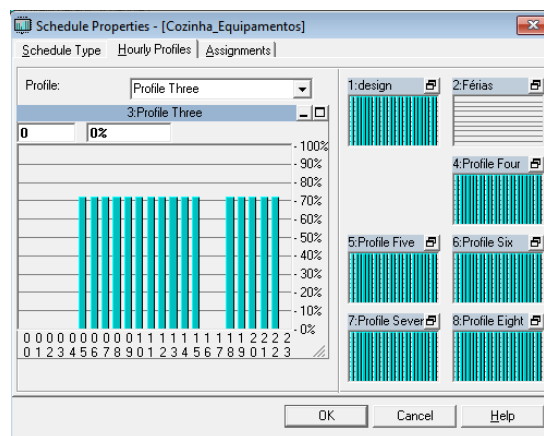


Figura 9 - Perfil de utilização dos equipamentos elétricos na cozinha

Os passos apresentados para a situação da cozinha, foram repetidos para todos os outros espaços, sempre tendo em atenção as suas funções e horários de utilização. Todos os valores referentes aos outros espaços encontram-se disponíveis em anexo.

### 3.3. Características arquitetónicas dos edifícios de referência

As características dos edifícios diferem de país para país, derivado do tipo de clima ser diferente, fazendo com que cada país possua os seus valores de coeficientes globais de transferência de calor de referência diferentes. Neste capítulo, à medida que irão ser

designados os elementos de construção do edifício, irão ser abordados todos os valores de referência, caso existam, para os diferentes países em estudo.

### 3.3.1. Paredes

#### Portugal - Lisboa

Para que seja possível saber quais os valores de referência de coeficiente global de transferência de calor para o edifício de referência em Portugal das suas envolventes, terá de ser considerado qual a sua localização geográfica no país, e através de uma folha de cálculo disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, apresentada de seguida, é possível saber qual a zona climática de verão e de inverno do edifício. O edifício em estudo na situação de Portugal, insere-se na zona da Grande Lisboa a uma altitude de 109 metros, latitude 38,9°N e longitude 9,2°W.

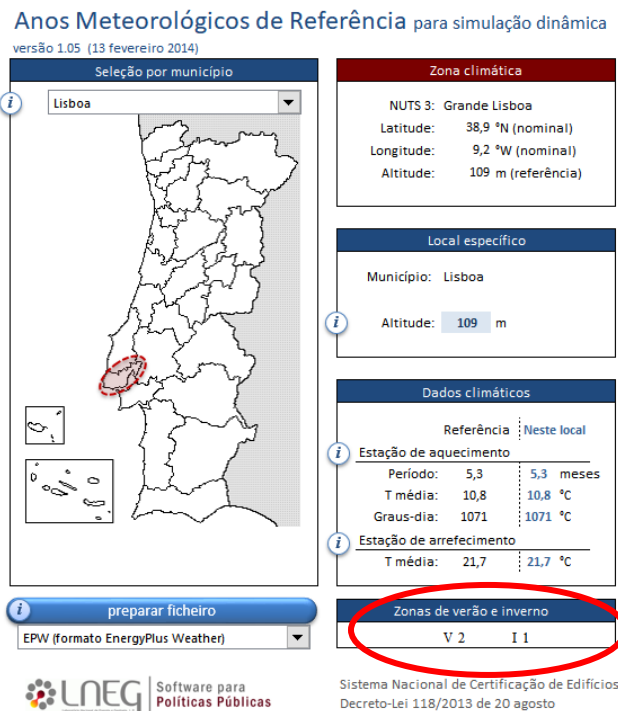


Figura 10 - Valores da zona climática da Grande Lisboa (LNEG)

Com a referência da zona climática de inverno do edifício, consultasse a tabela I.09, presente na Portaria nº. 17-A/2016 de 4 de Fevereiro, para saber qual o valor de coeficiente global de transmissão térmica superficial de referência para os edifícios de comércio e serviços ( $U_{ref}$ ). (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016)

Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e vãos envidraçados

Zona Climática	Portugal Continental		
Zona corrente da envolvente	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores	0,50	0,45	0,40
Vãos envidraçados exteriores (portas e janelas)	4,30	3,30	3,30

Com o valor de  $U_{ref} = 0,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  dos elementos opacos verticais exteriores conhecido, segue-se a caracterização dos constituintes da parede exterior, até que o seu coeficiente global de transferência de calor se aproxime o mais possível do valor de referência conhecido.

A configuração da parede exterior adotada para Portugal é a seguinte:

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m²·K/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Estuque	15,000	1100,0	1,00	0,02600	16,5
Tijolo Furado 15cm	150,000	800,0	1,00	0,39000	120,0
XPS	14,300	40,0	1,00	0,38610	0,6
Espaço de ar	100,000	1,0	1,00	0,18000	0,1
Tijolo Furado 11cm	110,000	800,0	1,00	0,27000	88,0
Reboco Tradicional	15,000	2100,0	1,00	0,00830	31,5
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	404,300			1,43	256,7

Overall U-Value: 0,699 W/m²/K

Figura 11 - Caracterização da parede exterior para Portugal

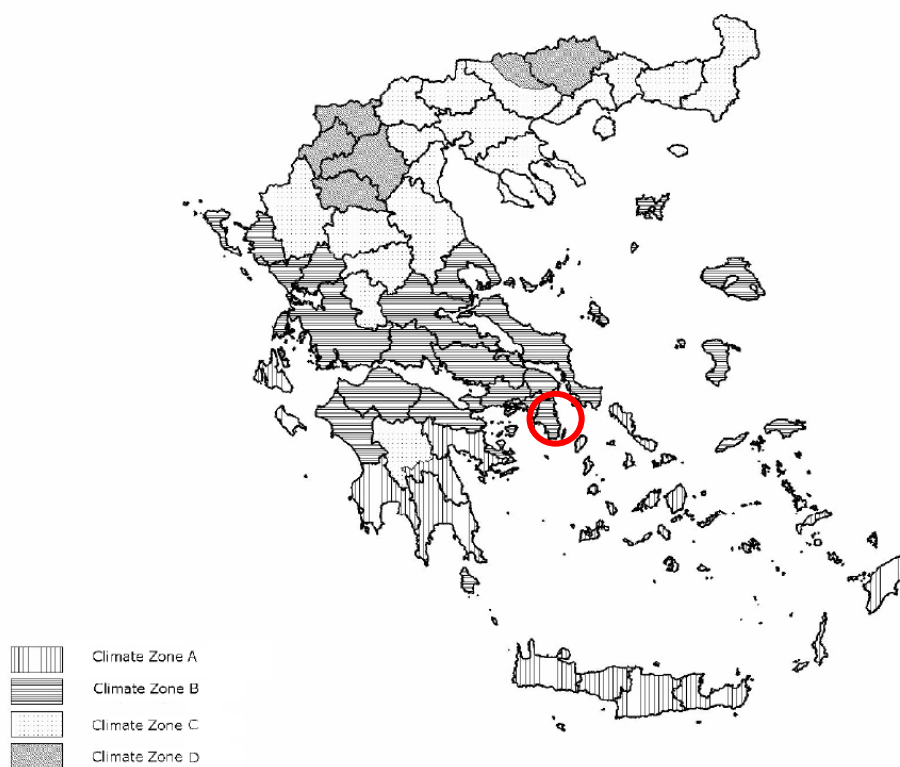
Os valores de resistência térmica, densidade e calor específico dos vários elementos construtivos encontram-se no documento ITE50, disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil. De forma a que o coeficiente global de transmissão térmica da parede do edifício seja parecido ao de referência, foi necessário ir aumentando a espessura do isolamento XPS, até a condição se tornar verdadeira. (Santos& Matias,2006)

### Grécia - Atenas

Derivado da Grécia possuir um clima diferente em comparação com o de Portugal, os seus valores de referência são diferentes. Dito isto, e após uma pesquisa aprofundada deste tema, foi encontrado um documento em que menciona todos os valores de referência

necessários para o edifício de cada caso de estudo como para muitos outros países.(Eduardo Maldonado, 2015)

Unicamente no caso da Grécia, os valores de referência dependem muito da localização do edifício dentro do seu território. Tendo em atenção que o edifício é localizado na cidade de Atenas, capital da Grécia, é necessário consultar a figura seguinte, retirada de um outro documento, para que se consiga saber a que zona climática Atenas pertence.(E. Maldonado, 2011)



*Figura 12 - Mapa das zonas climáticas da Grécia (E. Maldonado, 2011)*

Analisado o mapa e marcada a localização da cidade de Atenas, destacado no círculo a vermelho na figura 12, chegasse à conclusão que o edifício se localiza na zona climática B. A partir daqui, recorre-se ao primeiro documento mencionado, e procura-se no capítulo dedicado à Grécia, pelos valores de referência dos vários elementos do edifício, representados pela tabela seguinte.

Tabela 6 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Grécia para os vários elementos do edifício (Eduardo Maldonado, 2015)

Minimum requirements according to the new regulation		U-value (W/m <sup>2</sup> .K)			
		Climatic zone			
		A	B	C	D
Heating degree days (18 °C)		800 - 900	1,100 - 1,400	1,700 - 2,100	> 2,200
Roofs	U <sub>v,D</sub>	0.50	0.45	0.40	0.35
External walls *	U <sub>v,W</sub>	0.60	0.50	0.45	0.40
External floors	U <sub>v,DL</sub>	0.50	0.45	0.40	0.35
Floor over ground	U <sub>v,G</sub>	1.20	0.90	0.75	0.70
External walls in contact with the ground	U <sub>v,WE</sub>	1.50	1.00	0.80	0.70
Openings *	U <sub>v,F</sub>	3.20	3.00	2.80	2.60
Glass façades	U <sub>v,GF</sub>	2.20	2.00	1.80	1.80
Minimum requirements according to the previous regulation		U-value (W/m <sup>2</sup> .K)			
		Climatic zone			
		A	B	C	
Roofs	U <sub>v,D</sub>	0.50	0.50	0.50	
External walls	U <sub>v,W</sub>	0.70	0.70	0.70	
Floor over ground	U <sub>v,G</sub>	3.00	1.90	0.70	
External walls in contact with the ground	U <sub>v,WE</sub>	3.00	1.90	0.70	

Concluindo, o coeficiente global de transmissão de calor de referência das paredes em contacto com o exterior para a zona climática B, cidade de Atenas, é de 0,50 W/m<sup>2</sup>.K.

No software HAP, utilizando a mesma configuração da parede utilizada para Portugal, apenas terá de ser alterada a espessura “*Thickness*” do isolamento, de forma a que o coeficiente global de transferência de calor no programa, seja igual ao valor de referência.

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m <sup>2</sup> .K/W	Weight kg/m <sup>2</sup>
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Estuque	15,000	1100,0	1,00	0,02600	16,5
Tijolo Furado 15cm	150,000	800,0	1,00	0,39000	120,0
XPS	35,400	40,0	1,00	0,95580	1,4
Espaço de ar	100,000	1,0	1,00	0,18000	0,1
Tijolo Furado 11cm	110,000	800,0	1,00	0,27000	88,0
Reboco Tradicional	15,000	2100,0	1,00	0,00830	31,5
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	425,400			2,00	257,5

Overall U-Value: 0.500 W/m<sup>2</sup>.K

Figura 13 - Caracterização da parede exterior para a Grécia

### Alemanha – Berlim

De uma maneira mais simplificada, e utilizando o mesmo documento é possível conhecer os valores de referência para o caso de estudo na Alemanha, mais propriamente para Berlim. Bastando apenas consultar a tabela, disponibilizada no capítulo, do documento mencionado, designado aos valores de referência da Alemanha, e retirar esses dados de forma direta. (Eduardo Maldonado, 2015)

Tabela 7 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Alemanha para os vários elementos do edifício (Eduardo Maldonado, 2015)

Component	Reference design / value	2nd requirement
Strengthening factor January 2016	$Q_{p,max,2016} = 0.75 \cdot Q_{p,ref,2009}$	$H'_{T,max,2016} = 1.0 \cdot H'_{T,ref,2009}$
Reference 2009		
External walls, Floors	$U = 0.28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$H'_{T,max,2009} \cong 1.25 \cdot H'_{T,ref,2009}$  [requirement 2009 is legally defined by tabled values according to situation and size of the building]
Floor, basement structural element	$U = 0.35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	
Roof, upper ceiling	$U = 0.20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	
Windows incl. French windows	$U = 1.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Skylight $U = 1.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )	
Entrance doors	$U = 1.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	
Boilers	Condensing boilers	Requirements for pipe insulation and controls
Hot water	Central, with solar system	
Cooling	None	Thermal protection in summer
Ventilation	Central exhaust fan, demand-controlled	large systems: $SFP_{max}$ , heat recovery

As paredes exteriores de referência na Alemanha tomam coeficientes globais de transferência de calor um pouco inferiores em comparação com os da Grécia, pois devido às temperaturas mais baixas que ocorrem na Alemanha, as paredes têm de possuir um melhor isolamento, reduzindo ao máximo as perdas de energia através das paredes para o meio ambiente. O coeficiente global de transferência de calor para as paredes em contacto com o exterior do edifício é de  $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . (Eduardo Maldonado, 2015)

Aplicando a mesma metodologia de preenchimento da caracterização da parede exterior no programa, que foi utilizada nos casos anteriores, neste caso proceder-se-á da mesma forma, aumentando o valor da espessura de isolamento até o coeficiente global de transferência de calor ser idêntico ao de referência.

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Ht. kJ/kg·K	R-Value m <sup>2</sup> ·K/W	Weight kg/m <sup>2</sup>
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Estuque	15,000	1100,0	1,00	0,02600	16,5
Tijolo Furado 15cm	150,000	800,0	1,00	0,39000	120,0
XPS	93,800	40,0	1,00	2,53260	3,8
Espaço de ar	100,000	1,0	1,00	0,18000	0,1
Tijolo Furado 11cm	110,000	800,0	1,00	0,27000	88,0
Reboco Tradicional	15,000	2100,0	1,00	0,00830	31,5
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	483,800			3,58	259,9

Overall U-Value: 0,280W/m<sup>2</sup>·K

Figura 14 - Caracterização da parede exterior para a Alemanha

## Finlândia – Helsínquia

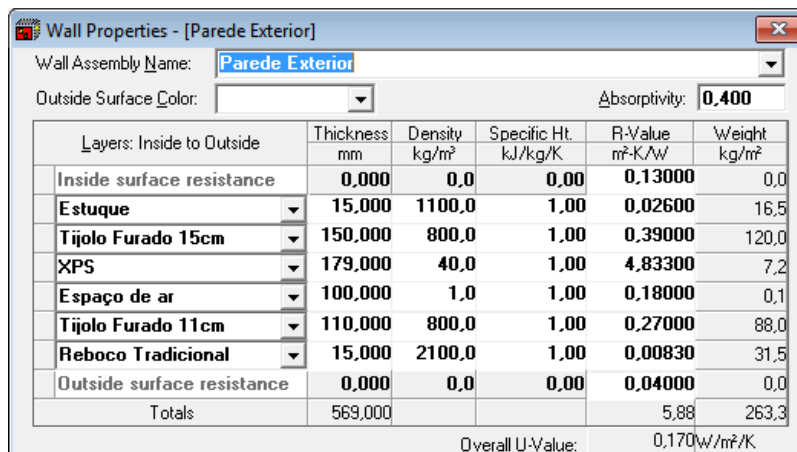
O último caso de estudo refere-se à cidade de Helsínquia, na Finlândia, onde as temperaturas são muito mais baixas do que em qualquer outro caso de estudo apresentado. Dito isto, é normal que os coeficientes globais de transferência de calor sejam também os mais baixos, de todos. Repetindo o mesmo procedimento, dos dois casos anteriores, consulta-se o capítulo referente à Finlândia no documento, para encontrar os valores de referência para as paredes exteriores.(Eduardo Maldonado, 2015)

Tabela 8 - Coeficientes globais de transmissão de calor de referência da Finlândia para os vários elementos do edifício(Eduardo Maldonado, 2015)

U-values for building components W/(m <sup>2</sup> .K)	1976	1978	1985	2003	2007	2010	2012
Walls	0.4	0.29	0.28	0.25	0.24	0.17	0.17
Roof	0.35	0.23	0.22	0.16	0.15	0.40 logwall	0.40 logwall
Floor	0.40	0.40	0.36	0.25	0.24	0.09	0.09
Windows	2.1	2.1	2.1	1.4	1.4	0.09/0.16/0.17 <sup>(1)</sup>	0.09/0.16/0.17 <sup>(2)</sup>
Doors	0.7	0.7	0.7	1.4	1.4	1.0	1.0
<b>Other base values</b>							
n <sub>50</sub> -value	6	6	6	4	4	2	q <sub>50</sub> <sup>(3)</sup> =4
Annual efficiency for heat recovery systems	0	0	0	30%	30%	45%	45%
Maximum values for energy consumption kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> .year E-value							Based on building type <sup>(4)</sup>

Como se trata de um caso de estudo para um edifício de referência novo, faz mais sentido usar-se os valores de referência mais atualizados possíveis, como se tem feito para todos os outros casos. Os valores mais recentes de referência publicados para a Finlândia são datados de 2012, logo serão estes que se irão utilizar para caracterizar os vários elementos do edifício.

Dito isto, o U<sub>ref</sub> das paredes em contacto com o exterior de um edifício localizado na Finlândia é de 0,17 W/m<sup>2</sup>.K.(Eduardo Maldonado, 2015)



Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Ht. kJ/kg.K	R-Value m <sup>2</sup> .K/W	Weight kg/m <sup>2</sup>
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Estuque	15,000	1100,0	1,00	0,02600	16,5
Tijolo Furado 15cm	150,000	800,0	1,00	0,39000	120,0
XPS	179,000	40,0	1,00	4,83300	7,2
Espaço de ar	100,000	1,0	1,00	0,18000	0,1
Tijolo Furado 11cm	110,000	800,0	1,00	0,27000	88,0
Reboco Tradicional	15,000	2100,0	1,00	0,00830	31,5
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	569,000			5,88	263,3
Overall U-Value:				0,170W/m <sup>2</sup> .K	

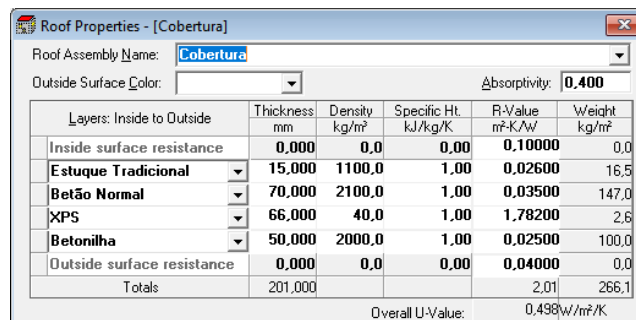
Figura 15 - Caracterização da parede exterior para a Finlândia

### 3.3.2. Cobertura

#### Portugal - Lisboa

Pela tabela 5, anteriormente apresentada, e pela mesma referência da zona climática admitida há pouco, é possível saber qual o valor de referência do coeficiente global de transferência de calor para a cobertura, sendo este, um plano horizontal exterior.

Tendo o  $U_{ref} = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ , para a cobertura, resta consultar o documento ITE50 e pesquisar pelas propriedades de cada constituinte presente na cobertura, ficando esta com a seguinte constituição. (Santos& Matias,2006)



Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m²·K/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,10000	0,0
Estuque Tradicional	15,000	1100,0	1,00	0,02600	16,5
Betão Normal	70,000	2100,0	1,00	0,03500	147,0
XPS	66,000	40,0	1,00	1,78200	2,6
Betonilha	50,000	2000,0	1,00	0,02500	100,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	201,000			2,01	266,1

Overall U-Value: 0,498 W/m²/K

Figura 16 - Caracterização da cobertura

De salientar, que mais uma vez foi necessário ir aumentando o valor da espessura do isolamento, de forma até obtermos um valor parecido à referência de  $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ .

Este tipo de cobertura apenas está presente no corredor do restaurante do piso 0, o qual liga o restaurante à zona dos quartos e na cobertura da zona técnica da piscina. Todas as outras coberturas do edifício serão mencionadas mais a diante deste documento, no subcapítulo Partitions, onde serão explicadas com maior pormenor.

#### Grécia – Atenas

Respeitando na mesma a zona climática em que Atenas se insere, o coeficiente global de transferência de calor de referência é de  $0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , valor disponibilizado na tabela 6.

#### Alemanha – Berlim

Pela tabela 7, poderá encontrar-se também o valor de referência para as coberturas dos edifícios, sendo este  $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

### Finlândia – Helsínquia

Para a Finlândia, o coeficiente global de transferência de calor é de  $0,09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , valor este, disponibilizado pela tabela 8, para edifícios de 2012 em diante.

### **3.3.3. Envidraçados**

#### Portugal - Lisboa

Da mesma forma que os dois últimos valores de referência foram descobertos, para os envidraçados é tido em conta o mesmo processo. Desta feita, o valor do coeficiente global de transmissão de calor dos vãos envidraçados exteriores de referência é de  $4,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ .

Para os envidraçados ainda é necessário definir quais as suas dimensões e os seus coeficientes de sombreamento. O valor do coeficiente de sombreamento é o mesmo para todos os envidraçados, pois estes pertencem à mesma zona climática do edifício. Visto que, a zona climática de verão do edifício é V2, consultando a tabela I.10 do Anexo I da Portaria nº. 17-A/2016 de 4 de Fevereiro, obtemos o valor de 0,20 para o fator solar dos vãos envidraçados. (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016)

*Tabela 9 - Fator solar dos vãos envidraçados de referência*

	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Fator solar do vão (sem dispositivos de sombreamento)	0,25	0,20	0,15

Com este valor de fator solar, é necessário de seguida recorrer à seguinte expressão matemática, de forma a calcular o coeficiente de sombreamento do vão.

$$Coeficiente_{sombreamento} = \frac{Fator\ Solar}{0,87}$$

Usando a fórmula apresentada e o fator solar estipulado, o valor do Coeficiente de sombreamento dos vãos envidraçados para o edifício de referência é de 0,23.

Tendo todos os valores necessários estimados, é possível preencher no software HAP, o separador referente aos vãos envidraçados com as suas características.

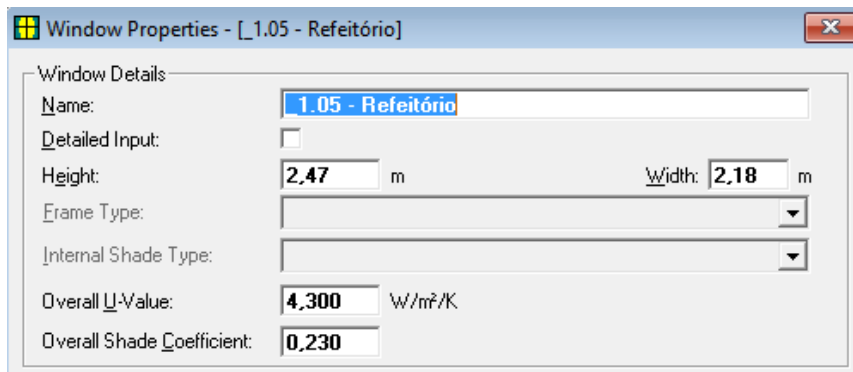


Figura 17 - Características do vão envidraçado do Refeitório para Portugal

Foram admitidos 7 tipos de vãos envidraçados em todo o edifício, desiguando entre eles apenas nas suas dimensões.

Window	Overall U-va...	Overall Shade Coef...
<New default Window>		
_1.05 - Refeitório	4,300	0,230
_1.10 - Circulação	4,300	0,230
_1.12 - Ginásio	4,300	0,230
Bar	4,300	0,230
Bar Pequenas	4,300	0,230
Gab. Contabilidade	4,300	0,230
Quarto	4,300	0,230

Figura 18 - Vãos envidraçados do edifício

## Grécia – Atenas

Na tabela utilizada para admissão de todos os outros coeficientes de transferência da Grécia, é possível também encontrar o valor para os envidraçados. O valor de referência encontra-se na intersecção da linha “Openings” que se refere aos envidraçados com a coluna da zona climática correspondente (Zona climática B). O coeficiente global de transferência de calor de referência para os envidraçados encontrado é de  $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Em relação ao coeficiente de sombreamento para este caso de estudo e os seguintes, foi tido em consideração o mesmo valor que foi admitido para o caso de estudo em Portugal, visto não ter sido encontrada documentação acerca dos valores de fator solar para os países considerados.

Dito isto, a configuração dos envidraçados no software utilizado apenas difere no seu valor de  $U_{ref}$ .

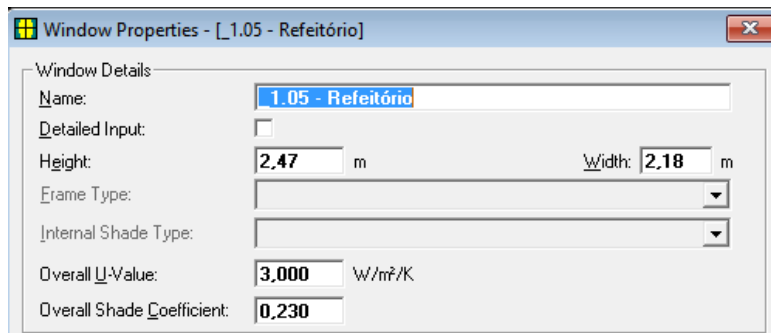


Figura 19 - Características do vão envidraçado do Refeitório para a Grécia

### Alemanha – Berlim

Da mesma tabela que são retirados os valores de referência, neste caso para a Alemanha, retira-se o valor de  $U_{ref} = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Sendo este o valor a ser inserido no HAP, no separador “Window”, no espaço que se refere ao valor do U.

### Finlândia – Helsínquia

Para a Finlândia, o coeficiente global de transferência de calor de referência é de  $1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , valor disponibilizado pela tabela 8.

#### **3.3.4. Palas de sombreamento**

Visto que através da planta é perceptível a existência de inúmeras palas de sombreamento, estas terão de ser tidas em conta, embora segundo a legislação, nos edifícios de referência, as mesmas não o sejam. Isto faz-se devido à intenção de estudar o edifício de referência com algumas características o mais próximas possível da sua realidade. Após uma análise das plantas do edifício é possível retirar todas as medidas necessárias para a caracterização das palas no software HAP.

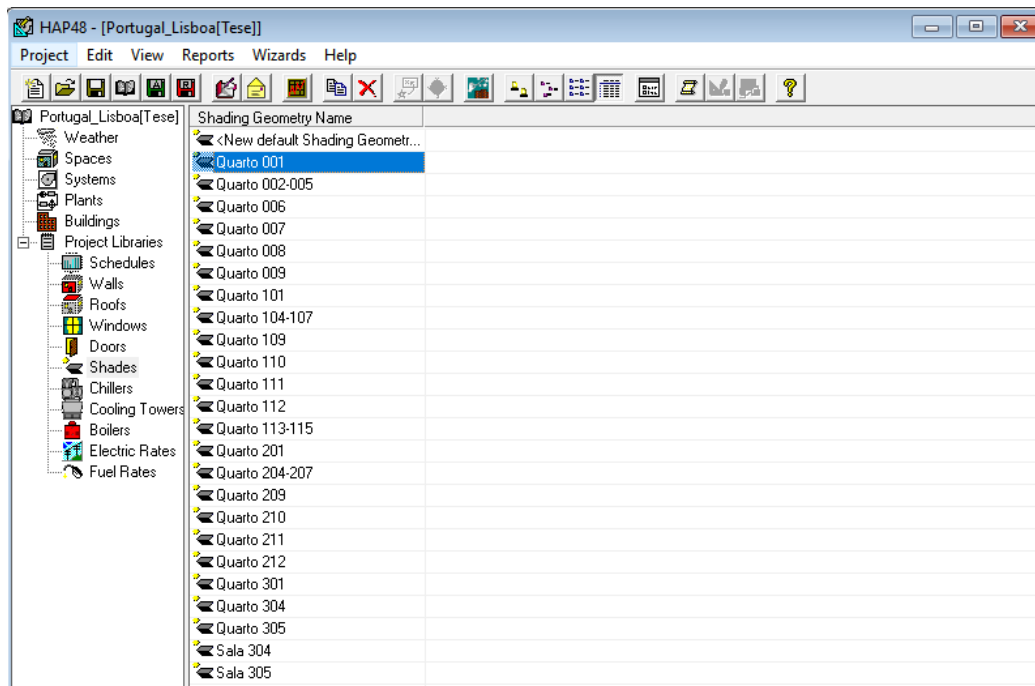


Figura 20 - Lista de palas de sombreamento

Para a caracterização das palas são necessárias algumas medidas, tais como, a distância entre a pala e a janela, a altura da pala, a sua profundidade, etc., como a seguir é demonstrado em um exemplo para o vão envidraçado do quarto 001.

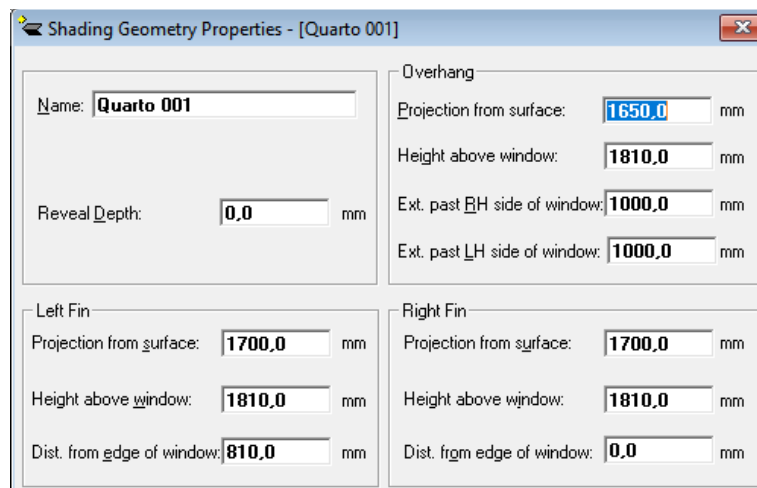


Figura 21 - Característica das palas presentes no vão do quarto 001

Todas as medidas são possíveis de ser retiradas através do desenho das plantas do edifício.

De notar, que este separador sendo dedicado à parte mais arquitetónica do edifício, em todos os casos de estudo, os valores serão todos idênticos, pois o edifício não difere na sua arquitetura nos diferentes países.

### 3.3.5. Pavimentos

Neste separador tem lugar a colocação das condições em que o chão do espaço a que se refere está. Este pode estar sobre um espaço climatizado, no qual não ocorrem quaisquer trocas de calor entre os dois espaços, também pode estar sobre um espaço não climatizado, onde se tem de enumerar algumas especificações do ar interior de ambos os espaços como se pode ver na imagem apresentada de seguida.

Portugal - Lisboa

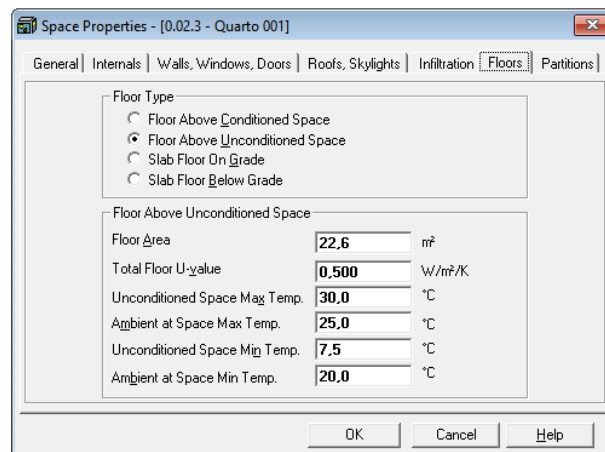


Figura 22 - Separador Floors - Floor Above Unconditioned Space

Como se pode ver pela Figura 17, são alguns parâmetros que é necessário colocar. Os parâmetros são:

- Área do pavimento – Esta é a área do chão que está sobre o espaço não climatizado, podendo este valor ser à área total do pavimento do espaço, ou menor.
- Coeficiente Global de transferência de calor – Valor do coeficiente global de transferência de calor de referência para elementos opacos horizontais interiores para a zona climática II, para o caso de estudo em Lisboa.
- Temperatura máxima e mínima do espaço não condicionado – Para estes dois valores é necessário recorrer à seguinte fórmula matemática, para os seus cálculos:

$$T_{uncond. Space} = T_{int. Proj} - [b_{tr} \times (T_{int. Proj} - T_{ext})]$$

O  $T_{int. Proj}$  é a temperatura de projeto que queremos obter no interior dos nossos espaços climatizados, sendo para o Verão a temperatura de 25°C e para o Inverno 20°C. O índice  $b_{tr}$  indica o coeficiente de redução de perdas, que pode ser determinado através do Despacho 15793-K acerca dos parâmetros térmicos. Para

espaços interiores ao edifício, foi admitido o valor de 0,8. Por fim as temperaturas exteriores ( $T_{ext}$ ) são as temperaturas máxima, na estação mais quente, e mínima, da estação mais fria, para o local para onde se projeta o edifício. (Despacho nº15793-K de 3 de Dezembro do Ministério da Agricultura, Peixes e Alimentação, 1989

Tabela 10 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo de Portugal

Portugal - Lisboa			
	Inverno	Verão	
Text (SCE)	4,4	31,2	
	Inverno	Verão	
Tint (Proj)	20	25	
Btr	0,8		
	Inverno	Verão	
Text (SCE)	4,4	31,2	
	Inverno	Verão	
Tint (Proj)	20	25	
Btr	1		

	Inverno	Verão
Tunc	7,52	29,96

Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)

	Inverno	Verão
Tunc	4,4	31,2

Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climaticamente condicionados (btr=1)

- Temperaturas máximas e mínimas ambiente – São as temperaturas máxima e mínimas que utilizamos para o cálculo da temperatura dos espaços não climatizados.

Por último, existe a opção de o chão estar abaixo do terreno. Isto acontece quando os espaços estão semi ou totalmente enterrados, a um nível abaixo do terreno. Para esta opção é necessário determinar:

- Área do pavimento em contacto com o solo;
- Perímetro do pavimento que se encontra em contacto com o solo;
- Coeficiente global de transferência de calor do pavimento, também determinado pela Portaria nº. 17-A/2016 de 4 de Fevereiro, para superfícies opacas horizontais para a zona climática II;
- A profundidade a que o chão se encontra em relação à superfície do terreno;
- Coeficiente global de transferência de calor para as paredes, sendo estas superfícies opacas verticais.

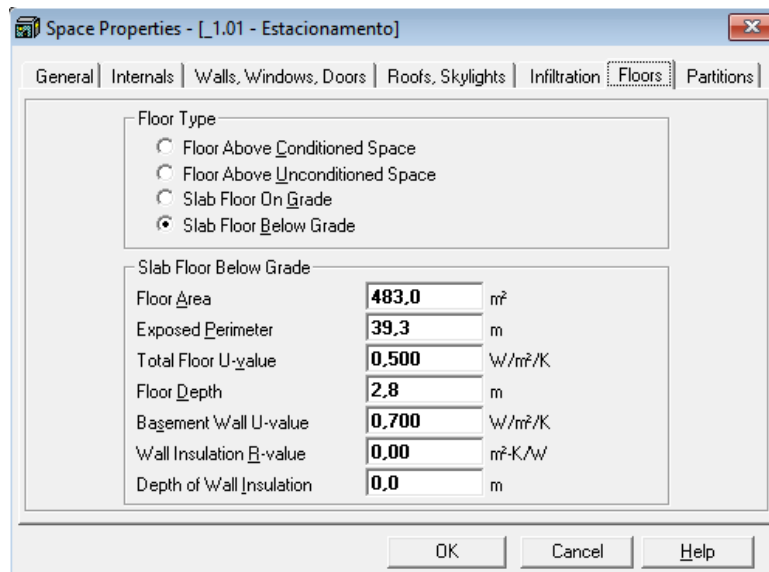


Figura 23 - Separador Floors - Slab Floor Below Grade

### Grécia – Atenas

No caso de estudo referente à Grécia, diferenciam-se os valores de coeficiente global de transferência de calor de referência do chão e da parede e as temperaturas máxima e mínima ambiente e dos espaços interiores ao edifício não climatizados. O  $U_{ref}$  para o chão é de  $0,45 W/m^2.K$  e da parede é de  $1 W/m^2.K$ . A temperatura ambiente máxima da Grécia é de  $33,9^{\circ}C$  e mínima de  $1,1^{\circ}C$ , temperaturas retiradas do software HAP, do separador “Weather”.

Visto que as temperaturas ambiente são diferentes das do caso anterior, as temperaturas dos espaços não climatizados também serão diferentes, embora os valores de coeficiente de redução de perdas serem iguais.

Tabela 11 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Grécia

Grécia - Atenas		
	Inverno	Verão
Text	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tunc	4,88	32,12
	Inverno	Verão
Tint (Projé)	20	25
Btr	0,8	
Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)		
	Inverno	Verão
Text	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tunc	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tint (Projé)	20	25
Btr	1	
Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climatericamente condicionados (btr=1)		

Para  $b_{tr} = 0,8$  a temperatura máxima do espaço não climatizado é de  $32,12^{\circ}\text{C}$  e mínima de  $4,88^{\circ}\text{C}$ . No caso de  $b_{tr} = 1$  as temperaturas são  $33,9^{\circ}\text{C}$  de máxima e  $1,1^{\circ}\text{C}$  de mínima.

#### Alemanha – Berlim

Os mesmos valores que diferem entre o caso de estudo de Portugal e Grécia, para o caso da Alemanha acontecerá o mesmo. As temperaturas máximas e mínimas ambiente são de novo retiradas do *software* HAP e todas as outras temperaturas calculadas pela mesma fórmula matemática. Os  $U_{ref}$  tanto das paredes com do chão foram retirados da tabela 7, sendo o  $U_{ref}$  do chão de  $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , tal e qual o mesmo valor admitido para  $U_{ref}$  da parede.

A temperatura mínima do ambiente exterior ao edifício é de  $-11,7^{\circ}\text{C}$  e de máxima é de  $30^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas de projeto para o interior dos espaços climatizados não são modificadas entre os vários casos de estudo.

Por fim, segue-se o cálculo das temperaturas dos espaços não climatizados, novamente através da mesma fórmula representada no subcapítulo referente a Portugal.

Tabela 12 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Alemanha

Alemanha - Berlim		
	Inverno	Verão
Text	-11,7	30
	Inverno	Verão
Tint (Proj)	20	25
Btr	0,8	
	Inverno	Verão
Text	-11,7	30
	Inverno	Verão
Tint (Proj)	20	25
Btr	1	

	Inverno	Verão
Tunc	-5,36	29

Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)

	Inverno	Verão
Tunc	-11,7	30

Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climatericamente condicionados (btr=1)

Para o estudo na cidade de Berlim, na Alemanha, as temperaturas dos espaços não climatizados do interior do edifício é de  $-5,36^{\circ}\text{C}$  de temperatura mínima e de  $29^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima, correspondentes ao valor de 0,8 de  $b_{tr}$ . Para situação de  $b_{tr}$  ser igual a 1, os valores serão iguais aos da temperatura máxima e mínima do ambiente exterior ao edifício.

### Finlândia – Helsínquia

Por fim, resta-nos referir os valores considerados de temperaturas para o caso de estudo da Finlândia. Este país, estando inserido num clima nórdico, as suas temperaturas máximas e mínimas serão as mais baixas entre todos os casos de estudo abordados até agora. Para que as necessidades de aquecimento do edifício não sejam exageradas, no caso deste país, os coeficientes globais de transferência de calor serão os mais baixos, pois o isolamento terá de ser mais espesso que nos outros casos, como já foi confirmado na determinação dos  $U$ 's das paredes exteriores e coberturas.

Os valores de  $U_{ref}$  admitidos para o chão e paredes estão demonstrados pela tabela 8, sendo para as paredes  $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e para para o chão também  $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

A temperatura máxima ambiente neste caso de estudo  $26,1^{\circ}\text{C}$  e a temperatura mínima é de  $-23,9^{\circ}\text{C}$ .

Dito isto, só falta determinar as temperaturas nos espaços não climatizados do edifício.

Tabela 13 - Temperatura dos espaços não climatizados no caso de estudo da Finlândia

Finlândia - Helsinquia		
	Inverno	Verão
Text	-23,9	26,1
	Inverno	Verão
Tint (Proj)	20	25
Btr	0,8	
	Inverno	Verão
Text	-23,9	26,1
	Inverno	Verão
Tint (Proj)	20	25
Btr	1	

	Inverno	Verão
Tunc	-15,12	25,88

Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)

	Inverno	Verão
Tunc	-23,9	26,1

Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climatericamente condicionados (btr=1)

Para o coeficiente redução de perdas de 0,8 as temperaturas dos espaços onde não existe qualquer controlo da temperatura é de -15,12°C de mínima e 25,88°C de máxima. Por fim, para os espaços fortemente ventilados, as temperaturas máximas e mínimas dos espaços não climatizados são de igual valor à temperatura do ambiente exterior, como não podia deixar de ser.

### 3.3.6. Envolventes interiores

O separador Partitions refere-se aos tetos ou paredes que se encontram em contacto com espaços não climatizados. Neste separador temos de voltar a determinar:

- Área da parede ou teto em contacto com o espaço não climatizado;
- Coeficiente global de transferência de calor de referência da superfície opaca vertical, no caso da parede, e da superfície opaca horizontal, no caso do teto;
- Temperatura máxima e mínima do espaço não climatizado, calculado da mesma forma que o subcapítulo anterior;
- Temperatura máxima e mínima de projeto, também as mesmas adotadas no subcapítulo anterior.

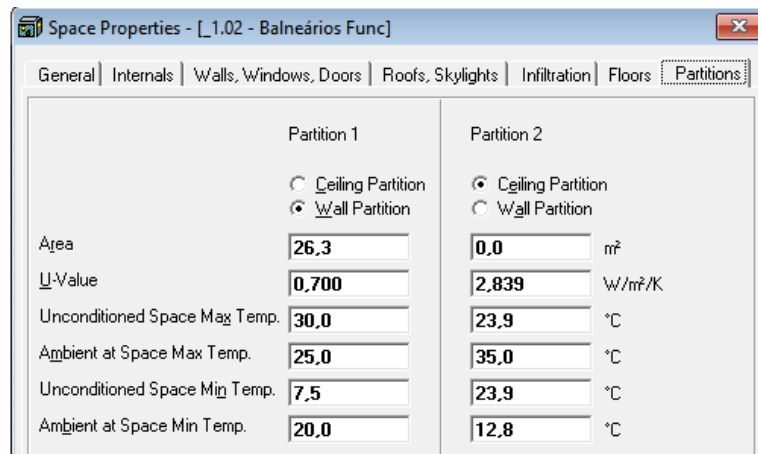


Figura 24 - Separador Partitions - Wall Partition

É importante salientar que quando se trata do teto em contacto com o espaço que fica entre o telhado e o teto, é admitido que o mesmo se encontra como um desvão fortemente ventilado, ou seja, o coeficiente de redução de perdas ( $b_{tr}$ ) toma valor 1. Sendo assim, a temperatura que se encontra no desvão é a mesma da temperatura ambiente exterior.

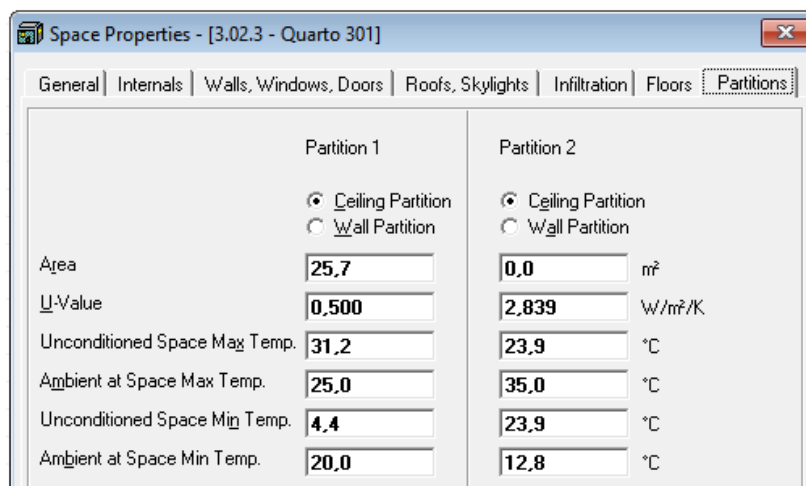


Figura 25 - Separador Partitions - Ceiling Partition

Para todos os outros casos de estudo utilizou-se os valores de referência no que toca aos coeficientes globais de transferência de calor. Em termos de temperaturas ambiente e dos espaços não climatizados para cada caso de estudo é necessário considerar o local em que cada caso de estudo se insere e usar os valores relativos a cada caso.

### 3.3.7. Separador Paredes Exteriores, Janelas e Portas

Com os dados todos conhecidos acerca da configuração do edifício e impostos no software HAP, segue-se o preenchimento do separador *Walls, Windows, Doors*. Neste separador irão ser implementadas as áreas das superfícies exteriores verticais de cada

espaço, como o tipo de constituintes que as configuram, como janelas, portas, o tipo de parede e os sombreamentos.

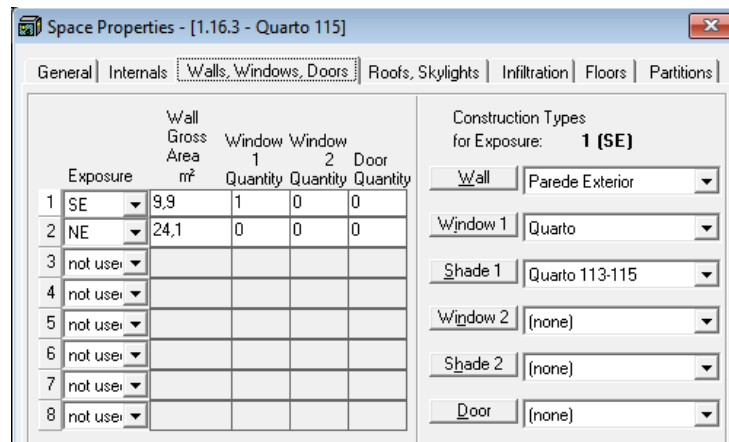


Figura 26 - Separador Walls, Windows, Doors

Pegando no exemplo do quarto nº 115, este possui duas paredes em contacto com o exterior, uma virada para Sudeste e outra para Nordeste. Note-se, ao consultar a planta do edifício, que a parede Sudeste possui uma janela, considerada como janela de quarto, janela na qual já foi definida no separador *Windows*, e um sombreamento, também já definido no separador *shades*.

Para todos os outros espaços que possuam paredes em contacto com o exterior, terão todas de ser definidas neste mesmo separador, correspondente ao espaço em questão, e preenchidas da mesma forma como explicadas no exemplo anterior.

### 3.3.8. Separador Infiltrações

Neste separador é onde se deverá inserir todas as informações acerca dos caudais de infiltração nos espaços, tanto nas situações de arrefecimento como aquecimento. Estas infiltrações ocorrem derivado da entrada de ar pelas fendas existentes nas janelas, portas e pela abertura e fecho das janelas e portas. Estes valores da infiltração serão usados para os cálculos das cargas sensível e latente para cada espaço.

Para a situação do edifício de serviços em questão, é admitido que o sistema de climatização se encontra dia após dia ligado, fazendo com que o interior do edifício esteja em sobrepressão em relação ao ambiente que o rodeia, não possibilitando assim infiltrações no edifício de ar exterior.

De forma, a que não restem dúvidas acerca da afirmação anterior, foi utilizado uma folha de cálculo produzida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que

possibilita o cálculo dos valores de infiltrações, impondo algumas características arquitetónicas do edifício, da sua localização e dos sistemas de renovação de ar mecânicas. Esta folha de cálculo foi citada no nº3, do ponto 12.1, do despacho nº. 15793-K/2013, e produzida em concordância com o mesmo.

Preenchendo a folha com todos os valores necessários, que em anexo está demonstrada, é gerada a seguinte representação esquemática do funcionamento da ventilação do edifício.

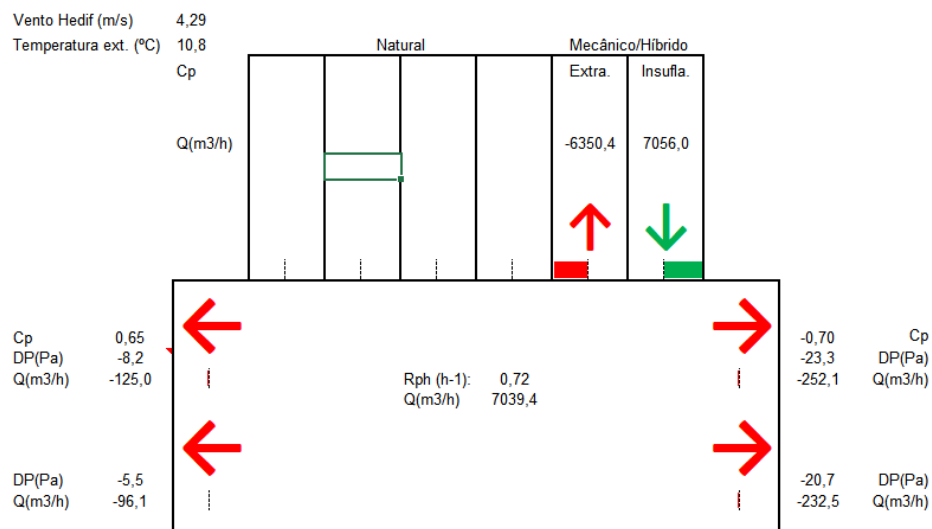


Figura 27 - Esquema de funcionamento da ventilação do edifício

O valor do caudal de insuflação total é conhecido através da soma de todos caudais mínimos de ar novo necessários em cada espaço do edifício, e o valor do caudal de extração é admitido como sendo 90% do caudal de insuflação de ar. Dito isto, e admitindo que o sistema de ventilação funciona 24h por dia, todos os dias, como anteriormente foi referido, ao observar o esquema, poderemos concluir que todas as fontes por onde poderiam ocorrer infiltrações de ar exterior, não acontecem, até pelo contrário, o ar que se encontra no interior do edifício é que sai por estas fendas para o exterior. Isto ocorre devido ao interior do edifício encontrar-se a uma pressão superior à pressão do ambiente exterior, devido ao facto de o sistema de ventilação estar a funcionar sempre e a sua diferença potencial entre a insuflação e a extração ser positiva.

Desta forma, no separador acerca das infiltrações, não teremos de colocar quaisquer valores de infiltrações, ficando todos os espaços preenchidos com o algarismo 0.

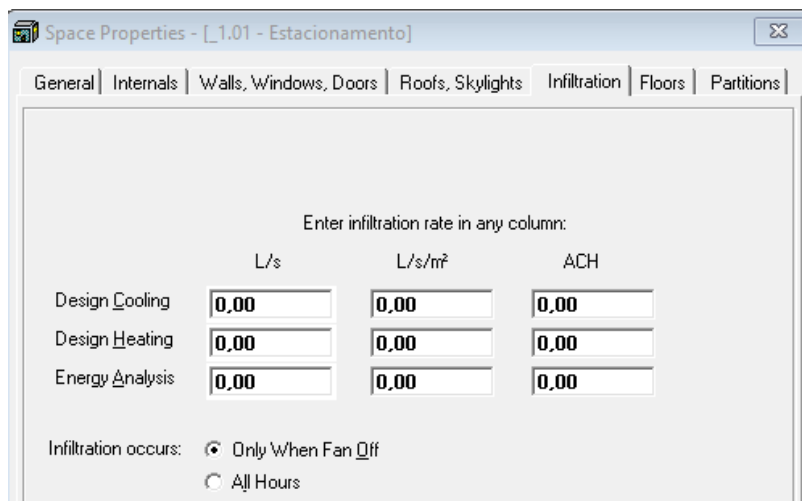


Figura 28 - Separador Infiltration

As conclusões atribuídas no que toca às infiltrações do caso de estudo para Portugal, também foram tidas em consideração para todos os outros casos de estudo elaborados.

### 3.4. Características do sistema de climatização

Neste capítulo irão ser inseridos alguns parâmetros acerca dos sistemas de climatização em estudo para os diferentes países. No que toca às especificações dos sistemas, estas não apresentam muitas diferenças para os diferentes países em estudo. Onde apenas existe diferença, é no facto de para cada país terem sido feitos 2 estudos, um em que o sistema não possui um recuperador de calor nas unidades de tratamento de ar, e no outro possui. Este tipo de estudo, entre a utilização ou não de um recuperador de calor no sistema serve para que seja possível identificar se este é vantajoso no tipo de clima em que se insere, pois pode acontecer que em certos climas, a utilização de um recuperador de calor não é tão benéfica como aparenta.

Devido a constrangimentos que o programa apresentou derivado ao número de espaços em estudo ser mais elevado que o número máximo possível caracterizar num só sistema, foi necessário criar um segundo sistema. Os espaços localizados no piso -1, 0 e 1 foram colocados no sistema referente a estes pisos mencionados, enquanto os espaços localizados nos pisos 2 e 3 foram postos no sistema de climatização que se refere a estes dois últimos pisos. As zonas técnicas e o espaço do estacionamento não entram em nenhuma destas listas, pois são espaços onde não existe preocupação de tratar o ar.

Air System	Type
<New default System>	
Sistema Climatização Piso -1,0,1	4-Pipe Fan Coil
Sistema Climatização Piso 2,3	4-Pipe Fan Coil

Figura 29 - Lista de sistemas de climatização

### 3.4.1. General

Na caracterização dos sistemas, o separador inicial, General, permite ao utilizador caracterizar o sistema quanto ao tipo de equipamento utilizado, que para o caso de estudo se tratam de “Terminal Units”, também designados por ventiloconvectores. No espaço de seguida refere-se o tipo de sistema de ar, que para o caso de estudo se trata de ventiloconvectores a 4 tubos, de forma a que os diferentes espaços possam funcionar em modo aquecimento ou arrefecimento em simultâneo. De seguida caracteriza-se o número de zonas a climatizar referente ao sistema a que lhe é destinado, e por ultimo referir que o sistema de ventilação é comum a todos os ventiloconvectores.

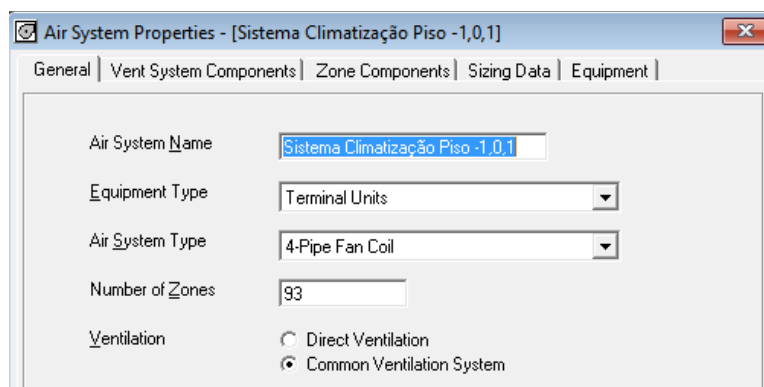


Figura 30 - Separador General do Sistema de climatização -1, 0, 1

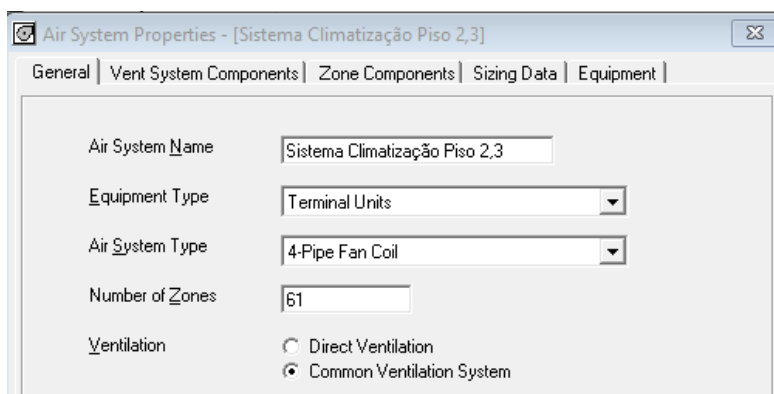


Figura 31 - Separador General do Sistema de climatização 2, 3

### 3.4.2. Componentes do sistema de ventilação

Como foi dito no início do capítulo, para os casos de estudo existiram dois tipos de sistema, um sem recuperador de calor e outro com recuperador. Dito isto, será neste separador em que teremos de caracterizar se o sistema será provido de recuperador de calor ou não, isto bastando selecionar o botão “Ventilation Reclaim” e definir algumas propriedades do mesmo, como será explicado mais à frente.

Em primeiro lugar define-se as propriedades acerca da ventilação do sistema. É admitido que o controlo de caudal de ar é constante.

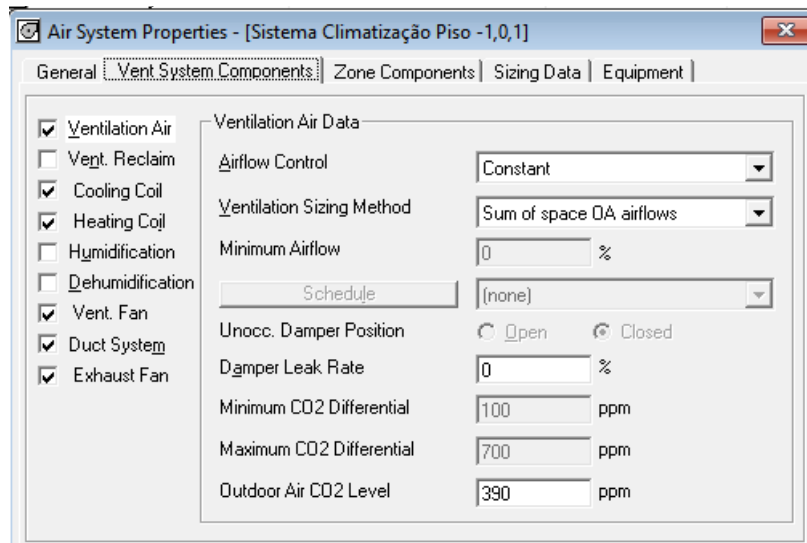


Figura 32 – Componente Ventilation Air

Agora sim, quanto ao recuperador de calor, o botão “*Ventilation Reclaim*” terá de se encontrar selecionado, caso o estudo seja com o mesmo. Na situação em que o estudo tenha recuperador de calor, este terá de recuperar tanto a parte sensível como a latente do ar extraído dos espaços. O valor do rendimento térmico do recuperador é de 70%, valor de referência. Para que o recuperador de calor, sendo este uma roda térmica, é necessário um pequeno motor para que esta, possa se movimentar em movimentos circulares muito lentamente, proporcionando a trocas de calor sensível e latente entre fluídos. Dado a necessidade desse pequeno motor, o equipamento induz um pequeno ganho de carga térmica durante o seu funcionamento. De forma a contabilizar esse ganho, teremos de inserir a potência do respetivo motor, que para o presente estudo, o valor admitido é de 20 Watts. Para finalizar este processo, é necessário estipular quais os meses do ano recuperador se encontra em funcionamento, tendo sido admitido para esta situação, a utilização do mesmo durante todos os meses do ano.

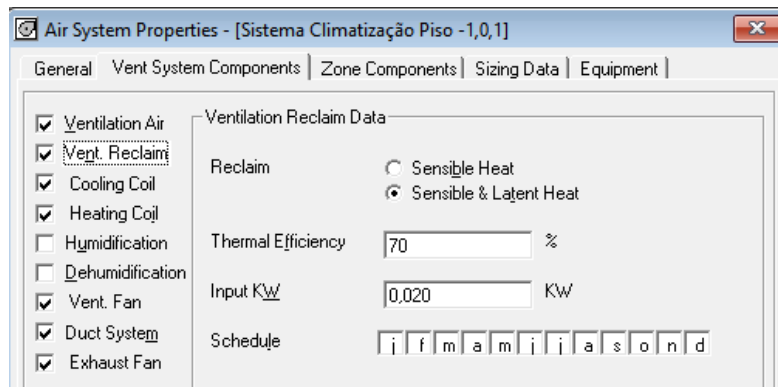


Figura 33 - Componente Ventilation Reclaim

Segue-se a caracterização da bateria de arrefecimento, onde teremos de seleccionar qual a temperatura das baterias “setpoint”, sendo o valor estipulado de 25°C. De seguida o fator de *bypass* da bateria, isto é, a percentagem de ar que passa pela bateria sem que este tenha arrefecido. O valor de referência deste fator de *bypass* é de 10%, valor considerado para os casos de estudo deste presente documento. Por fim, designar qual a fonte de arrefecimento, água arrefecida, e criar um calendário dos meses de utilização do sistema de arrefecimento. Tendo em consideração que o estudo se insere num hotel, onde se pretende proporcionar o conforto térmico a todos os ocupantes é necessário que o sistema de arrefecimento esteja em permanente utilização durante os 12 meses do ano, para que seja possível responder a todas as solicitações dos utilizadores do sistema de climatização.

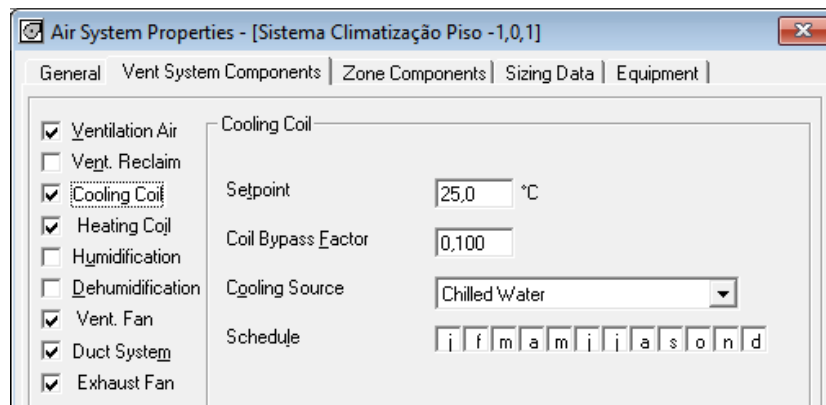


Figura 34 - Componente Cooling Coil

Da mesma forma que foram inseridas as características das baterias de arrefecimento, o mesmo terá de ser feito para as baterias de aquecimento. O valor de *setpoint* atribuído às baterias de aquecimento é de 20°C, a sua fonte de aquecimento é através de água quente. A calendarização de funcionamento do sistema de aquecimento é igual ao estipulado no caso do arrefecimento, derivado das mesmas razões já apresentadas no componente anterior.

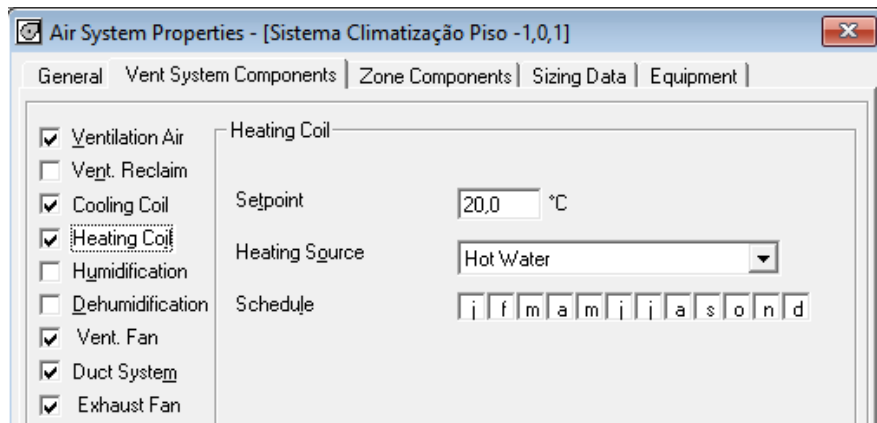


Figura 35 - Componente Heating Coil

Quanto aos ventiladores atribuídos ao caso de estudo, são ventiladores axial de pás viradas para a frente, conseguindo estes uma menor elevação da pressão face aos ventiladores centrífugos, mas apresentam uma menor redução da pressão com o aumento do caudal de ar. (Roriz, 2007)

Ainda na caracterização do ventilador, o valor admitido de potência do ventilador é de 1,55 W por litro por segundo de caudal de ar.

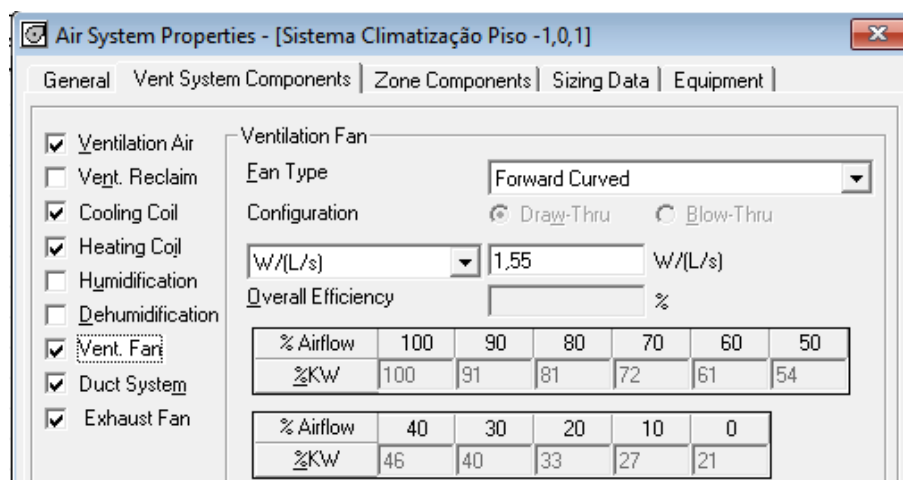


Figura 36 - Componente ventilation Fan

No componente apresentado a seguir, acerca do sistema de condutas da instalação, apenas foi necessário caracterizar que tipo de retorno de ar o sistema provém, se de um sistema em que o ar de retorno é conduzido a um pleno de mistura do ventiloinconvetor ou se é conduzido através de conduta novamente para a unidade de tratamento de ar, de forma a ser extraído para o exterior do sistema. Dada a situação em estudo, onde é exigida alguma preocupação quanto à qualidade do ar interior do edifício, o mais correto é a utilização de

um sistema de extração de ar para o exterior do edifício, sendo neste caso feita uma extração do ar centralizada através da unidade de tratamento de ar.

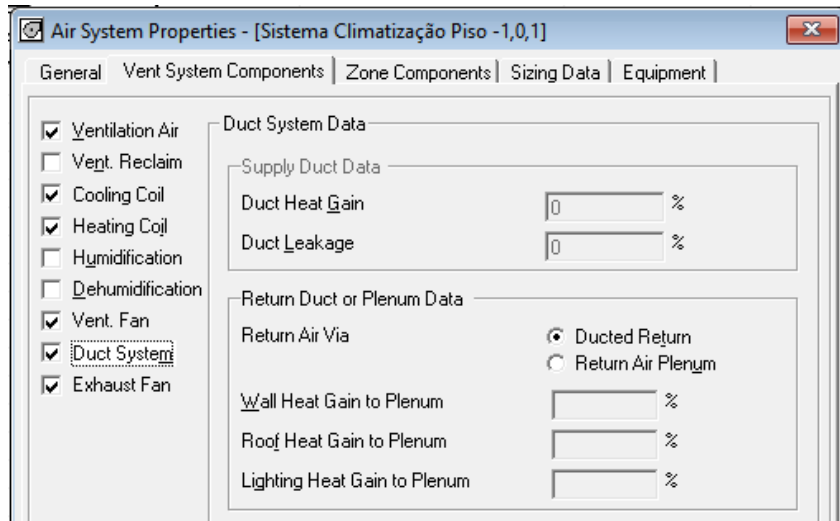


Figura 37 - Componente Duct System

Por último, resta indicar algumas especificações acerca dos ventiladores de extração de ar, da mesma forma que foi feito para os ventiladores de insuflação. O tipo de ventilador e o valor da sua potência são os mesmos já admitidos para os ventiladores de insuflação.

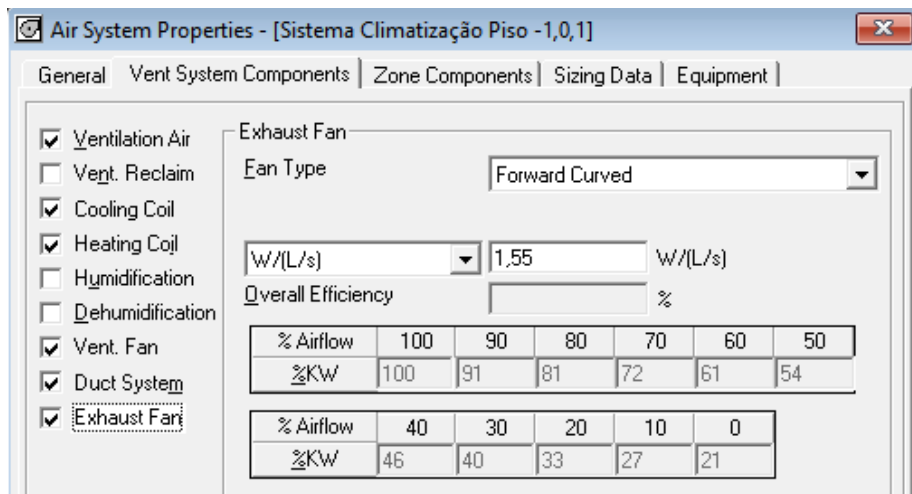


Figura 38 - Componente Exhaust Fan

### 3.4.3. Composição das zonas

Neste ponto, a cada zona do sistema é atribuído um espaço do edifício, devido ao facto de o controlo de temperatura de cada espaço ser feito isoladamente de todos os outros espaços. Como mencionado anteriormente, as zonas técnicas e garagem não são para ser mencionadas nesta atribuição dos espaços às zonas.

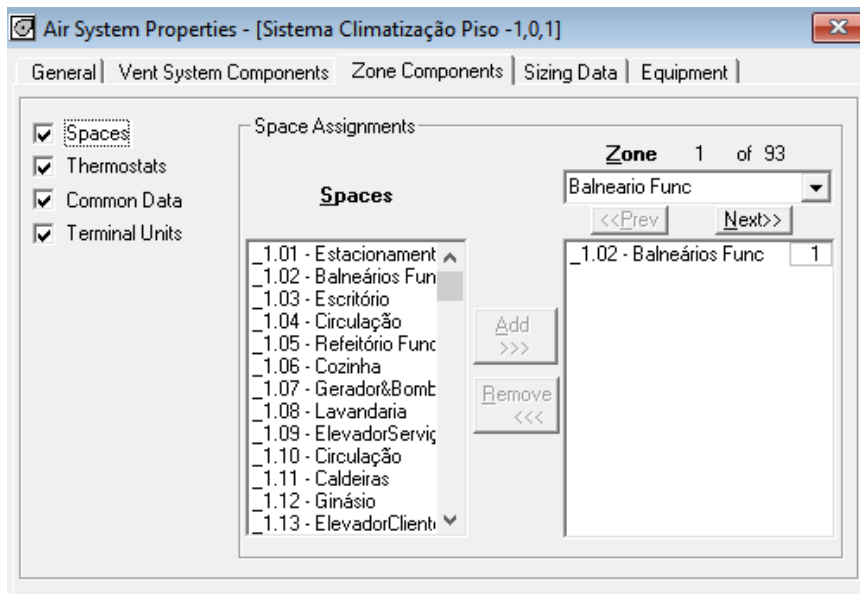


Figura 39 – Opção Spaces

Ao seleccionar o botão *thermostats*, poderão ser configurados as temperaturas de acionamento do sistema de climatização, tanto para o modo de arrefecimento como de aquecimento. Poderá ainda também ser configurado a variação das temperaturas configuradas como *setpoints* do sistema, de forma a evitar que o sistema se encontre sempre arrancar e parar quando chegar ás temperaturas estipuladas anteriormente. Desta forma, dá um intervalo de tempo para que o sistema entre calmamente em funcionamento e pare suavemente, evitando arranques bruscos do sistema. Referente à última parte que falta explicar, é necessário recriar um horário de funcionamento do sistema de climatização, representando algumas horas de picos, horas de vazio e horas em que as utilizações dos equipamentos de climatização são medíocres. Por fim, falta designar o facto de os equipamentos em modo de arrefecimento funcionaram ou não quando os espaços se encontram desocupados.

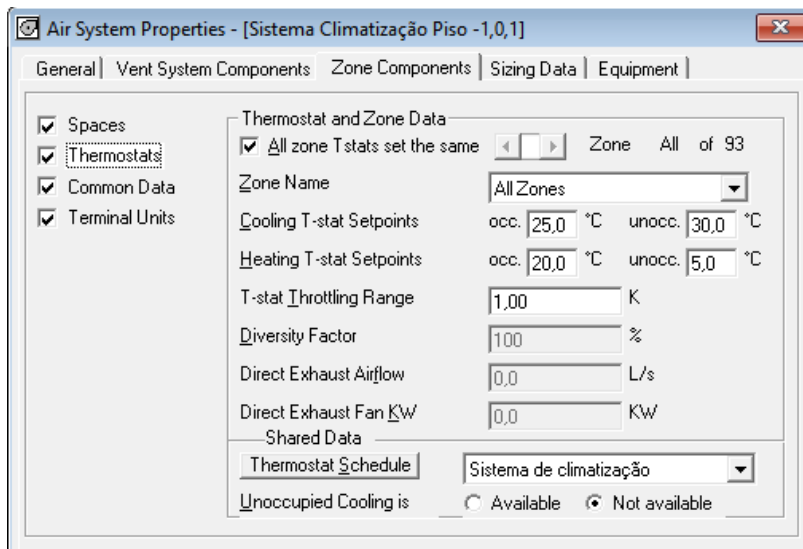


Figura 40 - Opção Thermostats

Segue-se a implementação das temperaturas de insuflação do ar na saída dos ventiloconvectores, que terão de ser mais baixas que o ar do espaço para que este arrefeça, e mais elevada na situação de aquecimento, para que este aqueça. Dito isto, para a situação de arrefecimento, a temperatura admitida de insuflação é de 14,4°C, com o respetivo fator de bypass de 10%, valor já explicado num capítulo anterior, e como fonte de arrefecimento do ar, temos de novo a água arrefecida, como já referida anteriormente. Para o aquecimento, a temperatura de insuflação do ar no espaço é de 35°C, sendo a fonte de calor mais uma vez, a água quente.

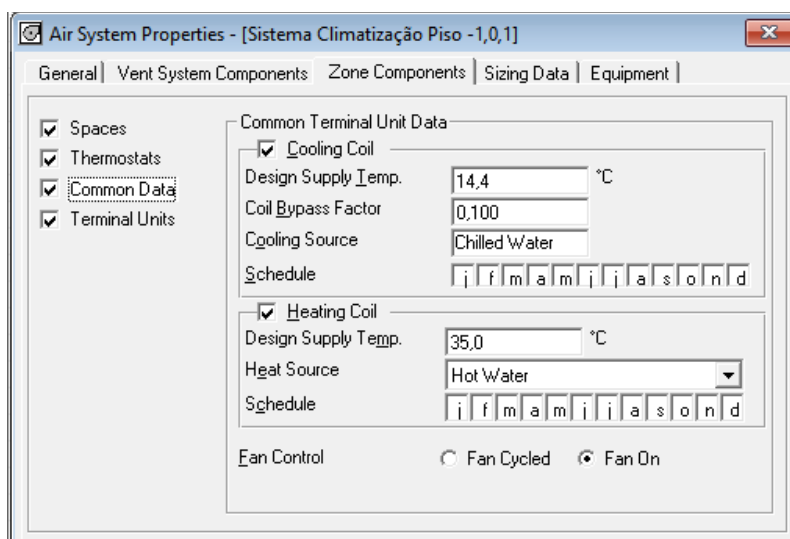


Figura 41 - Opção Common Data

Na opção acerca das unidades terminais, basta completar o espaço acerca da potencia do motor do ventilador, para que a carga térmica que este induz, possa ser contabilizada no

somatório das cargas térmicas e referir que tipo de unidade terminal utilizar-se-á. Para os ventiladores das unidades terminais foi admitida uma potência de 50 W, valor meramente ilustrativo.

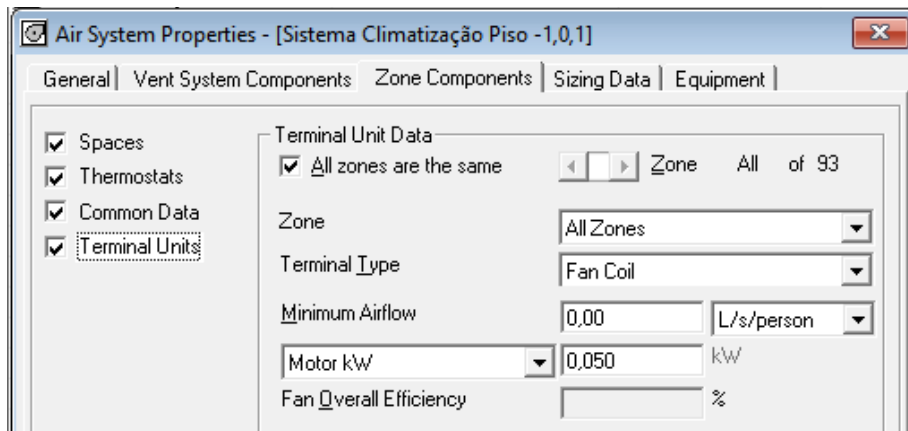


Figura 42 - Opção Terminal Units

#### 3.4.4. Dados de dimensionamento

O separador a seguir apresentado serve para que sejam introduzidas algumas especificações acerca do sistema que vai ser dimensionado. Na opção “System Sizing”, define-se o intervalo de temperaturas para o dimensionamento do caudal de água no sistema de arrefecimento e de aquecimento e os fatores de segurança para o arrefecimento sensível e latente e no aquecimento, valores estes que servem para fornecer alguma segurança durante o dimensionamento dos sistemas. É mostrado ainda algumas informações acerca das temperaturas de insuflação no modo de arrefecimento como no aquecimento, o caudal de ar de insuflação e ventilação.

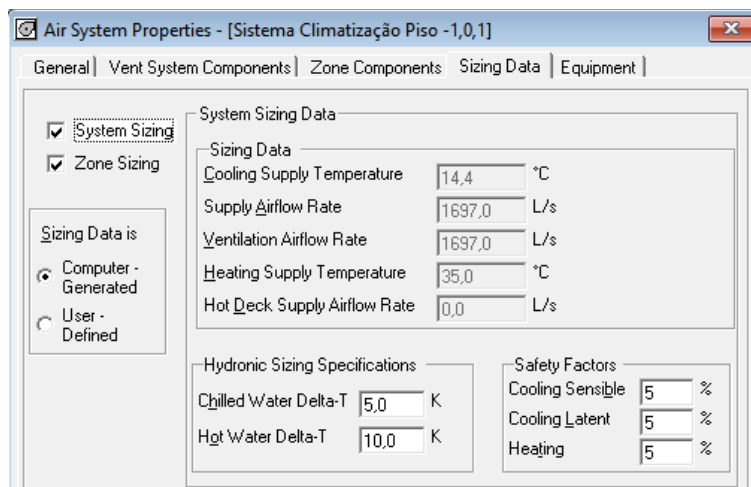


Figura 43 - Opção System Sizing

Concluindo este separador, resta abordar a opção “Zone Sizing”, onde é apresentado algumas informações acerca dos caudais de ar de insuflação e ventilação dos vários espaços. Em ambos os espaços em branco, acerca do método de dimensionamento dos caudais por zona e por espaço, deixa-se as opções predefinidas pelo software de simulação.

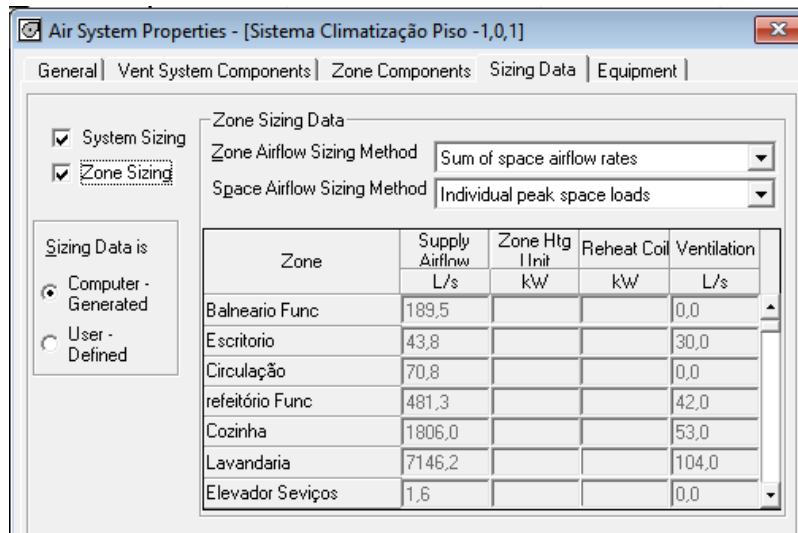


Figura 44 - Opção Zone Sizing

### 3.5. Centrais de produção energia térmica

No capítulo acerca das centrais geradoras de calor ou frio, designada por “plants”, irão ser aplicados, aos casos de estudo, 7 tipos de centrais. Com isto, tenciona-se saber que tipo de central ou conjunto de centrais se tornará mais rentável dependendo do tipo de clima em estudo.

Quanto a centrais de aquecimento mais convencionais, existem 2 tipos de caldeiras. A caldeira a gás, que como o próprio nome indica, utiliza a queima de gás, para o aquecimento de água e a caldeira de biomassa a *pellets*, que a partir da queima de *pellets*, pequenos pedaços de madeira prensada com um alto poder calorífico, aquece a água que pelas serpentinas da caldeira passa. Este último tipo de caldeira é considerado uma fonte de energia renovável, visto a sua queima não emitir quaisquer gases prejudiciais à atmosfera.

No âmbito das centrais de arrefecimento convencionais, utilizar-se-á para um dos casos de estudo, uma unidade produtora de água fria, também designado por chiller.

Os outros 4 tipos de centrais, tratam-se de equipamentos que tanto podem gerar água fria como água quente. No caso da bomba de calor aerotérmica, designado por Chiller/BC na lista abaixo, esta consegue produzir tanto água fria como quente, mas não em simultâneo. Como as necessidades de potência de aquecimento são mais elevadas que as de arrefecimento, estes equipamentos têm a necessidade de ser equipados por um dos dois tipos de caldeiras convencionais referenciados anteriormente, para que todas as exigências em termos de climatização e consumo de AQS, sejam correspondidas. Em termos de equipamentos, resta falar do arrefecimento ou aquecimento da água através da geotermia, isto é, através do aproveitamento da energia que o planeta Terra faculta, por intermédio de furos no solo. Na geotermia, como acontece com a utilização das bombas de calor reversíveis, também é necessário, por vezes, algum apoio de um outro meio de produção de água quente. Para tal, foram usados também os dois tipos de caldeiras convencionais já mencionadas.

Plant	Plant Type
<New default Plant>	
Central Aquecimento Gás	Hot Water Plant
Central Aquecimento Pellets	Hot Water Plant
Central Arrefecimento	Chiller Plant
Central Chiller/BC+Caldeira Gás	Changeover Plant
Central Chiller/BC+CaldeiraPelle	Changeover Plant
Central GSHP+Caldeira Gás	Changeover Plant
Central GSHP+Caldeira Pellets	Changeover Plant

Figura 45 - Lista de Centrais de aquecimento e arrefecimento

Mas antes de começar a configurar os vários tipos de centrais é necessário, antes de mais, criar os vários tipos de equipamentos, nos menus a que lhes correspondem, visto serem necessários seleccionar posteriormente na configuração das centrais.

### 3.5.1. Chillers

Acerca dos Chillers, para os casos de estudo planeados, serão necessários serem criados 3 tipos, o chiller convencional, a bomba de calor aerotérmica e a bomba de calor geotérmica.

Para o chiller convencional, no separador “*General*” tem de estar especificado que a função do equipamento é apenas para geração de água fria e que o seu tipo de funcionamento é a Ar - Água, seleccionando-se a opção “*Air-Cooled Packaged Reciprocating*”. No chiller convencional, não se recorre a qualquer torre de arrefecimento para diminuir a temperatura do fluido refrigerante, pois este é do tipo ar – água.

The screenshot shows the 'General' tab of a software interface for configuring a Chiller. The fields are as follows:

- Name: Chiller
- Equipment Function: Chiller (Chilled Water Only)
- Equipment Type: A/C Packaged Reciprocating
- Notes: (Empty text area)
- Data Source: User Input

Figura 46 - Separador General do Chiller

Na situação da bomba de calor aerotérmica, é preciso referir que a função do equipamento tanto pode ser para geração de água fria ou para geração de água quente, selecionando a opção “*Reversible (Hot or Chilled Water)*” e o seu tipo de construção em parafuso, continuando este a funcionar com Ar - Água.

The screenshot shows the 'General' tab of a software interface for configuring an Air-Source Packaged Scroll heat pump. The fields are as follows:

- Name: Chiller+BombaCalor
- Equipment Function: Reversible (Hot or Chilled Water)
- Equipment Type: Air-Source Packaged Scroll
- Notes: (Empty text area)
- Data Source: User Input

Figura 47 - Separador General da Bomba de calor aerotérmica

Por fim, resta referenciar a bomba de calor geotérmica. Neste equipamento a função é a mesma do anterior, mas neste tipo de equipamento, ele funciona a Água-Água, isto é, as trocas de calor são feitas entre dois fluídos na fase líquida.

The screenshot shows the 'General' tab of a software interface for configuring a Ground Source Heat Pump (GSHP). The fields are as follows:

- Name: GSHP
- Equipment Function: Reversible (Hot or Chilled Water)
- Equipment Type: Water-Source Packaged Scroll
- Notes: (Empty text area)
- Data Source: User Input

Figura 48 - Separador General da Bomba de calor geotérmica

Seguindo para o separador “*Design Inputs*”, neste é necessário configurar a temperatura do ar exterior e a temperatura de saída da água no chiller, sendo as mesmas 35°C e 7°C, respetivamente.

Quanto ao Índice de eficiência energética (EER) e ao coeficiente de performance (COP) dos equipamentos, os valores tomados em consideração são os de referência impostos pela Portaria 17-A/2016 a partir da classe de eficiência mínima após 31 de Dezembro de 2015, classificação B. (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016)

Os valores a serem inseridos no espaço acerca do “*Full Load Power*”, será o resultado do inverso do valor admitido do EER, na situação do arrefecimento, e o valor do inverso do COP, na função de aquecimento, caso a máquina também seja provida desta função, como é o caso de ambas as bombas de calor utilizadas. Para o Chiller, o valor de EER estipulado foi de 2,9.

General	Design Inputs	Cooling Performance	Heating Performance
<b>Fluid Temperatures</b>			
Full Load LCHWT: <input type="text" value="7"/> °C			
Full Load OAT: <input type="text" value="35,0"/> °C			
<b>Capacity</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Auto-Size Capacity			
Full Load Capacity: <input type="text" value=""/> kW			
<b>Input Power</b>			
Full Load Power: <input type="text" value="0,345"/> kW/kW			
Average Operating Loss: <input type="text" value="0,0"/> %			
<b>Flow Rates</b>			
Chilled Water Supply: <input type="text" value="0,043"/> L/(s-kW)			
<b>Controls and Features</b>			
Minimum Load: <input type="text" value="20,0"/> %			
DX Free Cooling: <input type="text" value="Not Used"/>			
<input type="checkbox"/> Hot Gas Bypass			

Figura 49 - Separador Design Inputs do Chiller

Na bomba de calor aerotérmica, as temperaturas no modo de arrefecimento mantêm-se iguais, face aos demonstrados anteriormente, mas neste equipamento são inseridos novos dados, os valores acerca da temperatura dos fluídos estando o equipamento em modo aquecimento. A temperatura do fluído que se pretende obter à saída da bomba de calor é de 35°C com uma temperatura do ar exterior a -5°C. O valor de EER estipulado é o mesmo do equipamento anterior, EER de 2,9, e o valor do COP é de 3.

General	Design Inputs	Cooling Performance	Heating Performance
<b>Cooling Mode Fluid Temperatures</b> Full Load LCHWT: <input type="text" value="7,5"/> °C Full Load OAT (Cooling): <input type="text" value="35,0"/> °C		<b>Cooling Mode Flow Rates</b> Chilled Water Supply: <input type="text" value="5,0"/> °K	
<b>Heating Mode Fluid Temperatures</b> Full Load HWST: <input type="text" value="35,0"/> °C Full Load OAT (Heating): <input type="text" value="-5,0"/> °C		<b>Heating Mode Flow Rates</b> Hot Water Supply: <input type="text" value="5,0"/> °K	
<b>Capacity</b> <input checked="" type="checkbox"/> Auto-Size Capacity Full Load Capacity (Cooling): <input type="text"/> kW Full Load Capacity (Heating): <input type="text"/> kW		<b>Controls and Features</b> Minimum Load: <input type="text" value="20,0"/> % DX Free Cooling: <input type="text" value="Not Used"/> <input type="checkbox"/> Hot Gas Bypass	
<b>Input Power</b> Full Load Power (Cooling): <input type="text" value="0,345"/> kW/kW Full Load Power (Heating): <input type="text" value="0,333"/> kW/kW Average Operating Loss: <input type="text" value="0,0"/> %			

Figura 50 - Separador Design Inputs da bomba de calor aerotérmica

Referente, à bomba de calor geotérmica, esta funciona a água – água, logo muitos dos seus valores serão diferentes dos já mencionados. No modo arrefecimento, a temperatura da água fria que se pretende à saída do equipamento, é os mesmos 7°C, mas a temperatura da água à entrada do condensador é de 30°C. Quanto ao modo aquecimento, a temperatura desejada à saída da bomba de calor é de 43°C e a temperatura da água na entrada da bomba de calor é de 7,5°C. O valor do EER e do COP são diferentes, pois este equipamento funciona a água – água, o que é um fator bastante relevante para os desempenhos dos equipamentos. O valor de EER admitido para o cálculo é 4,65 e do COP é de 4, valores de referência considerando a Portaria 17-A/2016 a partir da classe de eficiência mínima após 31 de Dezembro de 2015, classificação B. É importante lembrar que os valores inseridos nos espaços no “Input Power”, são os inversos dos valores admitidos do EER e do COP. (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016)

General	Design Inputs	Cooling Performance	Heating Performance
<b>Cooling Mode Fluid Temperatures</b> Full Load LCHWT: <input type="text" value="7,1"/> °C Full Load ECWT: <input type="text" value="30,0"/> °C		<b>Cooling Mode Flow Rates</b> Chilled Water Supply: <input type="text" value="5,0"/> °K Condenser: <input type="text" value="5,0"/> °K	
<b>Heating Mode Fluid Temperatures</b> Full Load HWST: <input type="text" value="43,0"/> °C Full Load EWT: <input type="text" value="7,5"/> °C		<b>Heating Mode Flow Rates</b> Hot Water Supply: <input type="text" value="5,0"/> °K Source Water: <input type="text" value="5,0"/> °K	
<b>Capacity</b> <input checked="" type="checkbox"/> Auto-Size Capacity Full Load Capacity (Cooling): <input type="text"/> kW Full Load Capacity (Heating): <input type="text"/> kW		<b>Controls and Features</b> Minimum ECWT Setpoint: <input type="text" value="15,6"/> °C Minimum Load: <input type="text" value="20,0"/> % <input type="checkbox"/> Hot Gas Bypass	
<b>Input Power</b> Full Load Power (Cooling): <input type="text" value="0,215"/> iKW/kW Full Load Power (Heating): <input type="text" value="0,241"/> iKW/kW Average Operating Loss: <input type="text" value="0,0"/> %			

Figura 51 - Separador Design Inputs da bomba de calor geotérmica

Os seguintes dois separadores referem-se à variação dos valores inversos do EER e do COP consoante a temperatura exterior do ar ou da água e a capacidade de arrefecimento ou aquecimento vai variando, como se poderá ver nas imagens a seguir demonstradas para a situação da bomba de calor aerotérmica.

Cooling Performance (iKW/kW)									
OAT	Max Cap	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%
46,1	0,468	0,468	0,456	0,440	0,425	0,424	0,423	0,421	0,423
35,0	0,345	0,345	0,337	0,327	0,315	0,315	0,315	0,314	0,316
29,4	0,281	0,281	0,275	0,267	0,259	0,259	0,259	0,259	0,261
23,9	0,259	0,259	0,253	0,246	0,239	0,239	0,239	0,240	0,242
-17,8	0,240	0,240	0,232	0,223	0,212	0,208	0,202	0,193	0,179

Figura 52 - Tabela de performance de arrefecimento da bomba de calor aerotérmica

Heating Performance (iKW/kW)									
OAT	Max Cap	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%
40,0	0,169	0,169	0,167	0,166	0,166	0,167	0,172	0,179	0,190
30,0	0,177	0,177	0,174	0,172	0,169	0,172	0,177	0,184	0,196
15,0	0,198	0,198	0,196	0,197	0,197	0,199	0,204	0,212	0,224
5,0	0,227	0,227	0,227	0,230	0,233	0,238	0,244	0,253	0,267
0,0	0,302	0,302	0,302	0,306	0,311	0,317	0,327	0,338	0,357
-5,0	0,333	0,333	0,334	0,338	0,345	0,353	0,365	0,377	0,396

Figura 53 - Tabela de performance de aquecimento da bomba de calor aerotérmica

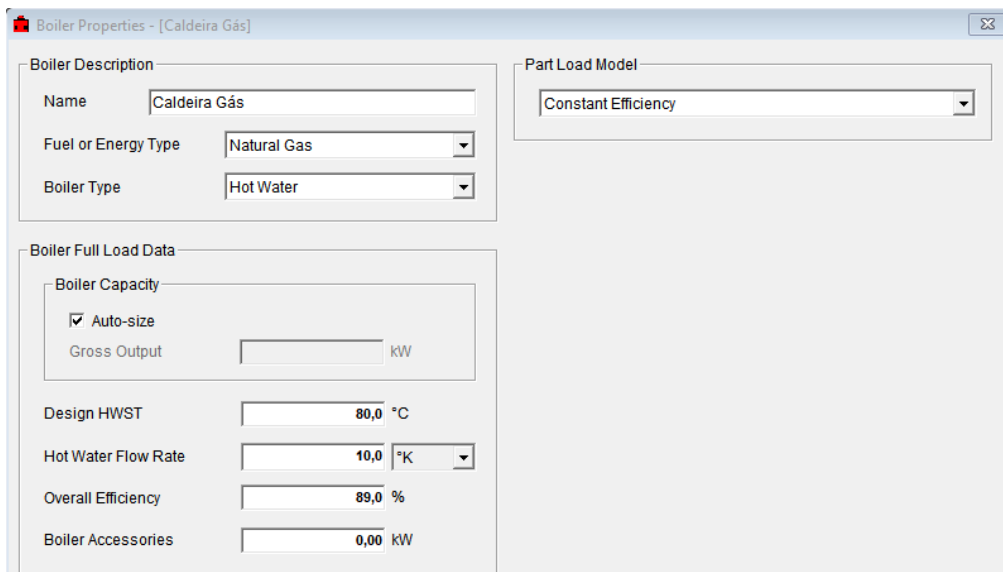
Os valores demonstrados foram calculados automaticamente pelo software em utilização, com base nas informações impostas nos separadores anteriores.

### 3.5.2. Caldeiras

Para o aquecimento da água em alguns casos de estudo, necessitar-se-á de caldeiras, das quais uma funcionará a gás e outra a *pellets*.

No que toca à configuração da caldeira a gás no HAP, é necessário selecionar o gás natural como tipo de combustível usado e a sua função de aquecimento de água. De seguida, referir a temperatura de projeto da água pretendida à saída da caldeira, 80°C, a diferença de temperatura, 10°C, e o seu rendimento de 89%, definida pela portaria 17-A/2016 para caldeiras de classe de eficiência energética A, classe de referência para sistemas impostos após 31 de Dezembro de 2015. (Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, 2016)

Foi admitido que o rendimento da caldeira seria constante ao longo de todas as horas de operação, não sendo afetado o seu desempenho através da relação de carga parcial exigida à caldeira ou da temperatura de fornecimento da água quente.



Boiler Description	
Name	Caldeira Gás
Fuel or Energy Type	Natural Gas
Boiler Type	Hot Water

Part Load Model	
Model	Constant Efficiency

Boiler Full Load Data	
Boiler Capacity	
<input checked="" type="checkbox"/> Auto-size	
Gross Output	
Design HWST	80,0 °C
Hot Water Flow Rate	10,0 °K
Overall Efficiency	89,0 %
Boiler Accessories	0,00 kW

Figura 54 - Configuração da caldeira a gás

A caldeira de biomassa a *Pellets*, os dados mencionados anteriormente serão os mesmos para este tipo de caldeira, excetuando o facto que nesta caldeira, o combustível utilizado para fornecimento de energia térmica à água é o *pellets*.

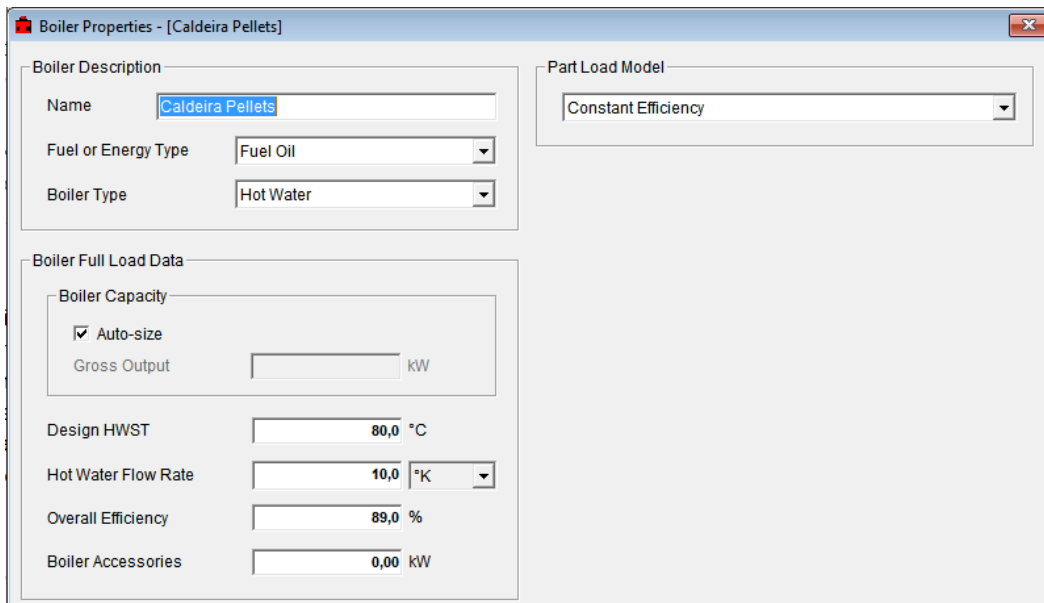


Figura 55 - Configuração da Caldeira de biomassa a pellets

O facto de ter seleccionado “Fuel Oil” no tipo de energia usado pela caldeira não tem qualquer problema, pois mais à frente configurar-se-á esta opção seleccionada, como se tratasse de *pellets*.

### 3.5.3. Torres de arrefecimento

No âmbito da configuração dos equipamentos, resta definir as propriedades da torre de arrefecimento e do furo geotérmico que serão usadas para os vários casos de estudo, para o arrefecimento da água quente proveniente das unidades produtoras de água fria.

No que toca à configuração da torre de arrefecimento no software, é preciso estipular a temperatura de bolbo húmido de projeto, a diferença de temperatura da água à entrada e à saída da torre na situação de carga total, o intervalo de temperaturas da água que sai da torre e a temperatura de bolbo húmido para a situação de projeto de carga total e por fim a razão de potência, sendo este último valor automaticamente admitido pelo programa. Por fim, é escolhido o tipo de funcionamento que o ventilador irá possuir. O tipo escolhido irá funcionar em modo ligado ou desligado, reduzindo assim o fluxo de ar que atravessa a torre e a eficácia da permuta de calor para produzir a temperatura desejada da água à saída da torre.

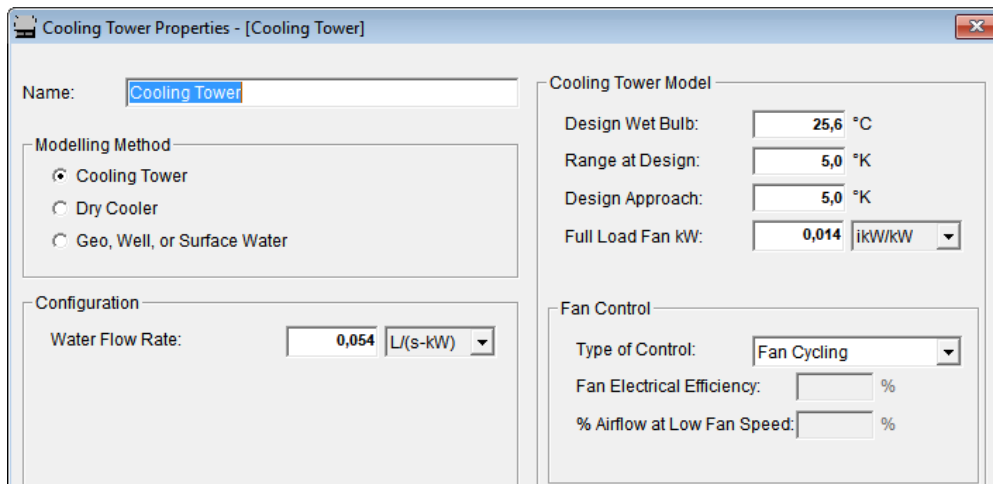


Figura 56 - Configuração da torre de arrefecimento

No caso dos furos geotérmicos, os dados serão tratados no HAP na mesma janela onde se tratam também as torres de arrefecimento dos chiller água – água. A sua configuração começa na seleção da opção “Geo, Well or Surface Water”, para especificar que os dados a seguir inseridos serão referentes aos furos geotérmicos. Resta colocar a temperatura média do solo em cada mês. Como se tratam de furos geotérmicos com uma profundidade de uma centena de metros, a temperatura média do solo permanece constante ao longo do ano, derivado do seu equilíbrio térmico a partir de uma dada profundidade.

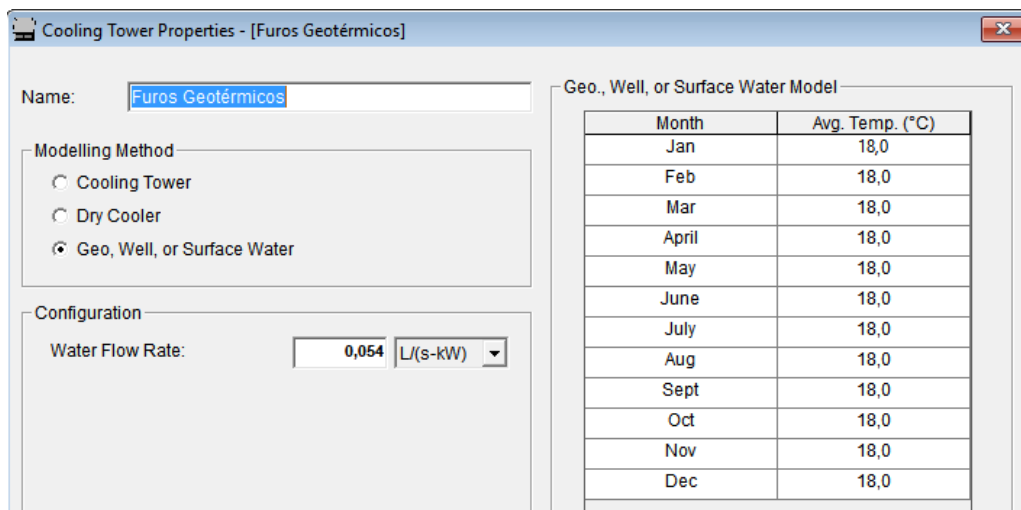


Figura 57 - Configuração do furo geotérmico

### 3.5.4. Separador água quente de serviço

Neste separador insere-se algumas informações acerca do consumo de água quente através da utilização da mesma em casas de banho, da lavandaria e cozinhas. Também é possível inserir-se alguns parâmetros do sistema de distribuição e de acumulação de água quente.

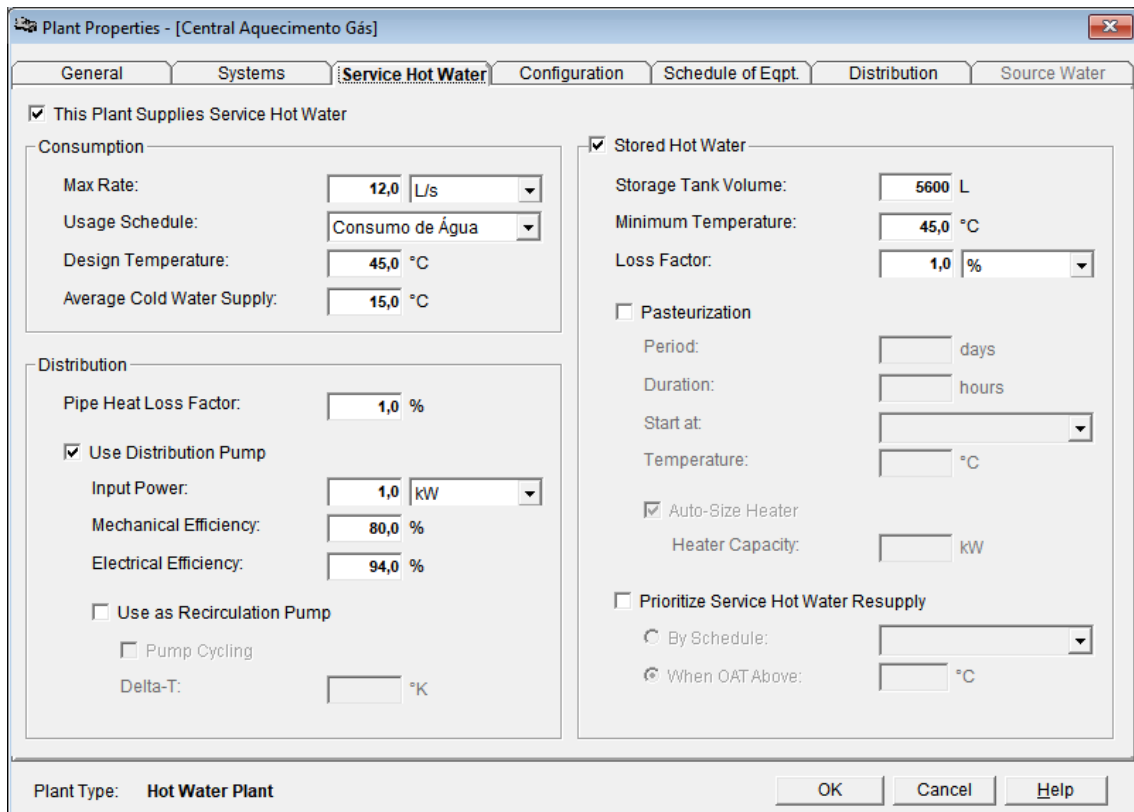


Figura 58 - Separador Service Hot Water

No que toca ao consumo, primeiramente foi feita uma estimativa não muito rigorosa acerca dos caudais de água, onde apenas se contabilizou o número de casas de banho dos quartos e as torneiras e chuveiros que possui cada casa de banho, e os chuveiros disponíveis no balneário dos funcionários. Foi admitido que um chuveiro possui um caudal de 0,15 litros por segundo e as torneiras um caudal de 0,1 litros por segundo. Com o somatório feito de todos os caudais, chegou-se a um valor estimado de 12 l/s.

$$42 \times (0,15 + 0,1) + 6 \times 0,15 = 12 \text{ l/s}$$

De seguida, também se estimou um horário, onde se representa uma estimativa da percentagem do consumo de água quente ao longo de um dia.

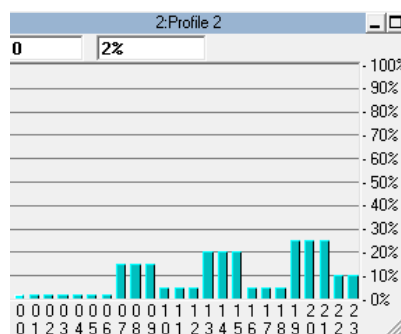


Figura 59 - Horário de consumo de água quente

Repare-se que, entre as 7 horas e as 9 horas, dá-se um pico de utilização, voltando-se a repetir entre as 13 horas e as 15 horas e entre as 19 horas e as 21 horas, derivado ser as horas das refeições, onde se consome muita água quente na lavagem e na confeção dos alimentos e posteriormente da louça suja. Note-se que às 22 e 23 horas o consumo de água é um pouco maior que nos outros períodos de tempo não mencionados anteriormente, isto numa tentativa de contabilizar o consumo de água, por ser um período do tempo em que os clientes do hotel se encontram em muito maior número no seu interior. A temperatura mínima definida para a água no interior do depósito é de 45°C e a temperatura média a que a água se encontra antes de ser aquecida é de 15°C.

Referente ao sector da distribuição das AQS foi admitido um fator de perda de calor ao longo da tubagem de 1%, valor muito frequente utilizado para exprimir a perda de calor no volume de água consumida durante uma hora entre o depósito de água quente e os pontos de uso das AQS.

Na distribuição da AQS é utilizada uma bomba de circulação de água de 1 kW de potência e com um rendimento mecânico de 80% e elétrico de 94%. Na distribuição da água, optou-se por não utilizar recirculação de água, embora seja normal nos hotéis de boa classificação existir.

Quanto ao armazenamento de água quente, é admitida a utilização de um depósito com uma capacidade para armazenar 5600 litros de água, a uma temperatura mínima de 45°C e um fator de perdas de calor de 1%. Este armazenamento é uma forma de evitar o arranque e paragem da central de aquecimento da água e uma forma de poupar energia, pois sem o mesmo, aconteceria que sempre que fosse aberta uma torneira, o sistema arrancava independentemente do tempo de utilização e parava quando já não estivesse a ser utilizada, por vezes arrancando o sistema desnecessariamente. Este arranque proporciona um elevado custo de energia, que por sua vez iria proporcionar um valor de custo de exploração do sistema mais elevado. A utilização de um depósito com uma capacidade de acumulação tão elevada, deve-se ao facto de este ter de possuir uma inércia térmica elevada, para que a instalação possa fornecer calor sem necessidade de funcionamento dos geradores de calor e devido ao elevado consumo de água que é requerido.

### **3.5.5. Separador configuração**

Neste separador define-se o número de equipamentos de geração de água quente ou de água fria, dependendo do tipo de modo, se aquecimento ou arrefecimento do fluido, e o processo que se pretende que os mesmos sejam dimensionados. Em todas as situações, o processo escolhido é o automático, pois deste modo, as potências a serem instaladas são calculadas pelo *software*, baseadas nas necessidades caloríficas do edifício.

Nos controlos dos equipamentos de geração de água quente ou água fria teremos um controlo constante, mantendo a temperatura de projeto constante ao longo de todas as horas de funcionamento. Esta temperatura de projeto, é a temperatura máxima do *setpoint* da água quando o processo é reiniciado. Quando se trata do processo de aquecimento da água, a temperatura de projeto máxima do *setpoint* é de 80°C, e para o processo de arrefecimento, a temperatura máxima é de 7°C.

### **3.5.6. Separador dos horários dos equipamentos**

O presente separador serve para especificar os chiller's, as caldeiras ou as bombas de calor que constituem a central. Na situação da central de aquecimento a gás é utilizado a caldeira a gás configurada há uns capítulos atrás. Para a central de aquecimento a *pellets* é usado a caldeira de biomassa. A central de arrefecimento utiliza um chiller, que teremos de seleccionar neste separador, o chiller que foi criado. Quanto às centrais que utilizam a bomba de calor aerotérmica, terão de ser instaladas duas, para que enquanto uma funcione em um modo, seja ele de arrefecimento ou aquecimento, a outra funcione do outro modo. Desta forma, consegue-se responder a todas as necessidades requeridas à central em simultâneo. Ainda referente às centrais constituídas por bombas de calor, é importante referir que derivado às elevadas necessidades de aquecimento, que estas porventura não conseguirão responder na totalidade, será necessário acoplar a cada umas das centrais uma caldeira para reforçar o seu funcionamento no modo de aquecimento.

Agora somente acerca das bombas de calor geotérmicas, estas necessitarão também de uma caldeira acoplada, mas como neste tipo de central existe o aproveitamento da energia térmica que o solo fornece, teremos ainda de seleccionar os furos geotérmicos definidos no subcapítulo 3.4.3, sobre as torres de arrefecimento.

General		Systems		Service Hot Water		Configuration		Schedule of Eqpt.		Distribution		Source Water	
Sequence	Equipment Name	Full Load Capacity		Supply-Side Flow Rate		Source-Side Flow Rate							
		Heating (kW)	Cooling (kW)	Heating	Cooling	Heating	Cooling						
1	GSHP	Auto	Auto	5,0 °K	5,0 °K	5,0 °K	5,0 °K						
2	GSHP	Auto	Auto	5,0 °K	5,0 °K	5,0 °K	5,0 °K						

**Shared Equipment**

Shared Water Source:

Shared Auxiliary Heating:

**Summary**

	Heating	Cooling
Total Full Load Capacity:	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
Total Supply-Side Flow Rate:	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
Total Source-Side Flow Rate:	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
Estimated Maximum Load:	<input type="text" value="430,6"/>	<input type="text" value="248,1"/>
Total Water Source Flow Rate:	<input type="text" value="0,054"/>	

Figura 60 - Separador schedules of equipment das bombas de calor geotérmicas

### 3.5.7. Separador da distribuição

Este separador serve para definir o sistema de distribuição da água arrefecida e da água quente. Foi admitido que o sistema funciona com uma bomba de água de velocidade constante para cada equipamento, com uma potência de 1kW cada uma. A diferença de temperaturas de projeto admissíveis, tanto para o arrefecimento como para o aquecimento é de 5°C com um fator de perda/ganho de calor de 1%.

Na parte deste separador acerca das propriedades do fluido foram inseridas todas as propriedades da água, densidade e calor específico.

General		Systems		Service Hot Water		Configuration		Schedule of Eqpt.		Distribution		Source Water	
<b>Distribution System</b>													
Type		<input type="text" value="Primary Only, Constant Speed"/>											
		Cooling		Heating									
Coil Delta-T at Design		<input type="text" value="5,0 °K"/>		<input type="text" value="5,0 °K"/>									
Pipe Heat Factor (Gain/Loss)		<input type="text" value="1,0 %"/>		<input type="text" value="1,0 %"/>									
Pump Performance Units		<input type="text" value="kW"/>											
<b>Fluid Properties</b>													
Name		<input type="text" value="Fresh Water"/>											
		Cooling		Heating									
Fluid Density		<input type="text" value="999,6 kg/m³"/>		<input type="text" value="970,7 kg/m³"/>									
Specific Heat Capacity		<input type="text" value="4,19 kJ / (kg - °K)"/>		<input type="text" value="4,19 kJ / (kg - °K)"/>									
<b>Primary Loop</b>													
Pump for Equipment No.	Flow Rate	Pump kW	Mech Efficiency (%)	Elec Efficiency (%)									
1	5,0 °K	1,0	80,0	94,0									
2	5,0 °K	1,0	80,0	94,0									

Figura 61 - Separador Distribution da bomba de calor geotérmica

### 3.5.8. Separador acerca da bomba de circulação de água

Este separador só se encontra ativo quando se tratam de bombas de calor a água-água, que para os casos de estudo deste documento, só irá ser preenchida no caso das bombas de calor geotérmicas.

Este separador refere-se à água que passa pelo exterior do sistema, ou seja, o fluido que tem a principal função de arrefecer o fluido refrigerante que se encontra no interior do sistema, que neste caso também se trata de água.

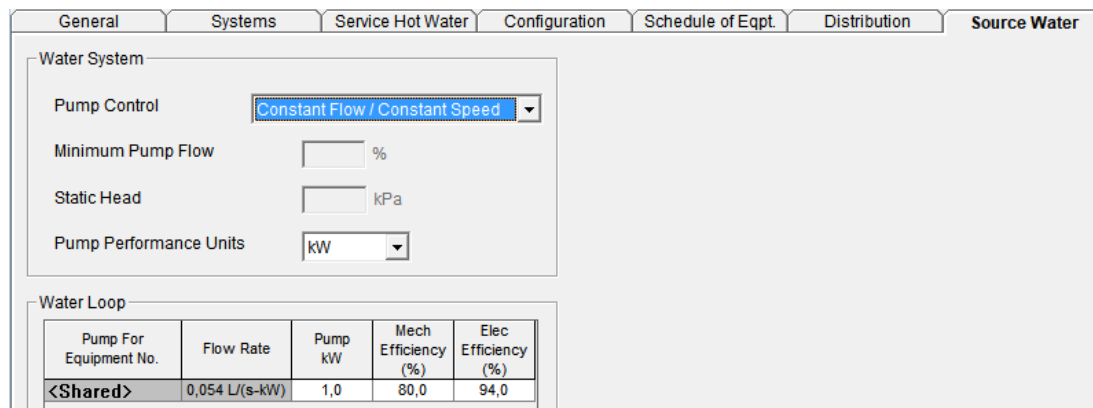


Figura 62 - Separador Source Water da bomba de calor geotérmica

## 3.6. Sistemas de produção de energia térmica

Irão existir 6 conjuntos de soluções de produção de energia térmica, como é demonstrado na imagem seguinte.

Tabela 14 - Lista de sistemas de produção de energia térmica

Nº	Central de Arrefecimento	Central de Aquecimento
1	Chiller	Caldeira a gás
2	Chiller	Caldeira de biomassa a <i>pellets</i>
3	Bomba de calor aerotérmica (com torre de arrefecimento)	Caldeira a gás (Como auxiliar)
4	Bomba de calor aerotérmica (com torre de arrefecimento)	Caldeira de biomassa a <i>pellets</i> (Como auxiliar)
5	Bomba de calor geotérmica (com furo geotérmico)	Caldeira a gás (Como auxiliar)
6	Bomba de calor geotérmica (com furo geotérmico)	Caldeira de biomassa a <i>pellets</i> (Como auxiliar)

O sistema número 1 será o sistema de referência para o estudo dos outros restantes sistemas. Este sistema será constituído pela central de arrefecimento equipada pelo chiller ar-água e pela caldeira a gás natural, sendo esta a central de aquecimento da água.

Em relação ao sistema 2, este é constituído pelo chiller ar-água, o mesmo utilizado no sistema mencionado anterior, e por uma caldeira, mas esta a *pellets*.

Para os sistemas 3 e 4, foram utilizadas bombas de calor aerotérmicas, mas uma com auxílio de uma caldeira de funcionamento a gás natural e a outra a *pellets*, respetivamente.

Nos sistemas 5 e 6, novamente são usadas as caldeiras a gás natural no sistema 5 e a *pellets* no sistema 6. A diferença existente entre estes dois sistemas e os sistemas anteriores, sistemas 3 e 4, é a utilização de uma bomba de calor geotérmica, ao invés, da bomba de calor aerotérmica.

Antes de se tratar da configuração no programa de simulação dos sistemas de produção de energia térmica, isto é, dos conjuntos de centrais para o fornecimento de energia térmica ao edifício, é necessário primeiro estipular as tarifas dos vários tipos de energia. Para que posteriormente, no momento de definir-se no programa os conjuntos de centrais, poder seleccionar-se os vários tipos de energia utilizada, e assim conseguir-se que o software calcule os custos de exploração e as emissões de CO<sub>2</sub> dos sistemas ao longo do ano.

### **3.6.1. Eletricidade**

A tarifa da eletricidade adotada para os casos de estudo, apresentam um formato simples, em que o custo da energia ao longo do dia é constante. Para os diversos estudos elaborados, dependendo do país em que se inserem, foram admitidos os valores da energia desse país a que se refere. Para Portugal, o valor da energia elétrica é de 0,23 €/kW.h, no caso da Grécia é de 0,172 €/kW.h, para o estudo na Alemanha é 0,298 €/kW.h e na Finlândia é 0,155 €/kW.h.(Eurostat, 2016)

Quanto ao preenchimento do menu acerca da eletricidade, é importante ter-se em atenção as unidades que irão ser utilizadas, tendo à partida ter-se de definir tal informação. A unidade da energia utilizada é o kW.h.

The screenshot shows a software interface with four tabs: General, Energy Charges, Demand Charges, and Demand Clauses. The 'General' tab is selected. It contains several input fields and checkboxes:

- Name:** Tarifa Eletricidade
- Type:** Simple (selected), Complex
- Energy Units:** kWh
- Conversion:** 1,00000 kWh/kWh
- Demand Units:** kW
- Flat Price:** 0,23000 €/kWh
- Customer Charge:** 0,00 €
- Minimum Charge:** 0,00 €
- Tax Rate:** 0,00 %
- Seasonal Scheduling:** Unchecked. Below it are 12 columns for months (J, F, M, A, M, J, J, A, S, O, N, D) and three rows for Summer, Mid, and Winter, each with 12 radio buttons.
- Time - Of - Day Scheduling:** Unchecked. Below it is a 'Schedule' button and a dropdown menu set to '(none)'.
- Emissions Analysis:** Checked. Below it is a 'CO2e Factor' field set to 0,37 kg/kWh.

Figura 63 - Tarifa da eletricidade aplicada a Portugal

De forma a contabilizar também as emissões CO<sub>2</sub> que cada equipamento emite para o meio ambiente durante o seu funcionamento, também é necessário colocar o valor do fator da emissão de CO<sub>2</sub> em kg/kW.h. O valor standardizado para Portugal é de 0,369, para a Grécia é 1,149, Alemanha é 0,624 e por fim, para a Finlândia é de 0,216. (União, 2010)

### 3.6.2. Combustíveis

Para produção de energia térmica, nas caldeiras, são consumidos dois tipos de matérias-primas, o gás natural e os *pellets*.

Em relação ao gás natural, a tarifa simples é a admitida também para esta situação e as unidades utilizadas também as mesmas, em comparação ao subcapítulo anterior. Os preços aplicados para os casos de estudo, são dados referentes ao ano de 2016 para o sector da indústria, publicados pela organização da Comissão Europeia, Eurostat.

O preço do gás natural estipulado para Portugal é 0,082 €/kW.h, para a Grécia é de 0,065 €/kW.h, na Alemanha é de 0,064 €/kW.h e por fim, na Finlândia é de 0,044 €/kW.h. (Eurostat, 2017)

The screenshot shows a software interface with four tabs: General, Fuel Charges, Demand Charges, and Demand Clauses. The 'General' tab is selected and contains the following fields and options:

- Name:** Gás Natural
- Type:** Simple (selected), Complex
- Energy Units:** kWh
- Conversion:** 1,00000 kWh/kWh
- Demand Units:** Hourly Peak
- Flat Price:** 0,08200 €/kWh
- Customer Charge:** 0,00 €
- Minimum Charge:** 0,00 €
- Tax Rate:** 0,00 %
- Seasonal Scheduling:** Unchecked. A calendar grid shows days J, F, M, A, M, J, J, A, S, O, N, D. Rows for Summer, Mid, and Winter have radio buttons for each day.
- Time - Of - Day Scheduling:** Unchecked. A 'Schedule' button and a dropdown menu showing '(none)'.
- Emissions Analysis:** Checked. **CO2e Factor:** 0,20 kg/kWh

Figura 64 - Tarifa do Gás Natural aplicado a Portugal

Derivado de a utilização de gás natural também emitir gases poluidores para a atmosfera, o fator de emissões de CO<sub>2</sub> também terá de ser tomado em conta e introduzido no espaço a que lhe é destinado. O valor do fator de emissão de CO<sub>2</sub> também se encontra estandardizado e o seu valor é 0,202 kg/kW.h. (União, 2010)

Os *pellets*, também utilizados para produção de energia térmica para o aquecimento de água através da sua queima, não produzem quaisquer gases prejudiciais para a atmosfera, logo o seu fator de emissão de CO<sub>2</sub> é nulo. A unidade de energia a ser inserido no programa de simulação é o kg, para que se consiga aplicar na conversão o valor do poder calorífico dos *pellets* e desta forma também conseguir aplicar o preço dos *pellets* em €/kg.

O poder calorífico dos *pellets* ronda os 4,90 kW.h/kg e o seu preço é diferente nos diferentes países da UE. Para Portugal, o valor do custo dos *pellets* adotado é de 0,22 €/kg, preço aplicado na venda de *pellets* em Abril de 2016. (DECORFOGO,2017) Na Grécia o valor dos *pellets* é de 0,26 €/kg, enquanto que na Alemanha o valor admitido é de 0,249 €/kg e na Finlândia é de 0,272 €/kg. (Eleftheriadis,2014) (IHB, 2017)

The screenshot shows a software configuration window with four tabs: General, Fuel Charges, Demand Charges, and Demand Clauses. The 'General' tab is selected. It contains several input fields and checkboxes. The 'Name' field is filled with 'Pellets'. The 'Type' section has 'Simple' selected. 'Energy Units' is 'kg', 'Conversion' is '4,90000 kWh/kg', and 'Demand Units' is 'Hourly Peak'. Pricing fields include 'Flat Price' at '0,22000 €/kg', 'Customer Charge' at '0,00 €', 'Minimum Charge' at '0,00 €', and 'Tax Rate' at '0,00 %'. On the right, there are sections for 'Seasonal Scheduling' (with a calendar grid), 'Time-Of-Day Scheduling' (with a 'Schedule' button and a '(none)' dropdown), and 'Emissions Analysis' (with 'CO2e Factor' set to '0,00 kg/kg').

Figura 65 - Tarifa dos Pellets aplicado a Portugal

### 3.6.3. Separador do sistema de centrais

Na configuração dos sistemas de produção de energia térmica, começa-se pela atribuição das centrais de arrefecimento e aquecimento ao sistema a que corresponde. Nos dois primeiros sistemas é necessário selecionar duas centrais, pois cada equipamento tem uma função específica. Em todos os outros 4 sistemas, apenas deve-se selecionar a central a que lhe corresponde, isto porque no capítulo anterior acerca da configuração das centrais já se referiu que as centrais funcionavam com a caldeira como auxiliar à central.

The screenshot shows a software configuration window with four tabs: Plants, Systems, Misc. Energy, and another partially visible tab. The 'Plants' tab is selected. It contains a 'General' section with 'Building Name' set to '1 Building Chiller+Caldeira Gás'. Below this is a section titled 'Plants Included in Building' with a list of seven items, each with a checkbox. The 'Central Arrefecimento' item is checked and highlighted in blue. The other items are: 'Central Aquecimento Gás', 'Central Aquecimento Pellets', 'Central Chiller/BC+Caldeira Gás', 'Central Chiller/BC+CaldeiraPelle', 'Central GSHP+Caldeira Gás', and 'Central GSHP+Caldeira Pellets'.

Figura 66 - Seleção das centrais referentes ao sistema número 1

### 3.6.4. Separador de atribuição dos sistemas de climatização

Neste separador atribui-se aos sistemas de centrais de produção de energia térmica os 2 sistemas de climatização configurados para os 5 pisos do edifício em estudo. Este passo é semelhante para todos os sistemas de centrais.

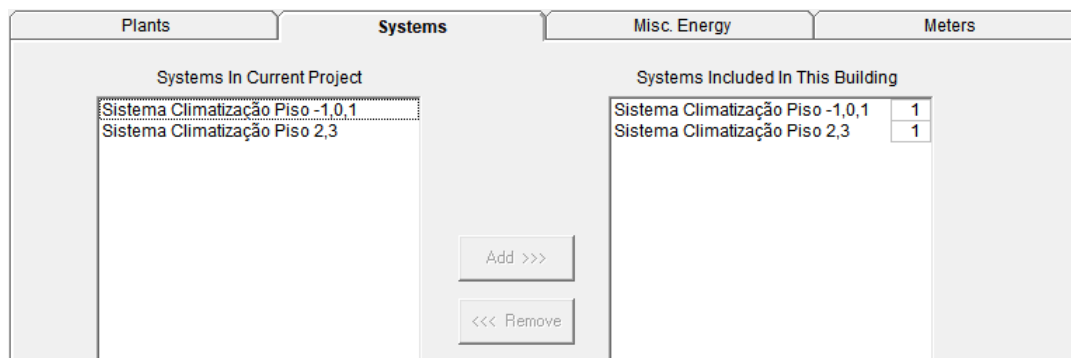


Figura 67 - Separador de atribuição dos sistemas de climatização aos sistemas de centrais

### 3.6.5. Separador de atribuição dos tarifários aos sistemas de centrais

Por último, resta apenas atribuir os tarifários estipulados nos subcapítulos 3.5.1. e 3.5.2., aos sistemas de centrais. É importante referir, que existem 3 tipos de consumo, o consumo de eletricidade, gás natural e *pellets*. A tarifa da eletricidade está presente em todos os sistemas de centrais, pois seja o chiller como as várias bombas de calor em estudo, todas as centrais de arrefecimento consomem eletricidade. No que toca às caldeiras, é necessário ter-se um pouco mais de atenção, pois nos casos de estudo existem caldeiras a consumir gás natural e outras a consumirem *pellets*. Como tal, para os estudos em que a caldeira a gás está presente, teremos de seleccionar a tarifa do gás natural estipulado no espaço destinado ao mesmo e nos casos de estudo em que a caldeira de biomassa a *pellets* se insere, selecciona-se o tarifário dos *pellets* criado, mas no espaço destinado ao “Fuel Oil”.

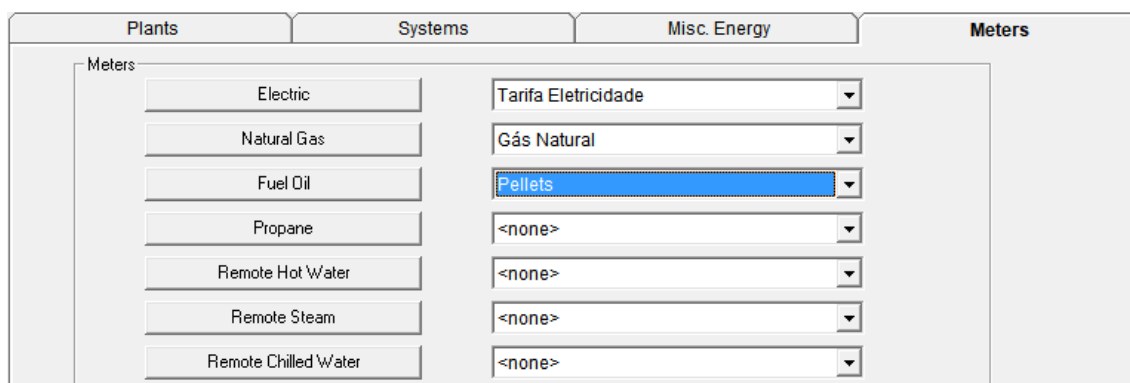


Figura 68 - Atribuição dos tarifários aos vários tipos de consumos

Ainda no mesmo separador, é possível ainda se reparar que existem 3 dados ainda a serem inseridos. O primeiro espaço é destinado à colocação do fator de potência médio utilizado para converter as unidades de energia elétrica de kW para kVA. Este espaço só é preenchido quando a tarifa da eletricidade é cobrada na unidade kVA. Como o valor

utilizado é em kW o fator de potência é irrelevante, podendo deixar-se os 100%, já predefinidos.

O espaço a seguir serve para definir a eficiência da geração da energia elétrica que é consumida pelo edifício. Como não são conhecidos os valores deste tópico, optou-se por deixar inserido o valor predefinido, 40%.

Por último, no último espaço é possível inserir a área de espaços não climatizados, caso existam, para que os cálculos do custo de exploração das centrais sejam relacionados com a área de pavimento total do edifício.

Miscellaneous Data	
Average Building Power Factor	100,00 %
Source Electric Generating Efficiency	40,00 %
Additional Floor Area	0,0 m²

Figura 69 - Dados diversos adicionais

### 3.6.6. Simulação dos vários casos de estudo

De forma ao software HAP conseguir simular o edifício considerando todos os dados inseridos acerca do edifício e do clima, apenas é preciso selecionar os sistemas de centrais que se pretende simular e clicar no botão “View Simulation Reports”. Ao clicar no botão descrito, é apresentado a seguinte janela.

Standard Reports		LEED 2009 Report	
<b>Comparative Reports</b>		<b>Detailed Reports</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Annual Cost Summary		<input checked="" type="checkbox"/> Monthly Component Costs	
<input checked="" type="checkbox"/> Annual Energy & Emissions Summary		<input checked="" type="checkbox"/> Monthly Energy Costs	
<b>Summary Reports</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Monthly Energy Use By System Component	
<input checked="" type="checkbox"/> Annual Component Costs		<input checked="" type="checkbox"/> Monthly Energy Use By Energy Type	
<input checked="" type="checkbox"/> Annual Energy Costs		<input type="checkbox"/> Billing Details	Electric
<input checked="" type="checkbox"/> HVAC & Non - HVAC Cost Totals		<b>Use Profiles</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Energy Budget By System Component		<input type="checkbox"/> Table	Electric
<input checked="" type="checkbox"/> Energy Budget By Energy Type		<input type="checkbox"/> Graph	From: jan. 1
		<input type="checkbox"/> Text File	To: jan. 1

Figura 70 - Janela para escolha dos resultados pretendidos com as simulações

Embora os dados que são mais relevantes sejam os dois primeiros acerca do sumário do custo anual de exploração dos sistemas e o sumário das emissões, optou-se por selecionar

praticamente todas as opções, pois caso sejam necessários para os vários estudos, já estão calculados e assim não é preciso correr de novo as simulações.

### **3.7. Determinação do coeficiente global de transmissão de calor ótimo**

Com o edifício simulado com algumas das várias medidas de melhoria de Eficiência energética para os 4 países, optou-se ainda por fazer um breve estudo acerca de qual o coeficiente global de transmissão de calor ótimo das paredes e janelas. O cálculo do U ótimo foi feito para a situação tida como referência nos casos de estudo anteriores e para o sistema que apresenta a maior melhoria dos consumos.

#### **3.7.1. U ótimo das paredes para o edifício de referência**

Para o cálculo do valor de U ótimo das paredes nos edifícios de referência foi necessário recorrer-se a uma folha Excel e inserir as várias espessuras diferentes de isolamento das paredes exteriores e o seu preço por metro quadrado, de forma a criar um gráfico que relacione estes dois parâmetros.

*Tabela 15 - Preço do isolamento por metro quadrado*

Espessura (mm)	Euro/m <sup>2</sup>
0	0
30	3,33
40	4,25
50	5,56
60	6,67
80	8,46
100	11,13

Com a tabela apresentada poderá ser feito um gráfico e calculada uma linha de tendência que represente o custo dos vários isolamentos dependendo da sua espessura. (PIMACON,2017)

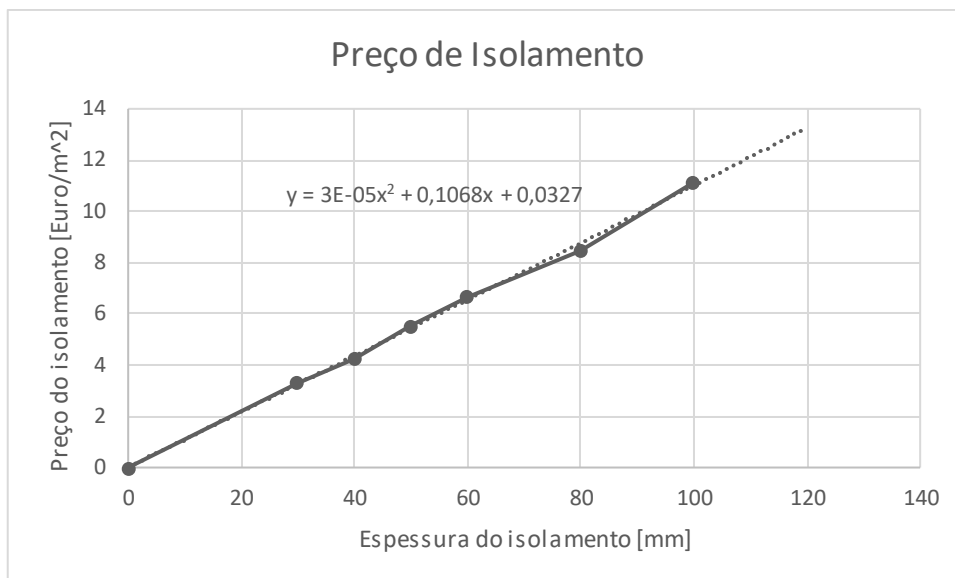


Figura 71 - Gráfico do preço do isolamento dependendo da sua espessura

O cálculo do coeficiente global de transmissão de calor total de cada parede foi determinado através da colocação das espessuras de isolamento no programa HAP no separador acerca das configurações das paredes exteriores. Foi admitido um valor base de U, constituído pela configuração da parede admitida sem qualquer tipo de isolamento.

Tabela 16 - Espessuras de isolamento admitidas

Espessura de isolamento [mm]	Coefficiente global de transmissão de calor da parede [W/m <sup>2</sup> .°C]
0	0,958
1	0,933
7	0,811
14,3	0,700
67	0,350
173	0,175
397	0,088
650	0,055

Com as espessuras definidas resta inserir cada uma delas no HAP, modificando no menu acerca das configurações das paredes exteriores, a espessura de isolamento utilizada. Por

fim, resta simular o edifício constituído pelos equipamentos de referência, chiller e caldeira a gás.

Com as simulações concluídas, é preciso relacionar os valores dos custos de exploração do aquecimento e do arrefecimento calculados, com o custo de exploração do sistema quando a parede que o constitui não tem qualquer isolamento. Desta forma é possível calcular se com o aumento das espessuras de isolamento, se existem poupanças ou não nos custos de exploração derivado do aquecimento e do arrefecimento.

Como o preço do isolamento difere consoante a sua espessura, nos cálculos para obtenção do valor do U ótimo, também se relacionou o preço do isolamento por metro quadrado de parede, consoante a sua espessura.

De forma a comparar os custos de funcionamento anual dos sistemas de produção de energia térmica e o investimento feito nos isolamentos, estes são convertidos em custos de investimento anuais constantes. Para tal, os custos de investimento são multiplicados pelo fator de anuidade equivalente (a), baseado no tempo de vida útil da medida considerada. O fator de anuidade estimado para os cálculos dos custos de investimentos anuais constantes é de 0,0578, correspondendo a um tempo de vida útil da medida de 30 anos.(Boermans & Petersdorff, 2007)

Para contabilizar todos os custos envolventes nos diferentes casos de estudo, ainda é necessário que se divida os custos de exploração dos sistemas com a área de pavimento que constituiu o edifício, convertendo assim, todos os valores de custos nas mesmas unidades, euro por metro quadrado.

Por fim, com a utilização do software Excel, constrói-se uma tabela com todos os valores relevantes, o somatório das poupanças e dos custos admitidos para cada situação e também um gráfico que relaciona o coeficiente global de transferência de calor da parede ou a espessura de isolamento com o custo de investimento e exploração por metro quadrado de parede, como demonstrado nas imagens de seguida.

Tabela 17 - Dados para o cálculo do U ótimo das paredes exteriores para Portugal

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	135236	0	37816	0	173052	0	0	0	0
	1	0,933	135185	-0,0156485	37808	-0,002455	172993	-0,0181	0,11	0,006358	-0,011745157
	7	0,811	134902	-0,1024823	37921	0,0322175	172823	-0,07026	0,78	0,045084	-0,025180797
	14,3	0,7	134661	-0,1764291	38073	0,0788561	172734	-0,09757	1,58	0,091324	-0,00624895
	17,77	0,656	134576	-0,2025099	38134	0,0975729	172710	-0,10494	1,972	0,114009	0,00907182
	40,65	0,467	134179	-0,3243227	38367	0,1690651	172546	-0,15526	4,319	0,249642	0,094384226
	67	0,35	133934	-0,3994968	38526	0,2178516	172460	-0,18165	6,67	0,385526	0,203880761
	173	0,175	133525	-0,5249916	38820	0,3080605	172345	-0,21693	18,71	1,081438	0,864506945
	397	0,088	133332	-0,5842104	38957	0,3500967	172289	-0,23411	43,2	2,49696	2,262846288
	650,00	0,055	133263	-0,6053819	38988	0,3596085	172251	-0,24577	72,34	4,181252	3,935478627

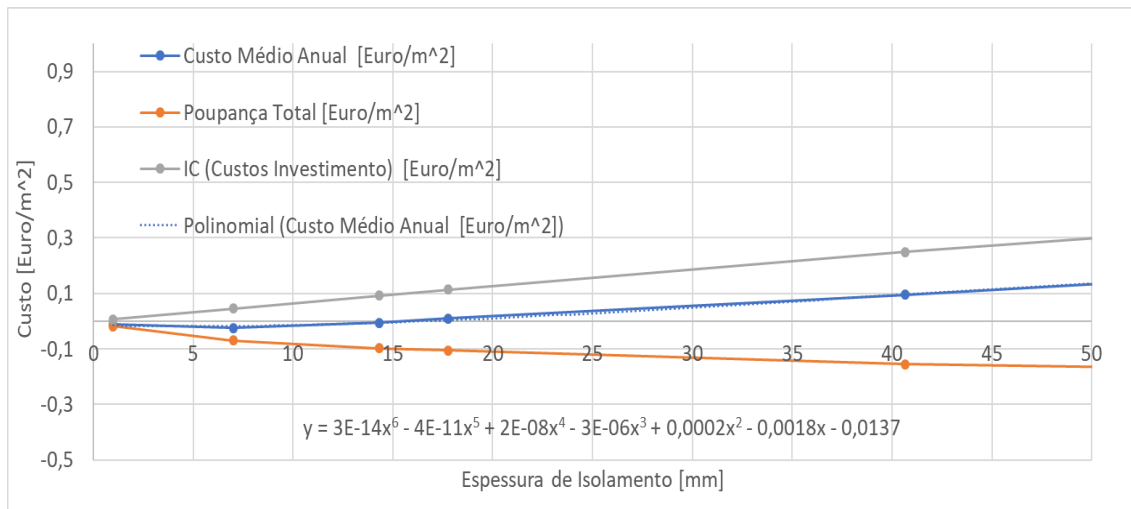


Figura 72 - Gráfico da relação da espessura de isolamento com o custo médio anual

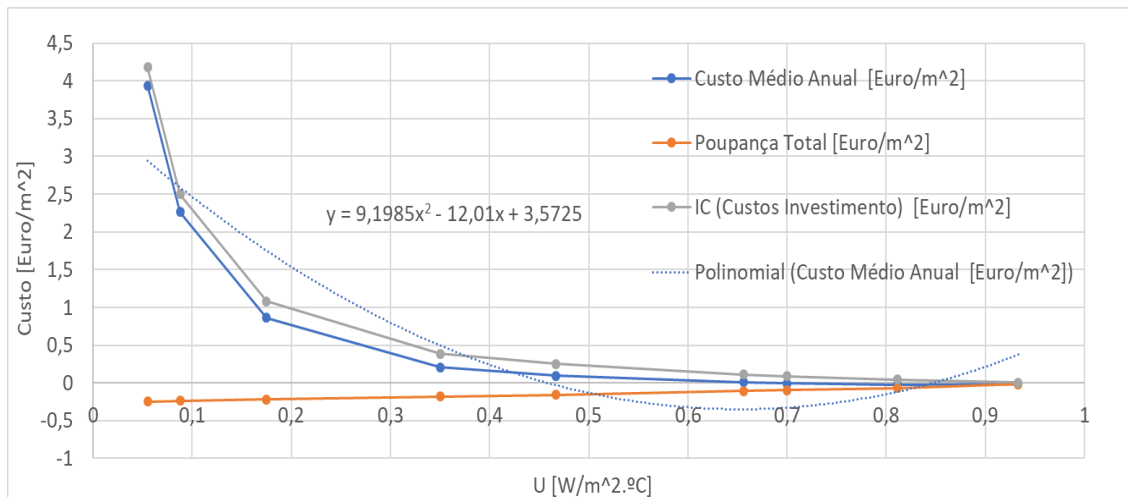


Figura 73 - Gráfico da relação do U da parede exterior com o custo médio anual

A partir do gráfico da Figura 73, é possível calcular a espessura ótima de isolamento da parede através da geração de uma linha de tendência referente à curva dos custos médios anuais. Com a função da linha de tendência gerada, faz-se a derivação da mesma em

ordem às abcissas e posterior igualdade a zero da função derivada. O valor da abcissa resultante da igualdade a zero, é o valor ótimo da espessura de isolamento, no caso de estarmos a tratar do gráfico espessura de isolamento relacionado com o custo.

Para obtenção do coeficiente global de transferência de calor ótimo, existem duas formas de o conhecer. A primeira forma é calculando o valor da espessura ótima de isolamento e recorrendo ao HAP substituir a espessura de isolamento calculada no separador da parede exterior e analisar o valor de U que o programa fornece. A segunda forma é utilizando a linha de tendência do gráfico que relaciona o valor dos U's da parede e o custo médio anual, e repetir o processo feito na situação explicada anteriormente, para o cálculo da espessura ótima.

É importante referir que nos cálculos dos U's ótimos nos diversos casos de estudo, nem sempre foram usados os gráficos com a mesma relação entre abcissas e ordenadas. A utilização de um ou de outro tipo de relação foi feita com base na melhor aproximação obtida da linha de tendência à curva real.

Para determinação de ambos os valores, o processo é o seguinte, sempre que se obtenha o valor da espessura ótima do isolamento ou do U ótimo da parede é recorrer ao HAP e tentar encontrar o outro valor. Por exemplo, caso se obtenha o U ótimo através dos cálculos matemáticos, recorre-se ao HAP, no menu acerca da configuração da parede exterior, e varia-se o valor da espessura de isolamento até encontramos o U que obtivemos. No caso contrário, faz-se o inverso do procedimento, altera-se a espessura do isolamento no HAP e obtém-se o valor do U total.

### **3.7.2. U ótimo dos envidraçados para o edifício de referência**

Para obtenção do valor do U ótimo das janelas, o único gráfico a ser usado é o que relaciona os vários U's dos envidraçados com o custo por metro quadrado de envidraçado.

Os custos de funcionamento foram obtidos da mesma forma que os do capítulo anterior, com a ligeira diferença que ao invés de se alterar o valor das espessuras de isolamento, altera-se os U's de todas as janelas do edifício.

Quanto aos custos por metro quadrado de envidraçados, foram estimados tendo em conta o contexto atual dos custos dos vários tipos de envidraçados. Os envidraçados tidos em consideração para as várias simulações foram os seguintes: vidro simples sem corte térmico, vidro simples com corte térmico, vidro duplo sem corte térmico, vidro duplo

com corte térmico e vidro duplo com corte térmico com 16 mm de caixa de Árgon e baixa emissividade. Tendo em conta o preço dos vários tipos de envidraçados por metro quadrado e os seus valores de U, também foi possível gerar um gráfico que relacione os dois últimos parâmetros referenciados e a obtenção de uma linha de tendência, mesmo procedimento efetuado aquando das espessuras de isolamento, considerando no subcapítulo anterior.

*Tabela 18 - Tipos de envidraçados admitidos*

Tipo de envidraçado	Coefficiente global de transmissão de calor do envidraçado [W/m <sup>2</sup> .°C]	Preço do envidraçado [Euro/m <sup>2</sup> ]
Vidro duplo com corte térmico com 16 mm de caixa de Árgon e baixa emissividade	1,075	288
Vidro duplo com corte térmico	3	202
Vidro duplo sem corte térmico	4,3	163
Vidro simples com corte térmico	5,4	162
Vidro simples sem corte térmico	6,5	137

Com esta tabela apresentada, gera-se o gráfico que relaciona o valor de U com o seu preço por metro quadrado, respetivamente, e a linha de tendência que se origina através dos vários pontos. Por último, resta gerar a função da linha de tendência, para que se possa obter o preço dos envidraçados para qualquer que seja o seu U.

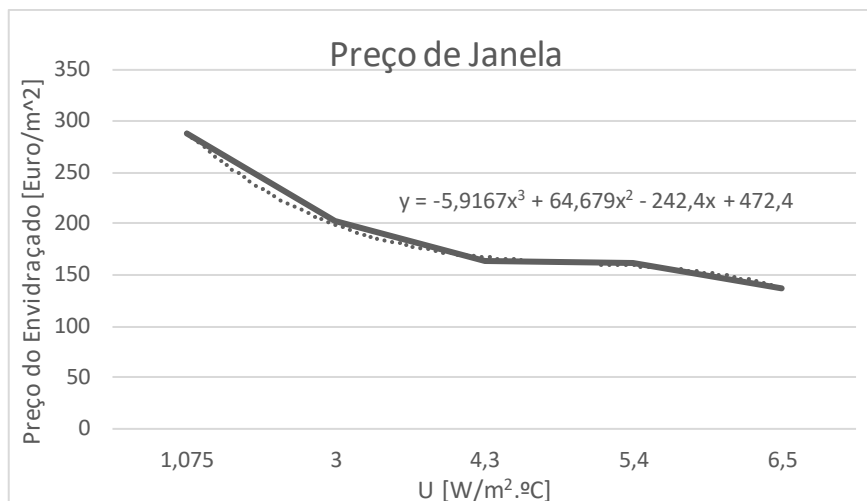


Figura 74 - Gráfico do preço do envidraçado dependendo do seu valor de U

De seguida multiplica-se o custo de cada tipo de envidraçado pelo mesmo fator de anuidade utilizado no subcapítulo anterior e soma-se esse valor aos custos de funcionamento dos sistemas de climatização, facultados pelas simulações previamente feitas com os U's das janelas diferentes. Desta forma, fica-se com a seguinte tabela.

Tabela 19 - Dados para o cálculo do U ótimo dos envidraçados para Portugal

Janelas										
Área [m²]	U [W/m².°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m²]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m²]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m²]	Preço Isolamento [Euro/m²]	IC (Custos Investimento) [Euro/m²]	Custo Médio Anual [Euro/m²]
3259,1	6,5	135847	0	37514		173361	0	137	7,9186	
	5,4	135244	-0,1850204	37789	0,084379123	173033	-0,100641	162	9,3636	9,2629587
	4,3	134661	-0,3639041	38073	0,171519745	172734	-0,192384	163	9,4214	9,2290156
	3	133977	-0,573778	38487	0,298548679	172464	-0,275229	202	11,6756	11,400371
	1,075	132998	-0,8741677	39260	0,535730723	172258	-0,338437	288	16,6464	16,307963

Com todos os dados inseridos no Excel, segue-se a realização do gráfico que relacione os vários U's das janelas com os custos médios anuais calculados.

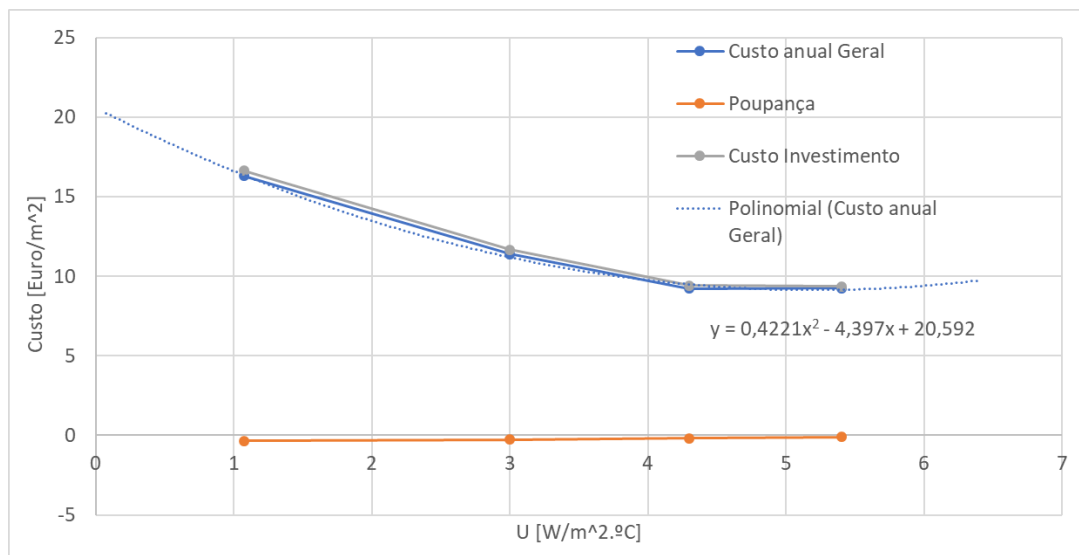


Figura 75 - Gráfico da relação do U dos envidraçados com o custo médio anual

Novamente, gerando a função da linha de tendência dos dados acerca do custo médio anual é possível calcular o U ótimo dos envidraçados, pela execução da derivada da função e igualando a zero a função resultante da derivada, processo idêntico ao do subcapítulo anterior.

### 3.7.3. U ótimo da parede exterior para o edifício com a melhor medida de eficiência energética

Neste caso de estudo, após a análise das várias simulações e escolha do melhor sistema de cada um dos quatro países, optou-se por recalculer o valor da espessura de isolamento ótima e do U total da parede ótimo.

Os valores serão recalculados através do mesmo processo que o anterior, no cálculo dos U's ótimos para o edifício com o sistema de referência. De notar que nem todo o processo é idêntico, pois para esta situação teremos de simular o sistema que apresenta uma melhoria de eficiência energética maior, isto é, aquando da simulação no *software* HAP, seleccionar o sistema que se pretende e não o sistema de referência, como se fazia nos subcapítulos anteriores.

### 3.7.4. U ótimo dos envidraçados para o edifício com a melhor medida de eficiência energética

Referente ao cálculo do U ótimo dos envidraçados, no processo de simular os vários valores de U's das janelas, teremos de seleccionar o sistema que apresenta ser a melhor medida de eficiência energética, como explicado também no subcapítulo anterior. Todo

o restante processo, após todas as simulações, do cálculo do U ótimo é feito da mesma forma que todos os outros U's ótimos calculados até agora.

## **4. Resultados e Análise**

No presente capítulo, apresentar-se-á os resultados obtidos através das várias simulações feitas, analisando e comentando alguns dos aspetos mais importantes das várias simulações.

Primeiramente, serão apresentados os valores das simulações dos vários sistemas abordados para cada um dos países em estudo, para posterior análise de qual dos sistemas é mais recomendável para utilização no edifício para o país em questão.

Num outro capítulo, apresenta-se os valores obtidos para o cálculo do U ótimo das paredes e das janelas e uma breve análise dos resultados.

Segue-se o estudo acerca da aplicação dos vários U's ótimos encontrados para os diferentes países e sistemas (sistema de referência e o sistema mais benéfico), e análise de quais as melhorias implícitas na aplicação dos vários valores de U nos consumos de exploração dos sistemas de climatização.

Posteriormente aplicar-se-á a metodologia do custo ótimo aplicada aos vários sistemas de climatização.

Por último, serão apresentados os valores das emissões de CO<sub>2</sub> dos vários sistemas, para que se consiga perceber, através da análise de um simples gráfico, quais dos sistemas são os mais e os menos poluidores.

### **4.1. Estudo 1 – Consumo de energia Final de cada país**

Através das várias simulações efetuadas é possível saber quais são os consumos necessários de energia final para cada um dos países, devido as cargas externas e cargas internas a que o edifício se encontra exposto. Quanto às cargas internas, elas são independentes da localização do edifício, pois estas cargas referem-se aos equipamentos elétricos, à ocupação e à iluminação a que o edifício está sujeito. Nas cargas externas, a localização do edifício já é um fator importante para os ganhos e perdas de energia do mesmo. Dito isto, será expectável que em climas mais quentes, os consumos de energia primária no arrefecimento sejam mais elevados do que nos climas mais frios, e no

aquecimento, o contrário acontece, climas mais frios com maior consumo de energia para o aquecimento que nos climas mais quentes.

Tabela 20 - Necessidades de energia primária

	Necessidades de energia [KW.h]							
	Sem Recuperador				Com Recuperador			
	Portugal	Grécia	Alemanha	Finlândia	Portugal	Grécia	Alemanha	Finlândia
Arrefecimento	536450	622187	509956	500798	542062	623029	512336	502122
Aquecimento	126323	117904	240953	330019	54570	44427	51588	64245

Pelas várias simulações efetuadas no software HAP, é possível determinar quais as necessidades de energia final necessária para cada país, dependentemente se é utilizado recuperador de calor ou não. Os primeiros quatro países apresentados tanto na tabela como no gráfico a seguir referem-se ao sistema AVAC sem qualquer tipo de recuperador de calor na UTAN, enquanto que os quatro últimos valores já se referem ao consumo de energia final com a utilização de um recuperador de calor. Como o recuperador de calor servirá para induzir um pré-aquecimento do ar exterior antes de tocar nas superfícies das baterias de aquecimento, é esperado que os consumos de energia diminuam consideravelmente com a sua utilização. Espera-se uma diminuição maior nos climas mais frios do que nos climas mais quentes.

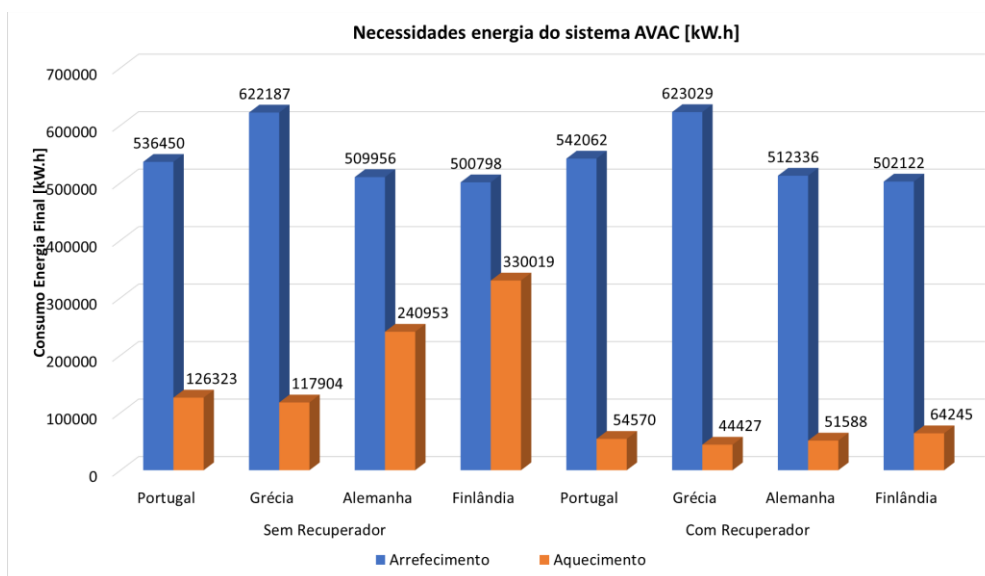


Figura 76 - Gráfico das necessidades de energia final do sistema AVAC

Pelos valores calculados pelas simulações, descritos na tabela e agora apresentados no gráfico, pode-se ver que os consumos de energia no arrefecimento com a utilização do recuperador de calor são maiores que os valores do consumo de energia no arrefecimento

sem o recuperador. Este aumento do consumo de energia final deve-se a uma incompatibilidade a nível informático que o software de simulação utilizado fornece. Essa incompatibilidade está no facto de o programa não permitir que se faça um *bypass* ao recuperador de calor, de forma a que o ar de retorno não troque energia térmica com o ar exterior, aquecendo-o. Devido a esta incompatibilidade de o programa estar sempre a fazer com que o recuperador de calor troque energia térmica entre os fluídos, o ar exterior sofre sempre um pré-aquecimento, mesmo nas situações em que não é rentável fazê-lo, aumentando assim a temperatura do mesmo e depois arrefecendo-o na bateria de arrefecimento, o que se torna um pouco contraditório, pré-aquecer para de seguida arrefecer, aumentando assim a energia consumida pela bateria de arrefecimento.

Tirando essa adversidade nos resultados, tudo o resto encontra-se coerente. Nos climas mais quentes, a energia consumida no arrefecimento é maior que nos climas mais frios, e nestes últimos, a energia consumida para o aquecimento é maior que nos climas mais quentes.

Note que seria esperado também um menor consumo de energia no modo arrefecimento do que no modo de aquecimento para os países com o clima mais frio, mas isto acontece pelo facto de as cargas internas impostas pelos equipamentos, iluminação e ocupação serem bastante elevadas, tornando-se numa mais valia nas situações de aquecimento, em que os próprios equipamentos aquecem o ar ambiente do edifício, poupando no aquecimento, mas por sua vez, implica um aumento no consumo de energia no modo de arrefecimento, quando este é necessário.

Por fim, quanto à utilização do recuperador de calor, embora haja o problema do programa já referenciado, ele torna-se bastante vantajoso no modo de aquecimento. Quanto mais o clima é frio, mais vantajoso se torna.

Nos climas mais quentes, onde se impunha a dúvida se a utilização do recuperador de calor seria rentável, chega-se à conclusão que o é, pois poupa muita energia primária no modo aquecimento, e por consequência disso, um menor custo de exploração do sistema AVAC, embora se tenha de investir num recuperador de calor e na sua manutenção.

## **4.2. Estudo 2 – Sistema de climatização mais benéfico**

Neste segundo estudo, serão apresentados os valores das simulações dos vários sistemas abordados para cada um dos países. Seguir-se-á uma análise de qual dos sistemas é mais

recomendável para utilização no edifício em questão, dependendo do país em que o edifício se insere.

Note-se que os valores abordados de custos de exploração, são dos equipamentos de produção de energia térmica, que tanto promovem o aquecimento da água do sistema de climatização como as AQS.

#### **4.2.1. Portugal**

O primeiro país a ser abordado neste segundo estudo será Portugal.

Numa primeira fase, transpõe-se todos os dados obtidos das simulações feitas para Portugal referentes aos custos de exploração dos vários sistemas de geração de energia, para uma folha de cálculo no Excel. Desta forma, poderá ser elaborada uma tabela referente aos dados mencionados e por sua vez um gráfico, para que se possa compreender melhor os resultados obtidos.

Inicialmente serão demonstrados por intermédio de um gráfico os custos de exploração totais, isto é, o somatório dos custos de exploração do sistema em modo aquecimento e em modo arrefecimento. Depois serão apresentados os valores dos custos de exploração no modo aquecimento e no modo de arrefecimento, separadamente. Porventura existirão sistemas que para o mesmo país são benéficos para fornecimento de energia térmica em modo aquecimento e para o modo de arrefecimento, já não o são.

Tabela 21 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados a Portugal

	Custo de Exploração [Euro]											
	Sem Recuperador						Com Recuperador					
	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets
Air System Fans	27756	27756	27756	27756	27756	27756	27798	27798	27798	27798	27798	27798
Cooling	38073	38073	29007	29007	17894	17894	38234	38234	28833	28833	17883	17883
Heating HVAC	11639	6373	5155	5155	6418	6418	5028	2753	2214	2214	2757	2757
Heating+AQS	134661	73732	66782	61459	80527	75152	128050	70112	65113	58510	77501	70898
Pumps	4234	4234	3215	3215	3189	3189	4234	4234	3214	3214	4666	4666
Heat Rejection Fans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVAC Sub-Total	204723	143794	126759	121436	129365	123991	198316	140378	124958	118356	127847	121245
Lights	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307	17307
Electric Equipment	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149	83149
Misc. Electric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-HVAC Sub-Total	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456	100456
Grand Total	305179	244250	227215	221892	229821	224446	298771	240833	225414	218811	228303	221701

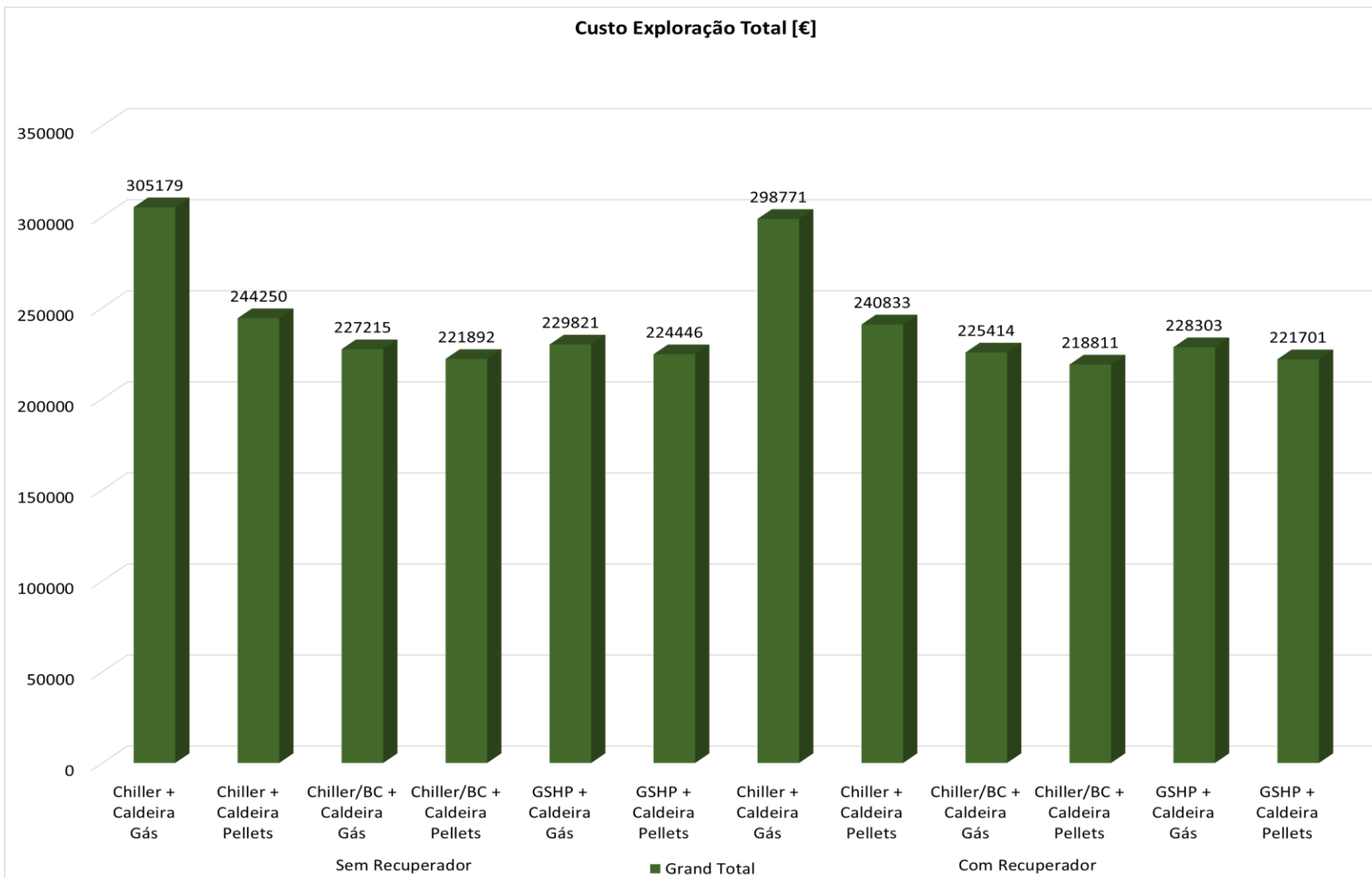


Figura 77 - Gráfico do custo de exploração total dos sistemas de climatização para Portugal

É importante referir que as primeiras seis barras se referem ao sistema sem recuperador de calor e as restantes ao sistema com recuperador de calor.

Como se pode analisar, o sistema tido como referência, sistema sem recuperador de calor constituído por chiller e caldeira a gás, é a que apresenta um maior custo de funcionamento. O segundo mais desvantajoso é o sistema constituído pelos mesmos equipamentos de produção de energia térmica, mas este constituído também com um recuperador de calor na UTAN.

Todos os outros sistemas, comparando os custos de exploração totais com o custo do sistema de referência, aparentam ser todos muito mais vantajosos a nível financeiro.

De maneira a compreender melhor as diferenças existentes a nível financeiro dos sistemas, comparando com o sistema de referência, foi realizado um gráfico que contabiliza a diferença dos custos totais dos vários sistemas comparando com o sistema de referência.

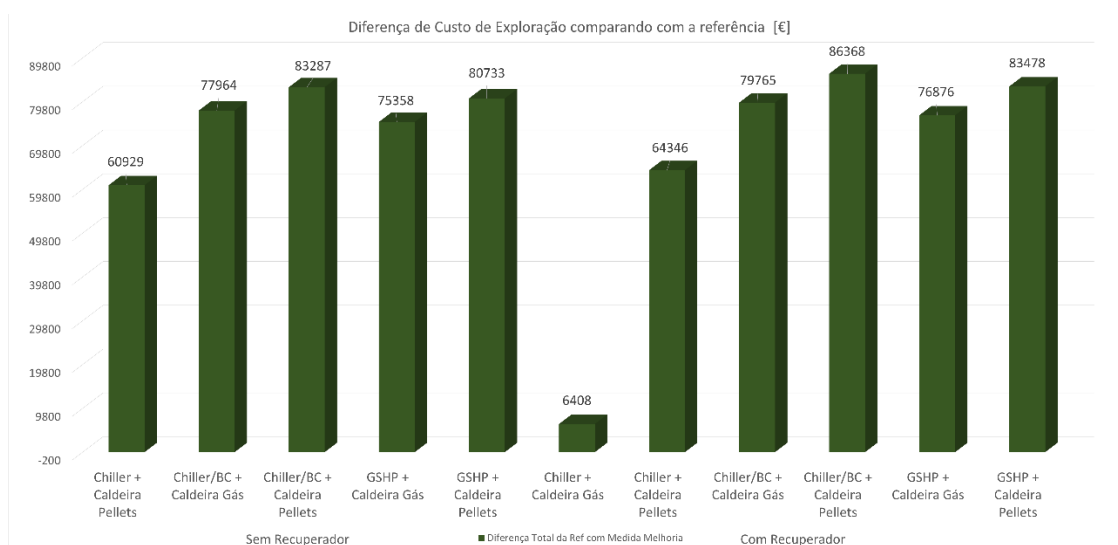


Figura 78 - Diferença de custos de exploração comparando com o sistema de referência para Portugal

Como este gráfico relaciona a diferença entre os consumos dos vários sistemas com o sistema de referência, quanto maior for a coluna, maior será a diferença, logo esse será o melhor sistema a utilizar. Dito isto, o sistema que aparenta ser mais vantajoso é a utilização de uma UTAN com recuperador de calor e bombas de calor reversíveis ar-água com uma caldeira de biomassa a pellets a auxiliar o aquecimento da água.

Repare-se na coluna mais baixa, esta simboliza a diferença entre a utilização de um recuperador de calor ou não. Sendo assim, a utilização de um recuperador de calor na UTAN induzirá uma poupança em termos anuais de 6408 euros.

No que toca só à utilização de sistemas de arrefecimento ou de aquecimento da água, a análise dos valores pode não coincidir com as conclusões tiradas anteriormente.

Para o caso de estudo abordado, um edifício de serviços, que trabalha todo o ano, os valores a serem tidos em consideração mais seriamente são os custos de exploração do sistema em global, o sistema de aquecimento e arrefecimento da água.

Caso o edifício apenas funcionasse na estação quente, necessitaríamos apenas de um sistema de arrefecimento, e para essa situação em Portugal, o sistema mais vantajoso a ser utilizado seria a bomba de calor geotérmica acoplada a uma UTAN equipada com recuperador de calor, como poderemos ver pelo gráfico a seguir.

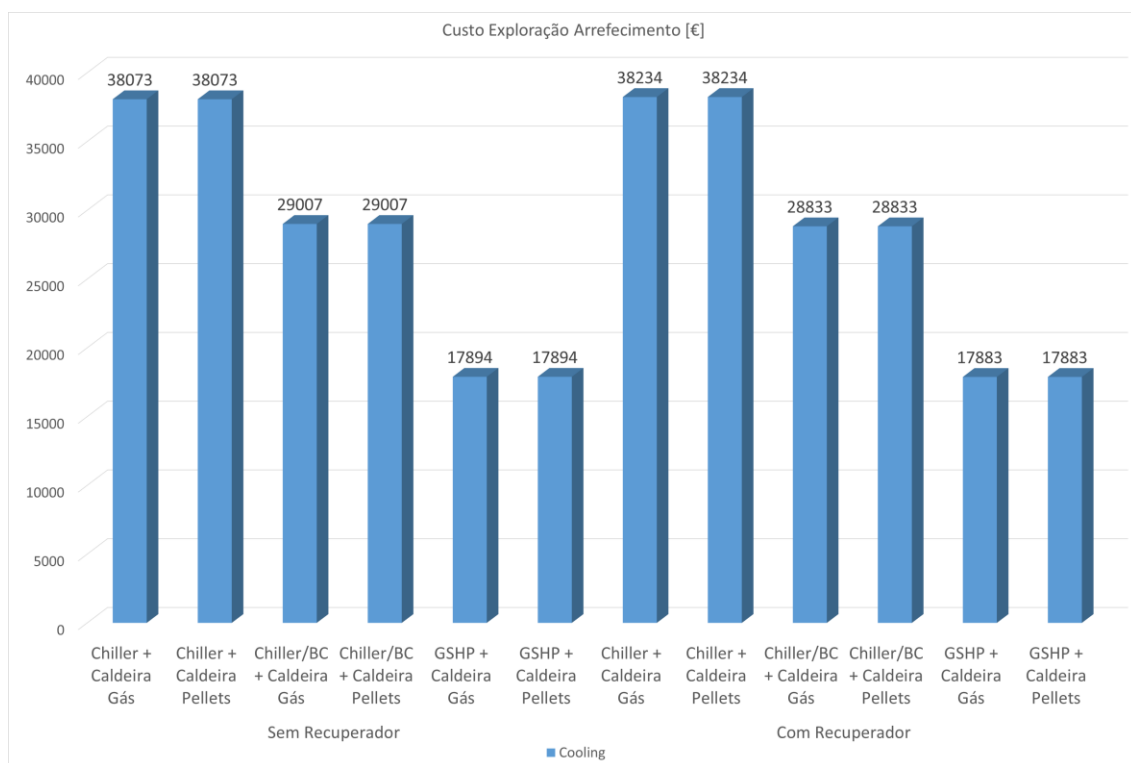


Figura 79 - Gráfico do custo de exploração dos sistemas de arrefecimento para Portugal

Nesta situação da análise dos custos de exploração dos sistemas no modo de arrefecimento, talvez o investimento feito num recuperador de calor e na sua manutenção não fizesse tanto sentido, como faz para o modo de aquecimento, mas para tal teríamos de saber qual o custo envolvido na obtenção de um recuperador de calor e na sua

manutenção para que fosse possível afirmar com mais clareza e sem dúvidas que aplicação do mesmo não é fiável.

Caso o nosso edifício apenas precisasse de aquecimento, o sistema que traria o maior benefício, seria a bomba de calor aerotérmica auxiliada por uma caldeira de biomassa a *pellets* e uma UTAN com recuperador de calor.

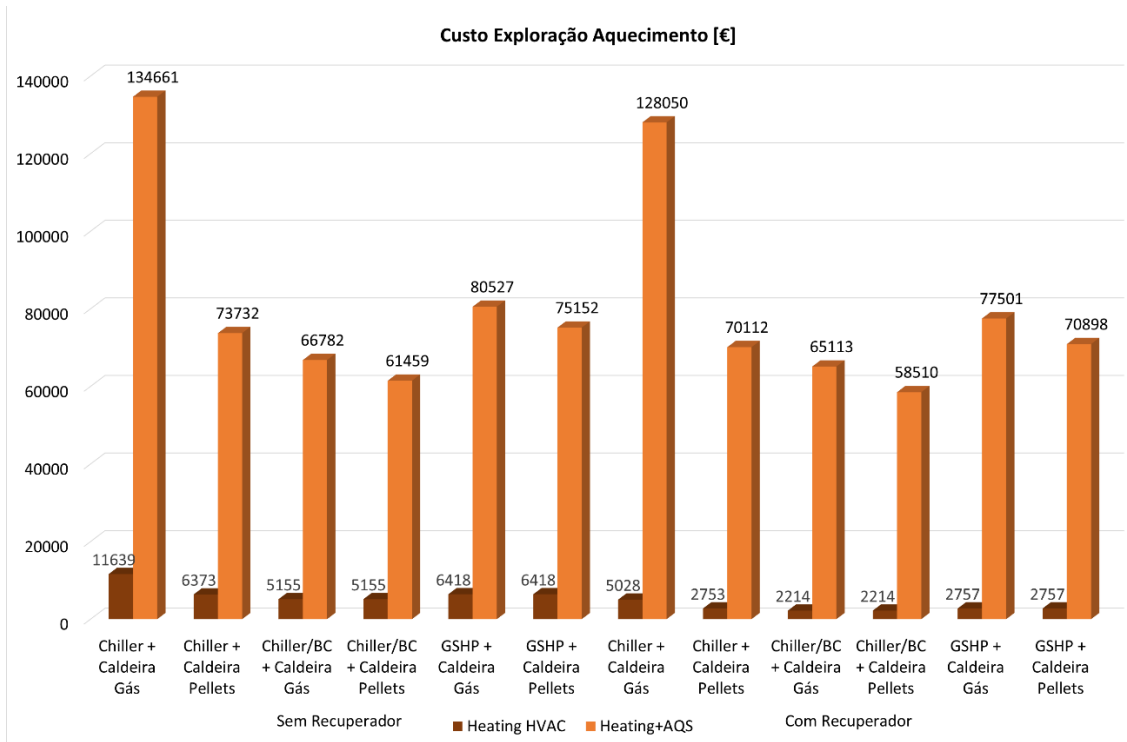


Figura 80 - Gráfico do custo de exploração dos sistemas de aquecimento para Portugal

Referente ao gráfico apresentado, as colunas de cor castanha representam os custos de exploração dos vários sistemas, na climatização do edifício, enquanto as colunas a laranja, designam-se aos custos de exploração dos sistemas de geração de água quente para o sistema de climatização e para o consumo de água quente sanitária.

Para a determinação dos custos de exploração do sistema apenas da climatização do edifício, foi necessário calcular o coeficiente de performance (COP) das bombas de calor e ter em conta o rendimento imposto de 89% nas caldeiras. O cálculo do COP é feito a partir da relação do consumo de energia final total da máquina e a energia útil que a mesma disponibiliza ao sistema. Após o cálculo do COP, divide-se o valor da energia útil consumida para a climatização do edifício pelo rendimento da caldeira ou o COP da bomba de calor, e assim, é calculado o valor da energia final consumida apenas para a climatização. Por fim, na determinação do custo de exploração, é multiplicar o custo por

kW.h pela energia final, no caso da eletricidade e do gás. Na determinação do custo de exploração da caldeira de biomassa a *pellets*, é preciso multiplicar pelo inverso do poder calorífico dos *pellets* e só depois pelo custo por kg de *pellets*.

Através do gráfico, consegue-se entender que o excessivo custo de exploração no aquecimento da água deve-se ao facto do aquecimento da água quente sanitária e não da climatização.

Em relação à utilização ou não de recuperador de calor na UTAN, dado que existe alguma diferença de custos no funcionamento dos vários sistemas com recuperador e os sem recuperador, pode-se concluir que para Portugal, faz sentido acoplar um recuperador de calor na UTAN para aproveitamento da energia térmica proveniente dos espaços climatizados, de forma a pré-aquecer o ar antes de passar pelas baterias de aquecimento da UTAN.

Para terminar, são de seguida apresentadas as soluções com melhor desempenho financeiro para Portugal dependentemente das estações do ano em que funcionam, e um gráfico com todos os custos de exploração abordados.

*Tabela 22 - Soluções mais favoráveis para as diferentes estações climáticas em Portugal*

Solução mais favorável		
Situação Total	Chiller/BC + Caldeira <i>Pellets</i>	Com Recuperador
Situação de Arrefecimento	GSHP + Caldeira Gás	Com Recuperador
Situação de Aquecimento	Chiller/BC + Caldeira <i>Pellets</i>	Com Recuperador

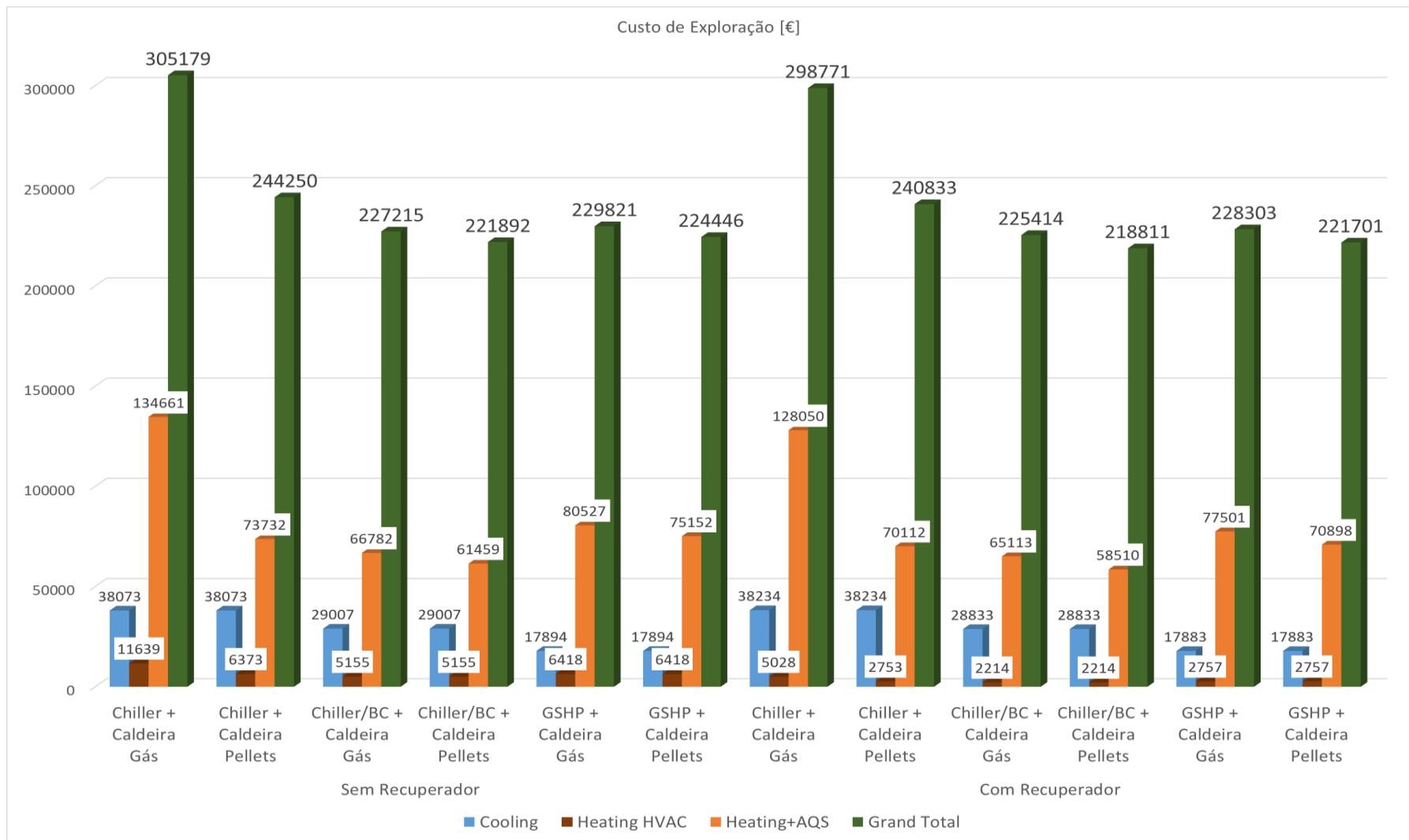


Figura 81 - Gráfico dos custos de exploração dos sistemas em Portugal

#### 4.2.2. Grécia

Dado que a Grécia apresenta um clima semelhante ao de Portugal, é expectável que os resultados que se irão obter no estudo da melhor solução para este país sejam semelhantes ou parecidos aos resultados obtidos anteriormente.

Através dos mesmos passos que se efetuou para o estudo de Portugal, tratado anteriormente, para a Grécia efetuar-se-á o mesmo, transpor os dados das simulações efetuadas para uma folha excel, criando uma tabela e posteriormente os gráficos mais interessantes para o estudo da melhor medida de eficiência energética no sistema AVAC.

Pelo gráfico apresentado de seguida referente ao custo de exploração totais, onde se apresenta o valor do somatório de todos custos envolvidos na climatização e no aquecimento das águas quentes sanitárias, chega-se à conclusão que o melhor sistema a ser utilizado é o mesmo sistema considerado como melhor para Portugal, sistema bomba de calor aerotérmica com apoio de uma caldeira de biomassa a *pellets* no aquecimento e uma UTAN equipada com recuperador de calor.

Se a análise for feita apenas em termos de custos na climatização do edifício, as conclusões retiradas já não são as mesmas, pois anteriormente estava-se a considerar os custos no aquecimento das águas quentes sanitárias.

Considerando apenas os custos envolvidos apenas na climatização, considera-se a coluna de cor azul, referente ao arrefecimento, e a coluna castanha que se refere aos custos no aquecimento da água para climatização do edifício. Caso o método de escolha do melhor sistema fosse apenas o custo na climatização do edifício, as bombas de calor geotérmicas e uma UTAN com recuperador de calor são a melhor solução. Para a climatização do edifício, é indiferente a utilização de uma caldeira a gás ou a *pellets* como auxiliar, pois os custos são os mesmos, visto serem apenas as bombas de calor a fornecer a água quente para climatização do edifício, ficando as caldeiras como auxiliares para aquecimento das águas quentes sanitárias.

Tabela 23 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Grécia

	Custo de Exploração [Euro]											
	Sem Recuperador						Com Recuperador					
	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + CaldeiraPellets	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + CaldeiraPellets
Air System Fans	20756	20756	20756	20756	20756	20756	20789	20789	20789	20789	20789	20789
Cooling	33589	33589	25753	25753	15512	15512	33362	33362	25262	25262	15287	15287
Heating HVAC	8610,97	7029,36	3582,95	3582,95	4456,05	4456,05	3244,67	2648,71	1341,31	1341,31	1669,17	1669,17
Heating + AQS	106128	86635	50465	48623	60316	58473	100762	82255	49454	47145	58475	56165
Pumps	3167	3167	2403	2403	3513	3513	3167	3167	2403	2403	3499	3499
Heat Rejection Fans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVAC Sub-Total	163640	144147	99378	97535	100097	98255	158080	139572	97908	95599	98050	95740
Lights	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942	12942
Electric Equipment	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181	62181
Misc. Electric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-HVAC Sub-Total	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123	75123
Grand Total	238763	219270	174501	172659	175221	173378	233203	214696	173031	170722	173173	170864

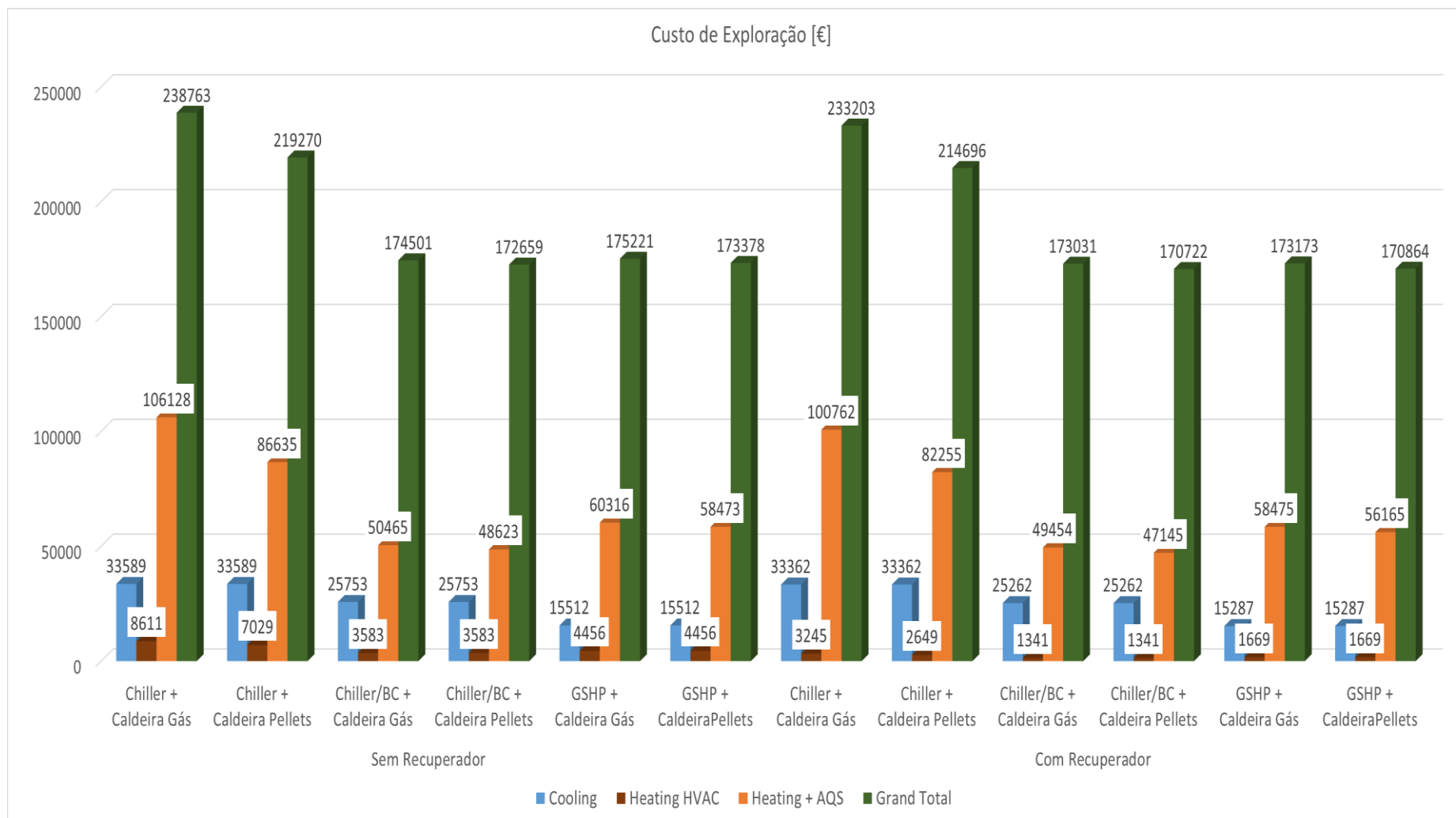


Figura 82 – Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Grécia

### 4.2.3. Alemanha

O clima da Alemanha é mais frio e seco, derivado do seu afastamento do mar, em relação aos dois países já mencionados neste estudo. Derivado do facto de o clima ser mais frio, as necessidades de aquecimento do edifício são maiores que dos países já abordados.

Como se pode ver pelos valores obtidos através da simulação para a Alemanha, os custos de exploração totais aumentaram, tal como o custo de exploração do sistema no modo aquecimento e no modo de arrefecimento, sendo o aumento deste último um acontecimento anormal, que não seria de esperar.

Embora o aumento do custo de exploração no modo arrefecimento não fosse de esperar numa situação normal, o facto é que já foi explicado no estudo número um, o porquê de acontecer. Muito resumidamente, e explicando o que já foi dito, o que acontece é que o HAP apresenta uma incompatibilidade em termos da sua programação, que não identifica quando o recuperador de calor deve funcionar e quando não o deve de fazer. Isto faz com que em certas situações, mais propriamente no modo de arrefecimento, o ar seja pré-aquecido desnecessariamente, e assim se gaste mais energia para o arrefecer.

Através do gráfico acerca dos custos de exploração totais dos vários sistemas, para a situação em que a climatização e o aquecimento de AQS é feita durante todo o ano, a situação mais vantajosa é a utilização de uma UTAN equipada com recuperador de calor e na geração de energia térmica, bombas de calor geotérmicas com a caldeira de biomassa a *pellets* como auxiliar ao aquecimento das AQS.

Numa situação em que apenas fosse necessário o sistema para arrefecimento do edifício, o sistema que traria um maior benefício em termos económicos seriam novamente as bombas de calor geotérmicas, o que já não acontece no modo de aquecimento do edifício.

No modo de aquecimento, seja da água para climatização ou da água para climatização e AQS, o sistema mais vantajoso seria a utilização de uma caldeira de biomassa para o aquecimento. O aquecimento é mais vantajoso com uma caldeira alimentada a *pellets* derivado do poder calorífico e do preço por quilograma dos *pellets*, fazendo com que este seja a fonte de energia para o aumento de temperatura mais barata, para a situação do edifício se localizar na Alemanha.

Tabela 24 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Alemanha

	Custo de Exploração [Euro]											
	Sem Recuperador						Com Recuperador					
	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets
Air System Fans	35962	35962	35962	35962	35962	35962	36036	36036	36036	36036	36036	36036
Cooling	44518	44518	35336	35336	22405	22405	44687	44687	34652	34652	22075	22075
Heating HVAC	17327	13758	15009	15009	15879	15879	3710	2946	3165	3165	3400	3400
Heating + AQS	113344	89996	100167	98546	105523	103902	99727	79184	87519	85290	92659	90430
Pumps	5486	5486	4167	4167	6091	6091	5486	5486	4165	4165	6040	6040
Heat Rejection Fans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVAC Sub-Total	199310	175961	175632	174011	169980	168359	185936	165393	162372	160143	156811	154582
Lights	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424	22424
Electric Equipment	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732	107732
Misc. Electric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-HVAC Sub-Total	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156	130156
Grand Total	329465	306117	305787	304167	300136	298515	316092	295548	292528	290299	286966	284737

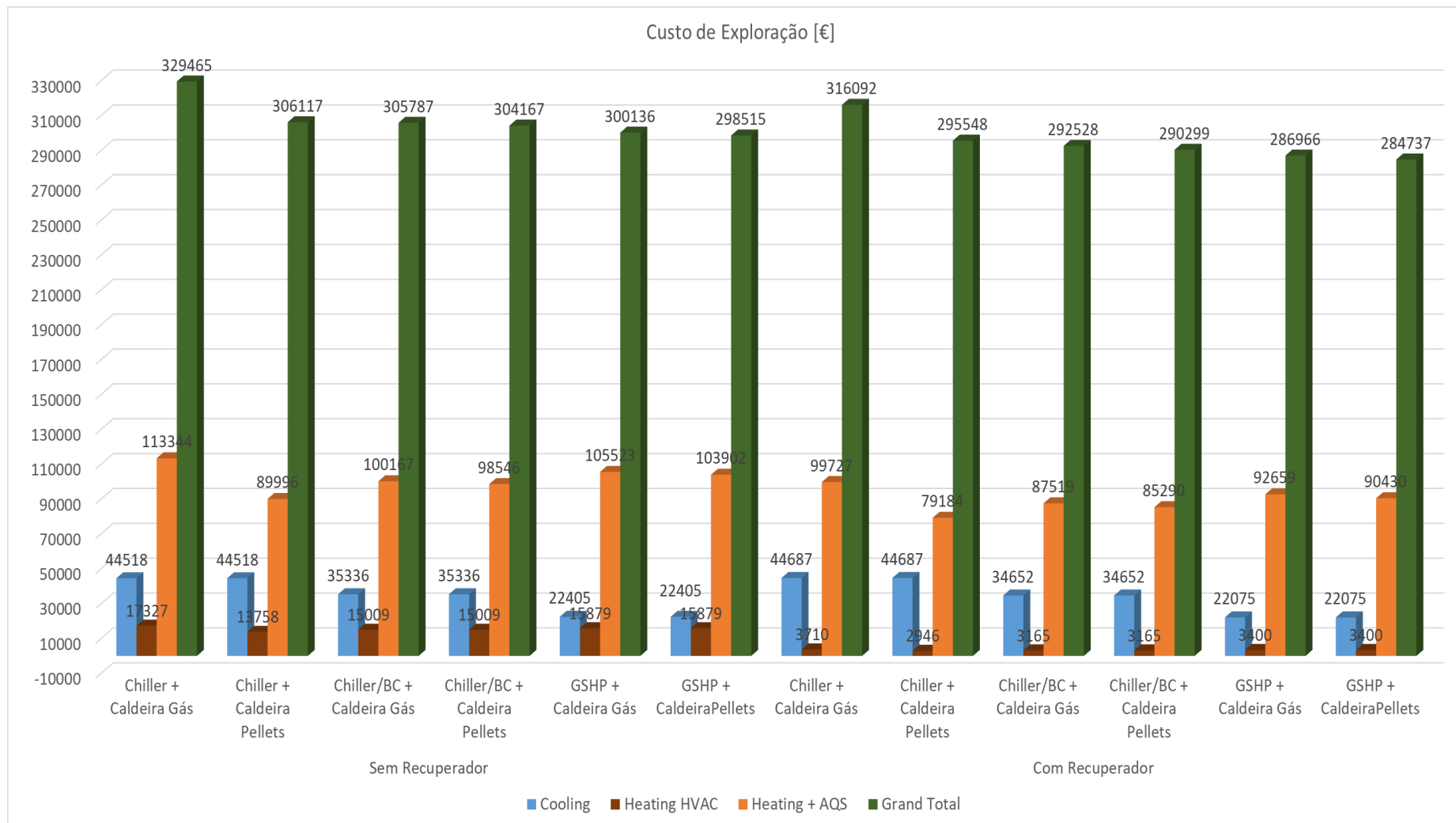


Figura 83 - Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Alemanha

#### 4.2.4. Finlândia

Sendo o clima da Finlândia o mais frio de todos os países em estudo, é o país com maior necessidade de energia final para o aquecimento, como já visto no primeiro estudo.

Através da simulação do edifício para o clima deste país, nota-se um ligeiro decréscimo dos custos de exploração dos sistemas de climatização face aos da Alemanha, isto porque embora as necessidades de energia sejam maiores, o preço da energia é menor na Finlândia.

Num país como a Finlândia em que o preço por kW.h de gás é menor que o preço dos *pellets* convertidos em kW.h, alguns sistemas que nos países já analisados seriam uma má decisão, para a Finlândia talvez sejam sistemas que mereçam alguma consideração na hora de determinar qual o sistema mais benéfico economicamente.

Pela tabela e gráfico representados de seguida, resultantes da simulação do edifício em estudo no clima da Finlândia é possível determinar qual dos sistemas aparenta ser o melhor. Considerando apenas os custos de exploração nos vários sistemas, o que apresenta o menor custo é o sistema constituído por recuperador de calor e bomba de calor geotérmica com a caldeira a gás a auxiliar o aquecimento da AQS. Encontra-se a caldeira a gás no sistema com menor custo de exploração derivado do que já foi descrito acerca do preço do gás comparando com os *pellets*.

Caso apenas se considerasse o sistema como sendo apenas para aquecimento do edifício, isto é, climatização, não necessitaríamos da caldeira a gás acoplada à bomba de calor geotérmica, pois a caldeira só serve para auxiliar o aquecimento da AQS. Desta forma, apenas seria consumida energia elétrica pela bomba de calor geotérmica, reduzindo imenso nos custos de exploração e nas emissões de gases para atmosfera, parâmetro ainda a ser analisado num estudo posterior.

No arrefecimento do edifício, a bomba de calor geotérmica também apresenta o melhor custo exploração, fazendo com que o sistema com recuperador de calor e bomba de calor geotérmica o melhor sistema a nível de aquecimento e arrefecimento na climatização do edifício.

Tabela 25 - Custo de exploração dos vários sistemas aplicados à Finlândia

	Custo de Exploração [Euro]											
	Sem Recuperador						Com Recuperador					
	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets	Chiller + Caldeira Gás	Chiller + Caldeira Pellets	Chiller/BC + Caldeira Gás	Chiller/BC + Caldeira Pellets	GSHP + Caldeira Gás	GSHP + Caldeira Pellets
Air System Fans	18705	18705	18705	18705	18705	18705	18749	18749	18749	18749	18749	18749
Cooling	21647	21647	17904	17904	11561	11561	21692	21692	17414	17414	11314	11314
Heating HVAC	16315,5	20583,6	12231,7	12232	11337,1	11337,1	3176,16	4007,03	2335,36	2335,36	2190,97	2190,97
Heating + AQS	82327	103864	63383	64512	59067	60196	69188	87287	53209	55028	50356	52175
Pumps	2854	2854	2168	2168	3174	3174	2854	2854	2166	2166	3142	3142
Heat Rejection Fan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HVAC Sub-Total	125533	147070	102160	103289	92506	93636	112482	130582	91539	93357	83561	85379
Lights	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663	11663
Electric Equipment	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035	56035
Misc. Electric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-HVAC Sub-Total	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698	67698
Grand Total	193232	214768	169858	170987	160205	161334	180181	198280	159237	161056	151259	153078

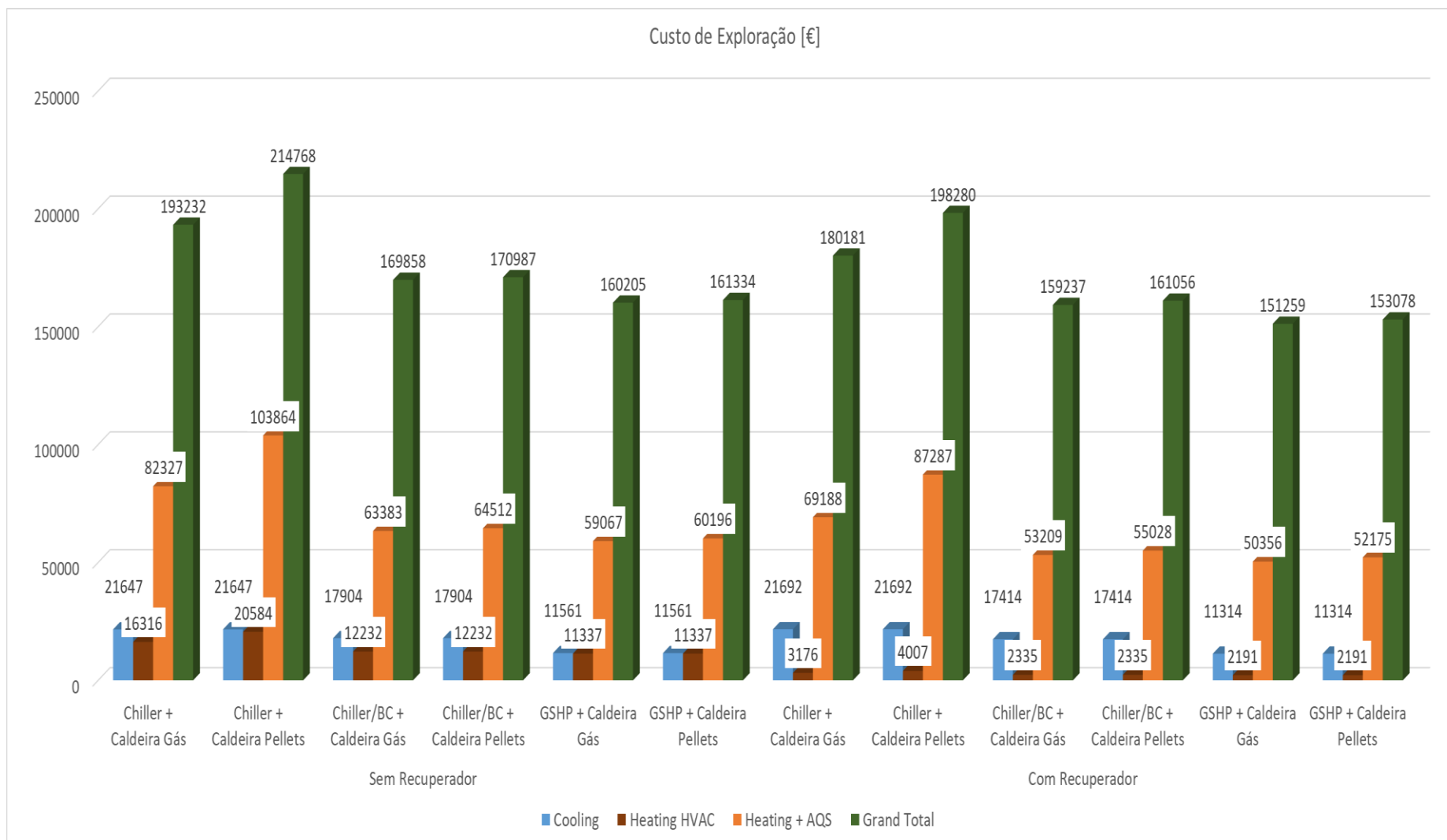


Figura 84 - Gráfico dos custos de exploração dos vários sistemas aplicados à Finlândia

### **4.3. Estudo 3 – U ótimo das paredes e envidraçados no sistema de referência**

Este estudo número 3 refere-se à análise de quais os coeficientes globais de transferência de calor ótimos nas paredes e janelas, isto é, quais os valores de U que irão fazer com que se reduza os custos de exploração no sistema admitido como referência para cada país. Para o cálculo do U ótimo é preciso considerar-se os custos de investimento das várias espessuras de isolamento, sendo que o custo é diretamente proporcional com a espessura de isolamento, ou seja, quanto mais for a sua espessura mais elevada é o seu custo por área. Em relação às janelas, quanto melhores estas forem, em termos de características de transmissão térmica e estanquicidade, mais caras serão.

Um outro parâmetro a ser considerado no cálculo dos vários U's ótimos é as implicações que as variações dos U's nas paredes ou nas janelas têm nos custos de exploração finais do sistema de referência.

Através da análise destes parâmetros é possível saber qual o isolamento e as janelas mais aconselháveis para reduzir o custo de exploração de determinado sistema.

#### **4.3.1. Portugal**

Na utilização do sistema de referência, o valor calculado de U ótimo correspondente à parede é de  $0,847 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , com uma espessura de isolamento de  $5,048 \text{ mm}$ . Este valor calculado é maior face ao valor atribuído como referência,  $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , nas várias simulações para determinação do melhor sistema a ser aplicado em Portugal.

Sendo o valor de U ótimo maior que o de referência significa que as trocas de energia térmica através das paredes exteriores são mais elevadas. Embora pareça um pouco contrassenso instalar-se paredes com pior isolamento que as paredes de referência para reduzir os custos de exploração, esta melhora consideravelmente os custos no funcionamento do sistema.

A redução do custo de exploração acontece devido a duas características, o custo de investimento no isolamento da parede não ser tão elevado do que se tratasse de uma parede com o U de referência e devido às paredes conseguirem trocar energia térmica com as cargas internas elevadas produzidas pelos equipamentos, iluminação e ocupação.

É um facto que esta medida provoca uma redução dos custos aquando do modo de arrefecimento do edifício, mas no modo de aquecimento iremos ter um maior consumo de energia do que se tratasse das paredes com o U de referência.

De forma a otimizar os consumos, quer no aquecimento como no arrefecimento do edifício, pelo sistema de climatização, na obtenção dos valores de U ótimos foram considerados ambos os gastos no consumo de energia térmica, de forma a que o valor de U ótimo calculado seja ótimo para ambas as situações de climatização.

Neste estudo, para além de se calcular qual o valor de U otimizado para o edifício, também se calcula quais as melhorias em termos financeiros, provocadas pelas utilizações na envolvente do edifício do U ótimo das paredes com as janelas com U de referência, das paredes de referência com as janelas com U ótimo e com a utilização de ambos os valores ótimos de parede e janela.

Tabela 26 – Custos médios anuais do sistema de referência em Portugal para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	135236	0	37816	0	173052	0	0	0	0
	1	0,933	135185	-0,015648	37808	-0,00245467	172993	-0,018103	0,11	0,006358	-0,011745157
	7	0,811	134902	-0,102482	37921	0,03221748	172823	-0,070265	0,78	0,045084	-0,025180797
	14,3	0,7	134661	-0,176429	38073	0,07885613	172734	-0,097573	1,58	0,091324	-0,00624895
	17,77	0,656	134576	-0,20251	38134	0,09757295	172710	-0,104937	1,972	0,1140088	0,00907182
	40,65	0,467	134179	-0,324323	38367	0,16906508	172546	-0,155258	4,319	0,249642	0,094384226
	67	0,35	133934	-0,399497	38526	0,21785155	172460	-0,181645	6,67	0,385526	0,203880761
	173	0,175	133525	-0,524992	38820	0,30806051	172345	-0,216931	18,71	1,081438	0,864506945
	397	0,088	133332	-0,58421	38957	0,35009665	172289	-0,234114	43,2	2,49696	2,262846288
	650,00	0,055	133263	-0,605382	38988	0,35960848	172251	-0,245773	72,34	4,181252	3,935478627

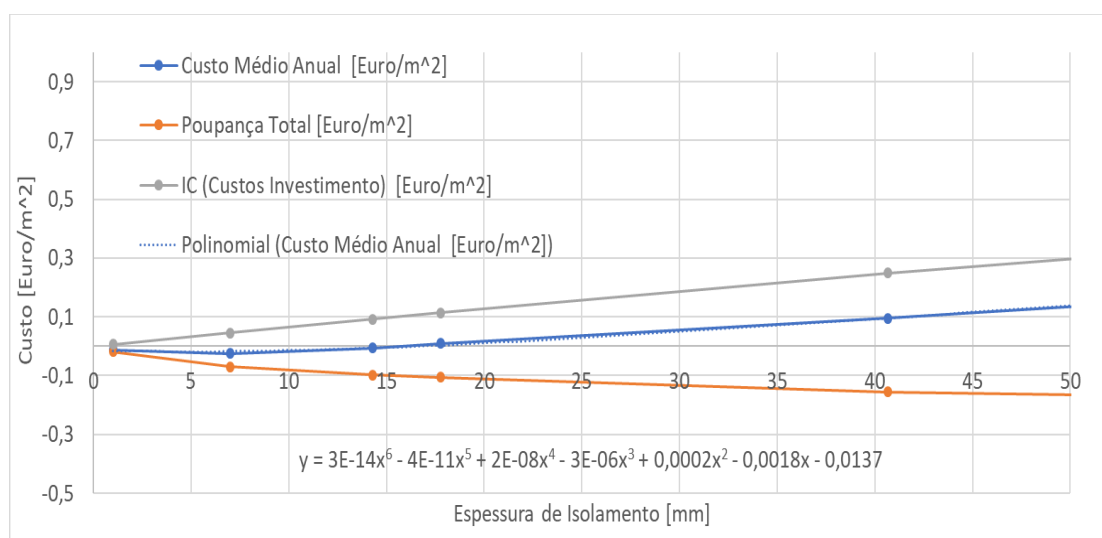


Figura 85 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência em Portugal

No caso do cálculo do U ótimo dos envidraçados, foram utilizados alguns valores de U de vários tipos de envidraçados, para as diversas simulações que foram necessárias ser feitas para o cálculo do custo de exploração total do sistema de referência. Para além do custo de exploração na produção de energia térmica, o custo dos vários tipos de envidraçados também foram tidos em conta para o cálculo do custo total do funcionamento do sistema de referência.

Tabela 27 - Custos médios anuais do sistema de referência em Portugal para os vários U's das janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	135847	0	37514		173361	0	137	7,9186	
	5,4	135244	-0,18502	37789	0,084379	173033	-0,1006	162	9,3636	9,2629587
	4,3	134661	-0,363904	38073	0,17152	172734	-0,1924	163	9,4214	9,2290156
	3	133977	-0,573778	38487	0,298549	172464	-0,2752	202	11,6756	11,400371
	1,075	132998	-0,874168	39260	0,535731	172258	-0,3384	288	16,6464	16,307963

Pela tabela criada com os respetivos valores dos custos envolvidos na exploração e investimento, calcula-se o custo médio anual. Através deste último cálculo e os vários valores de U das janelas a que cada cálculo corresponde, pode-se gerar um gráfico que relacione estes dois valores.

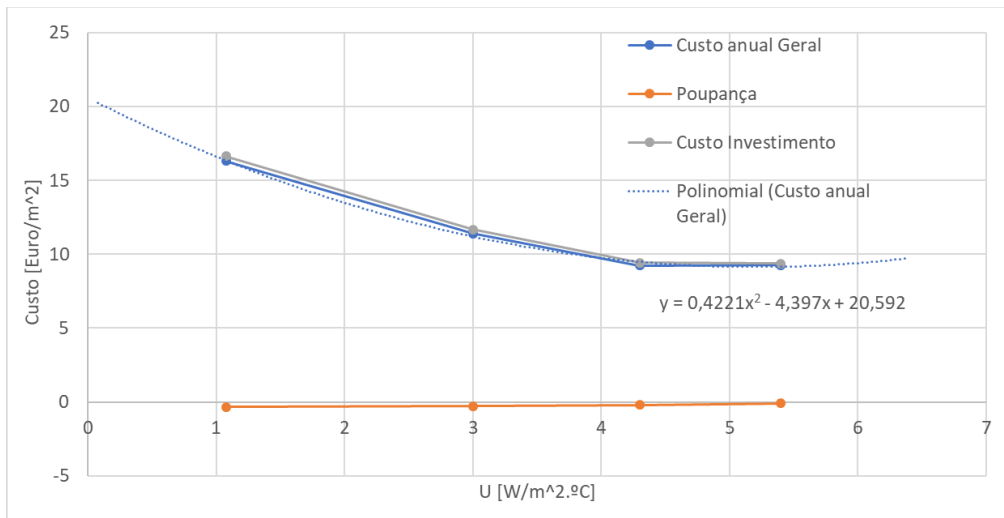


Figura 86 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência em Portugal

Pela geração de uma linha de tendência que passe pelos vários pontos referentes ao custo anual geral e pela sua função é possível calcular o valor de U ótimo para as janelas em Portugal utilizando o sistema de referência, chiller e caldeira a gás.

Passando por todo o processo de cálculo necessário, o valor de U para as janelas dado como ótimo é  $5,208 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .

Sendo o valor de referência de  $4,300 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , conclui-se que para este tipo de edifício e clima presente em Portugal o valor dado como referência não é o mais otimizado a ser instalado. Embora o valor de U ótimo e a referência não coincidam, a diferença de custos destes dois tipos de envidraçados não é muito elevada, fazendo com que não haja grande problema em optar pela instalação de janelas com o U de referência, embora esse não seja o valor ótimo para a situação em estudo.

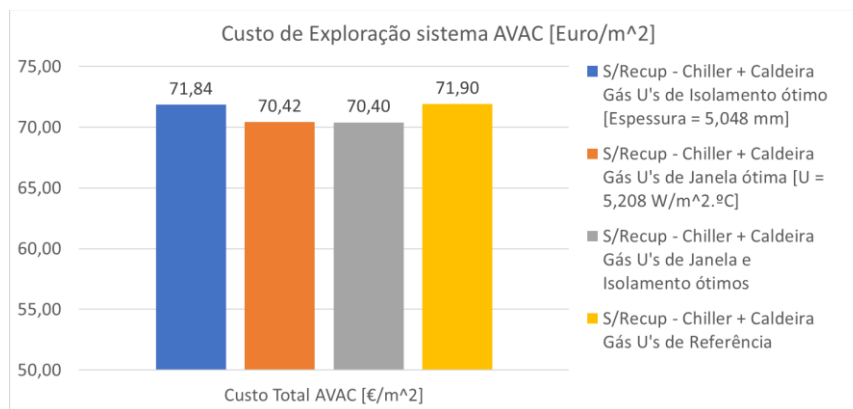


Figura 87 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício em Portugal

Pelo gráfico apresentado é perceptível que a aplicação do U ótimo da parede não induz grande poupança no custo de funcionamento. Quanto à aplicação das janelas com U ótimo, o mesmo já não acontece, pois pelo gráfico já é possível notar-se algum decréscimo do custo de exploração do sistema de climatização. Por último, quando se trata da aplicação de ambos os valores ótimos para as paredes exteriores e para as janelas, é a situação em que se poupa mais, mas face à aplicação apenas do U ótimo das janelas, a melhoria é praticamente nenhuma.

Resumindo, o valor de U ótimo da parede exterior é  $0,847 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  e da janela é  $5,208 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , sendo a aplicação destes valores a medida que mais reduzirá os custos de exploração do sistema de climatização de referência.

#### 4.3.2. Grécia

Para o estudo dos U ótimos do edifício localizado na Grécia, os mesmos procedimentos tidos em conta para Portugal, serão aplicados para este e os próximos estudos.

Embora o procedimento tenha sido o mesmo, para a determinação do valor de U ótimo das paredes, tiveram de ser tidas em consideração mais alguns valores de U das paredes para que o cálculo final do U ótimo das paredes correspondesse o mais próximo da realidade, visto que o cálculo do U ótimo é feito a partir de uma função aproximada. Esta função será tão mais próxima da realidade, quanto mais pontos se conseguir inserir no gráfico.

Pela tabela a seguir demonstrada e o gráfico que lhe corresponde, chega-se à função aproximada dos pontos referentes ao custo médio anual. Por esta função é possível chegar ao valor ótimo do U da parede.

O U ótimo calculado para o edifício em estudo situado na Grécia com o sistema de referência de Chiller e caldeira a gás em funcionamento é de  $0,575 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ . Este valor, admitindo a mesma configuração da parede do que a de Portugal, corresponde a um isolamento com 25,70 mm de espessura. O U de referência das paredes admitido na Grécia é de  $0,500 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , ou seja, o valor de referência é menor que o valor ótimo do U das paredes para o tipo de edifício em estudo.

Tabela 28 - Custos médios anuais do sistema de referência na Grécia para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	107089	0	33591	0	140680	0	0	0	0
	4,46	0,859	106870	-0,067196465	33589	-0,000613666	140459	-0,067810132	0,4739	0,027389975	-0,04042016
	14,3	0,7	106541	-0,16814458	33575	-0,004909331	140116	-0,173053911	1,58	0,091324	-0,08172991
	28	0,555	106244	-0,259274033	33591	0	139835	-0,259274033	3,108	0,1796424	-0,07963163
	41	0,465	106034	-0,323708999	33606	0,004602498	139640	-0,319106502	4,356	0,2517768	-0,0673297
	54	0,4	105881	-0,370654475	33626	0,010739161	139507	-0,359915314	5,88738	0,340290564	-0,01962475
	67	0,35	105761	-0,407474456	33616	0,007670829	139377	-0,399803627	6,67	0,385526	-0,01427763
	88	0,292	105616	-0,451965266	33639	0,014727992	139255	-0,437237274	9,786	0,5656308	0,128393526
	110	0,249	105517	-0,482341751	33654	0,01933049	139171	-0,463011261	12,243	0,7076454	0,244634139
	173	0,175	105340	-0,536651223	33679	0,027001319	139019	-0,509649903	18,71	1,081438	0,571788097
	397	0,088	105144	-0,596790525	33743	0,046638643	138887	-0,550151882	43,2	2,49696	1,946808118
650,00	0,055	105086	-0,614586849	33698	0,03283115	138784	-0,581755699	72,34	4,181252	3,599496301	

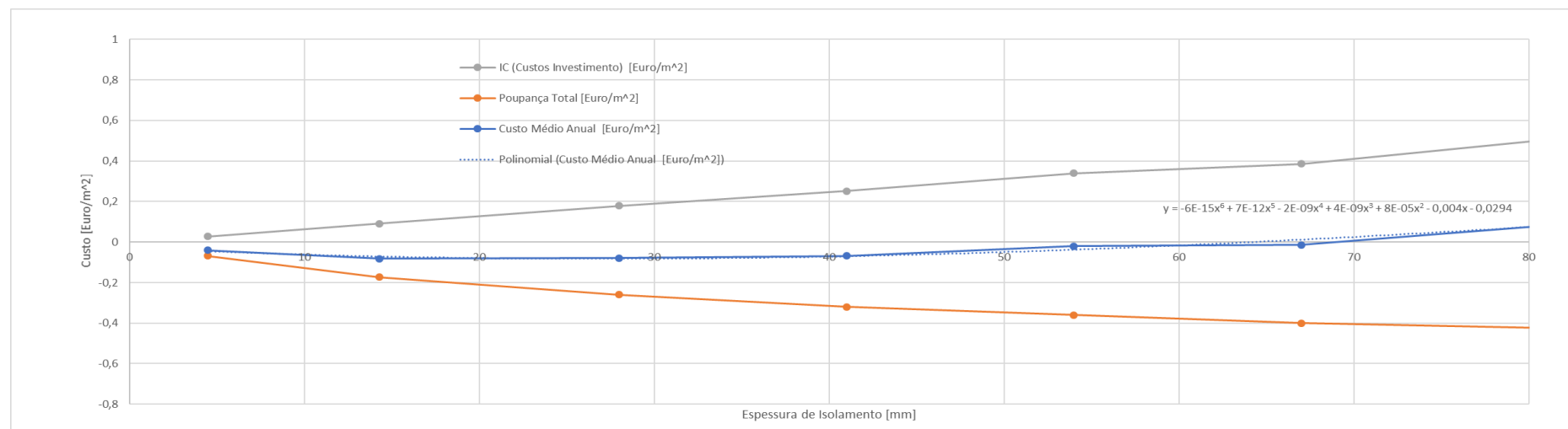


Figura 88 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência na Grécia

Tabela 29 - Custos médios anuais do sistema de referência na Grécia para os vários U's das janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	107720	0	33325		141045	0	137	7,9186	
	5,4	107215	-0,154950753	33375	0,015341659	140590	-0,13960909	162	9,3636	9,223990905
	4,3	106728	-0,304378509	33475	0,046024976	140203	-0,25835353	163	9,4214	9,163046467
	3	106128	-0,488478414	33589	0,081003958	139717	-0,40747446	202	11,6756	11,26812554
	1,075	105167	-0,783345095	33876	0,169065079	139043	-0,61428002	288	16,6464	16,03211998

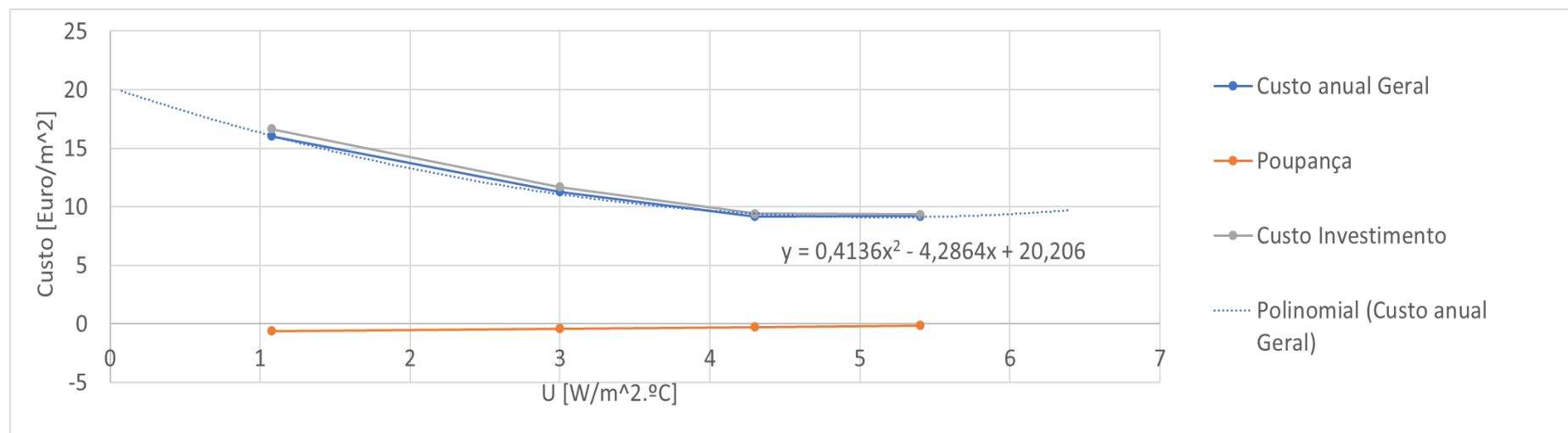


Figura 89 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Grécia

Referente ao U ótimo dos envidraçados, o valor obtido é de  $5,182 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , enquanto o U ótimo de referência para os envidraçados na Grécia está estipulado nos  $3 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .

Pela diferença destes valores pode-se concluir que ao optar pela instalação de janelas com o U de referência, estaremos a aumentar o custo de investimento nas janelas desnecessariamente e também o custo na exploração do sistema de climatização.

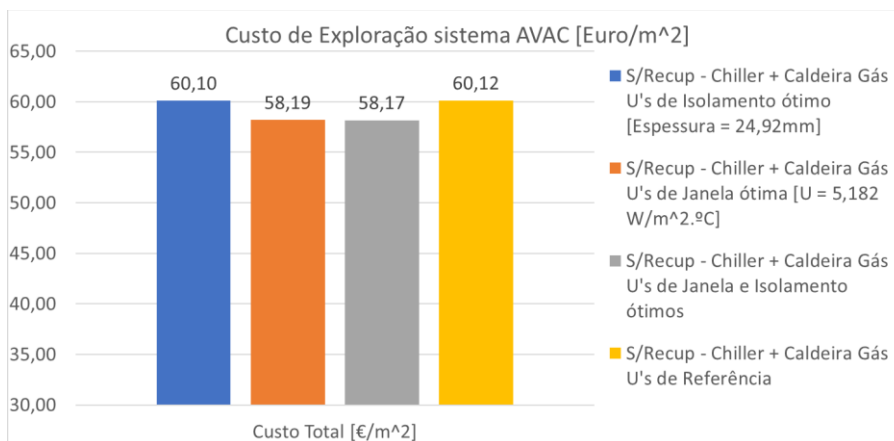


Figura 90 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Grécia

Comparando as várias aplicações dos U's ótimos na envolvente do edifício, nota-se que mais uma vez o principal elemento onde é preciso haver uma maior preocupação é nos envidraçados do edifício, pois é através deste que se poderá reduzir um pouco mais na despesa anual da climatização no edifício.

Em suma, para o edifício tipo em estudo no clima presente na Grécia, o U ótimo determinado para as paredes é de  $0,575 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  e das janelas é de  $5,182 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .

### 4.3.3. Alemanha

Neste estudo para o edifício localizado na Alemanha, o U ótimo determinado para a parede exterior é de  $0,434 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ . Mais uma vez o valor do U otimizado é mais alto que o valor admitido como referência, fazendo com que o custo de investimento em isolamento diminua com aplicação das paredes com U ótimo e não com o U de referência. Para este valor de U ótimo, a espessura de isolamento a que lhe corresponde é de 46,7 mm, ao invés dos 93,8 mm utilizados na situação em que as paredes tinham o U de referência.

Tabela 30 - Custos médios anuais do sistema de referência na Alemanha para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	117818	0	42474	0	160292	0	0	0	0
	14,2	0,7	116047	-0,543401553	43092	0,189622902	159139	-0,3537787	1,58	0,091324	-0,262454651
	67	0,35	113803	-1,231935197	44244	0,543094719	158047	-0,6888405	6,67	0,385526	-0,303314477
	173	0,175	112716	-1,565462858	44977	0,768003437	157693	-0,7974594	18,71	1,081438	0,283978579
	384	0,088	112138	-1,742812433	45682	0,984320825	157820	-0,7584916	43,2	2,49696	1,738468392
	650,00	0,055	112116	-1,749562763	45563	0,947807677	157679	-0,8017551	72,34	4,181252	3,379496914

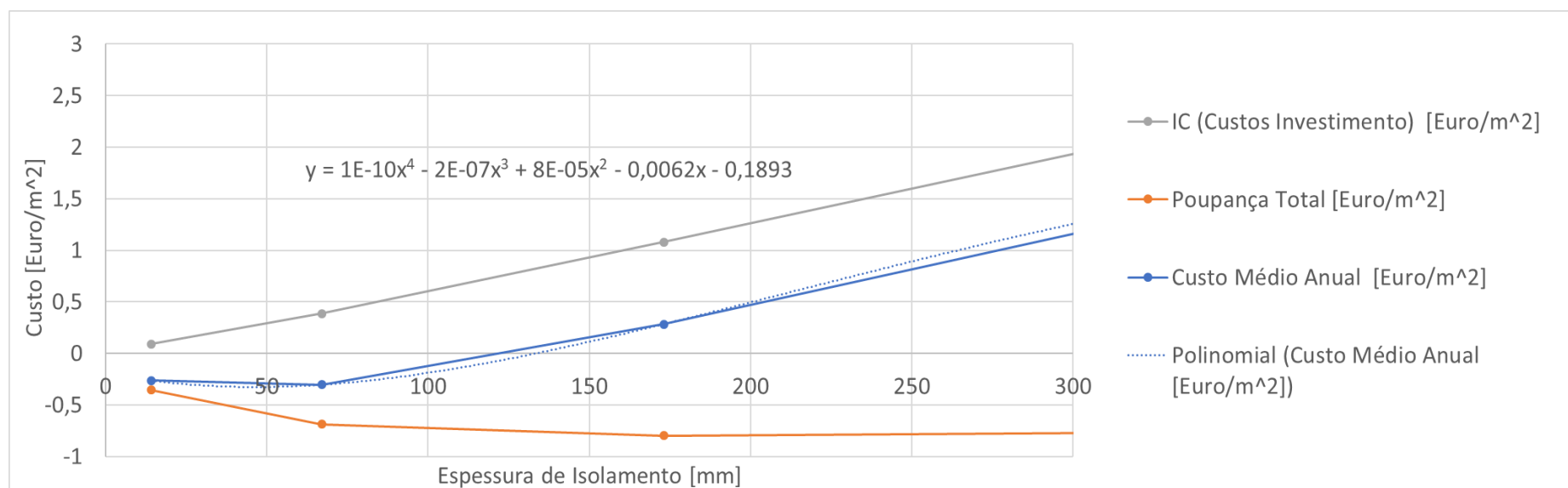


Figura 91 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o sistema de referência na Alemanha

Tabela 31 - Custos médios anuais do sistema de referência na Alemanha para os vários U's das janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	6,5	119868	0	42109		161977	0	137	7,9186	
	5,4	118342	-0,468227425	42386	0,084992789	160728	-0,38323464	162	9,3636	8,980365365
	4,3	116952	-0,894725538	42799	0,211714891	159751	-0,68301065	163	9,4214	8,738389353
	3	115423	-1,363873462	43417	0,401337793	158840	-0,96253567	202	11,6756	10,71306433
	1,075	113086	-2,080942592	44706	0,796845755	157792	-1,28409684	288	16,6464	15,36230316

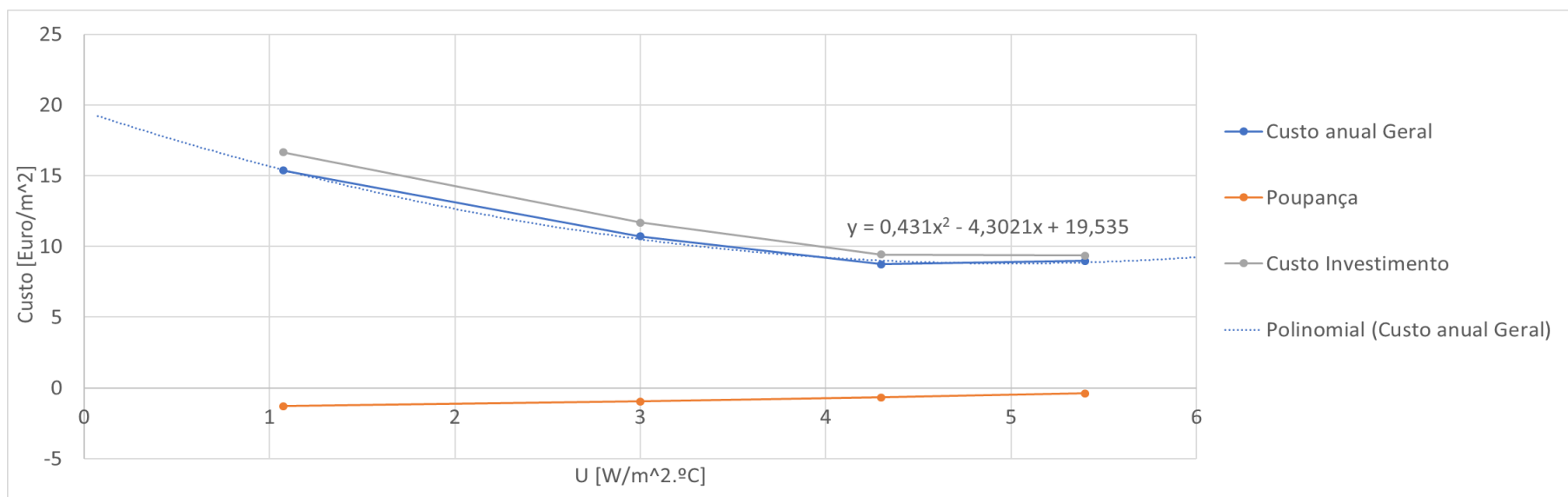


Figura 92 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Alemanha

Em relação aos Envidraçados presentes na superfície exterior do edifício, na situação de referência o valor admitido é de  $1,300 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e nos cálculos do ótimo valor do U das janelas para o edifício na Alemanha é de  $4,990 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Embora os valores sejam tão discrepantes entre a referência e a situação ótima, fazendo com que o valor calculado pareça disparatado, este não o é. Isto é devido mais uma vez à elevada carga térmica interna do edifício, fazendo com que se torne mais favorável o consumo de energia em aquecimento do que o consumo no sistema para arrefecimento e o investimento mais elevado num tipo de envidraçados com melhor isolamento.

As vantagens na aplicação destes U ótimos face à aplicação dos U's ótimos vêm-se melhor através do seguinte gráfico, em que a poupança prevista entre a utilização dos dois U's ótimo e os U's de referência é de 6 euros por metro quadrado de pavimento. Embora este valor pareça muito irrisório face aos custos de exploração totais, este valor multiplicado pela área útil do edifício e tendo em conta o tempo de vida útil que estes componentes do edifício poderão durar, chega-se a valores bastante elevados.

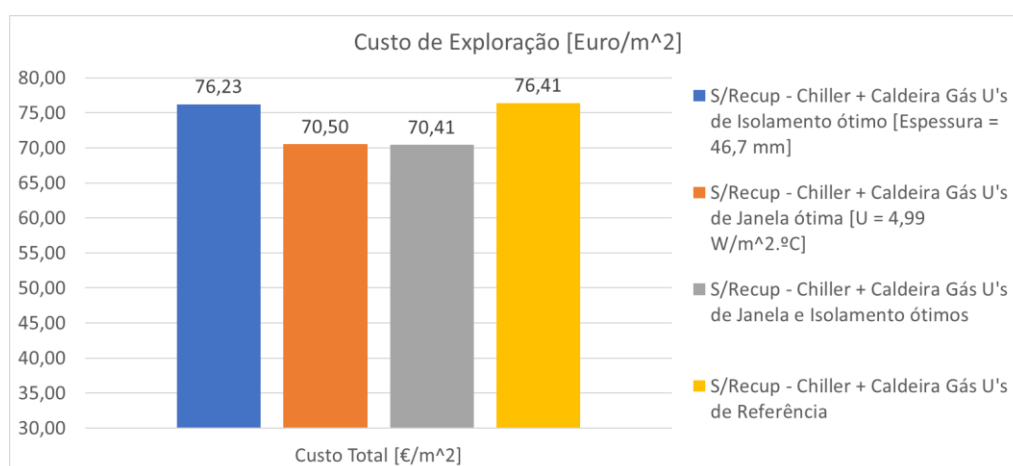


Figura 93 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Alemanha

#### 4.3.4. Finlândia

Por último, para o país mais frio dos quatro países em estudo, a Finlândia, ambos os valores otimizados do U para as paredes e janelas são mais elevados que o U's de referência, diminuindo o custo de investimento nestes 2 elementos que constitui a superfície exterior do edifício.

Tabela 32 - Custos médios anuais do sistema de referência na Finlândia para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	87869	0	19850	0	107719	0	0	0	0
	14,2	0,7	85863	-0,615507349	20272	0,1294836	106135	-0,48602375	1,58	0,091324	-0,394699749
	67	0,35	83521	-1,334110644	21076	0,376177472	104597	-0,95793317	6,67	0,385526	-0,572407172
	173	0,175	82367	-1,688196128	21634	0,547390384	104001	-1,14080574	18,71	1,081438	-0,059367744
	384	0,088	81781	-1,868000368	22051	0,675339818	103832	-1,19266055	43,2	2,49696	1,30429945
	650,00	0,055	81717	-1,887637691	22072	0,681783314	103789	-1,20585438	72,34	4,181252	2,975397623

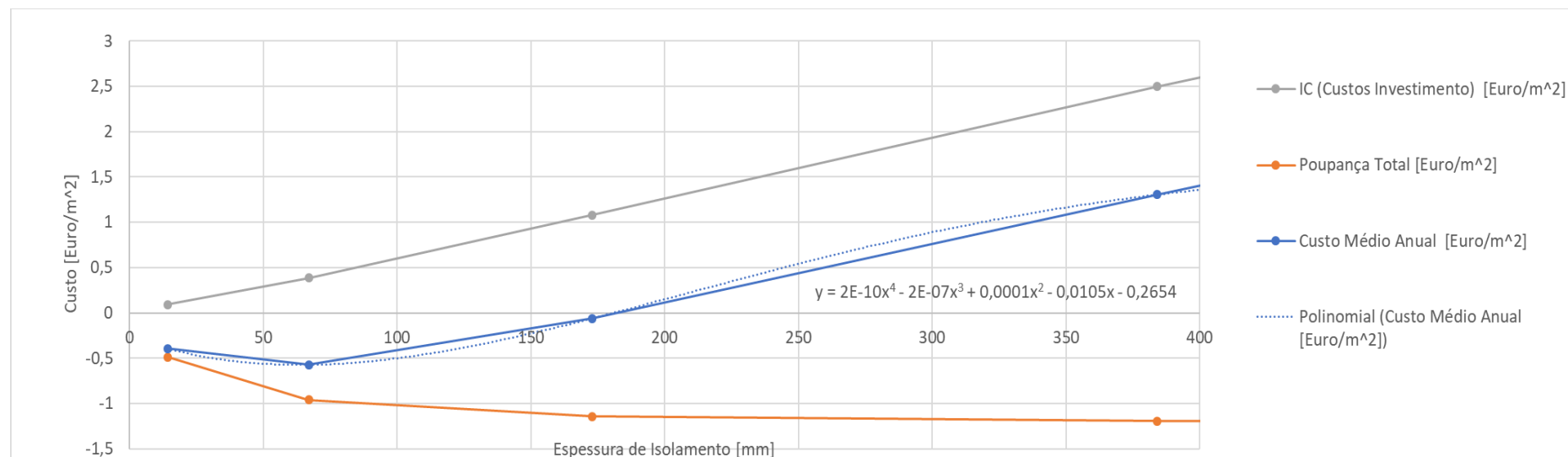


Figura 94 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Finlândia

Tabela 33 - Custos médios anuais do sistema de referência na Finlândia para os vários U's das janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	6,5	89404	0	19832		109236	0	137	7,9186	
	5,4	87819	-0,48633058	20009	0,054309472	107828	-0,4320211	162	9,3636	8,93157889
	4,3	86326	-0,94443251	20271	0,134699764	106597	-0,8097327	163	9,4214	8,611667252
	3	84694	-1,44518425	20689	0,262956031	105383	-1,1822282	202	11,6756	10,49337178
	1,075	82408	-2,14660489	21604	0,543708386	104012	-1,6028965	288	16,6464	15,04350349

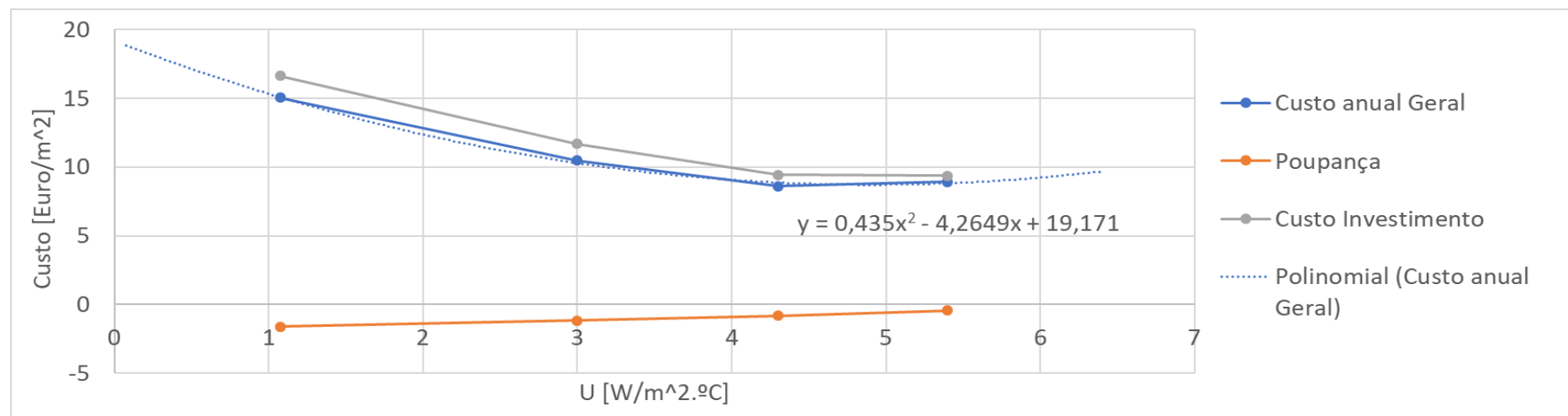


Figura 95 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o sistema de referência na Finlândia

O U ótimo calculado para as paredes do edifício situado na Finlândia é de  $0,362 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , e das janelas é de  $4,900 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , sendo os valores de referência admitidos de  $0,170 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , para as paredes exteriores e janelas, respetivamente.

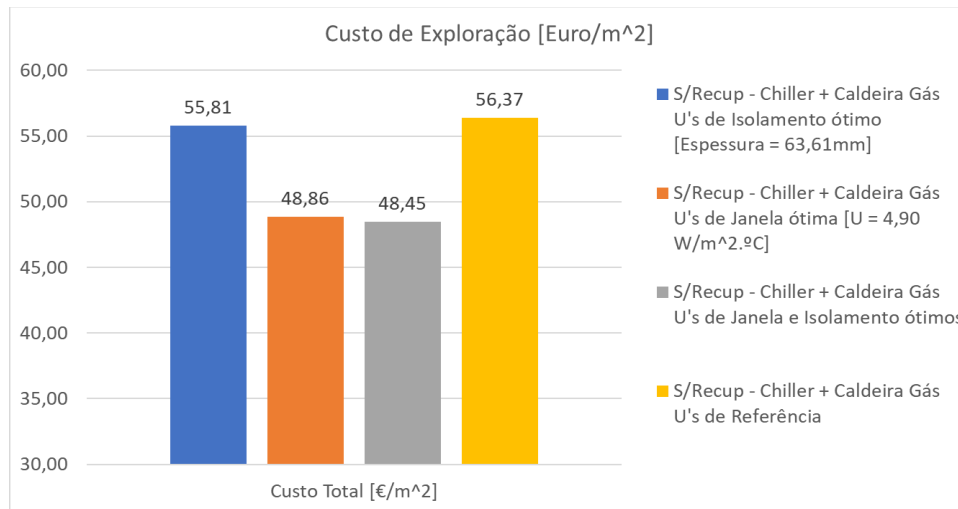


Figura 96 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no edifício na Finlândia

Através da aplicação dos U's ótimos calculados nas paredes e janelas, conseguir-se-á uma poupança de 7,92 euros por metro quadrado, comparando no mesmo sistema de referência, mas alternado os U's das paredes e janelas para os valores ótimos calculados.

Mais uma vez, nota-se um ligeiro decréscimo nos custos de exploração aquando da aplicação do valor ótimo do U da parede, mas uma diminuição ainda maior na aplicação do valor ótimo das janelas, face aos custos de exploração da referência. Para esta situação, do edifício localizado na Finlândia, as paredes e janelas convêm ser aplicadas com os valores ótimos do U calculados.

#### 4.4. Estudo 4 – U ótimo das paredes e envidraçados no sistema mais benéfico de cada país

Neste estudo, repete-se mais uma vez os processos de análise tidos em consideração no estudo anterior, com a exceção de que neste caso irão ser calculados os valores de U ótimos das paredes e janelas para o melhor sistema de geração de energia térmica de cada país.

Com este estudo é pretendido saber se com a utilização de outros sistemas de produção de energia térmica, os valores ótimos calculados e analisados no estudo anterior diferem dos que agora serão calculados.

Para além do que já foi dito, também se fará uma análise das diferenças de custos de exploração com a utilização dos valores ótimos calculados e dos valores de referência, prevendo qual a melhor medida a ser tomada, se a instalação de paredes e janelas de referência, paredes com U ótimo e janelas de referência, paredes de referência com janelas de U ótimo ou se ambos os constituintes com os valores de U ótimo.

#### **4.4.1. Portugal**

Através do segundo estudo, onde se abordou quais os melhores sistemas a serem aplicados em cada país, escolhemos o melhor, neste caso para Portugal, e utilizaremos esse sistema, ao invés do sistema de referência, nas várias simulações com os diferentes valores de U das paredes e das janelas, para obtenção do U ótimo.

Para recordar, o sistema, mas vantajoso a utilizar no edifício localizado em Portugal foi a utilização do recuperador de calor na UTAN e uma bomba de calor reversível aerotérmica com uma caldeira a biomassa de *pellets* a auxiliar o aquecimento da AQS.

Embora a utilização deste sistema já seja uma boa medida de eficiência energética no sistema AVAC, com este estudo pretendemos ainda melhorar mais o sistema, atuando na constituição da envolvente do edifício.

Dito isto, de seguida serão apresentadas as tabelas e gráficos relacionados com o cálculo do U ótimo das paredes e posteriormente das janelas, e a seguir serão analisados os valores e discutidos.

Tabela 34 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC de Portugal para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	58698	0	28653	0	87351	0	0	0	0
	1	0,933	58679	-0,00582983	28673	0,006136663	87352	0,000306833	0,11	0,006358	0,006664833
	7	0,811	58579	-0,036513148	28763	0,033751649	87342	-0,002761499	0,78	0,045084	0,042322501
	14,3	0,7	58510	-0,057684637	28833	0,055229971	87343	-0,002454665	1,58	0,091324	0,088869335
	67	0,35	58286	-0,126415268	29142	0,150041422	87428	0,023626154	6,67	0,385526	0,409152154
	173	0,175	58150	-0,16814458	29321	0,204964561	87471	0,036819981	18,71	1,081438	1,118257981

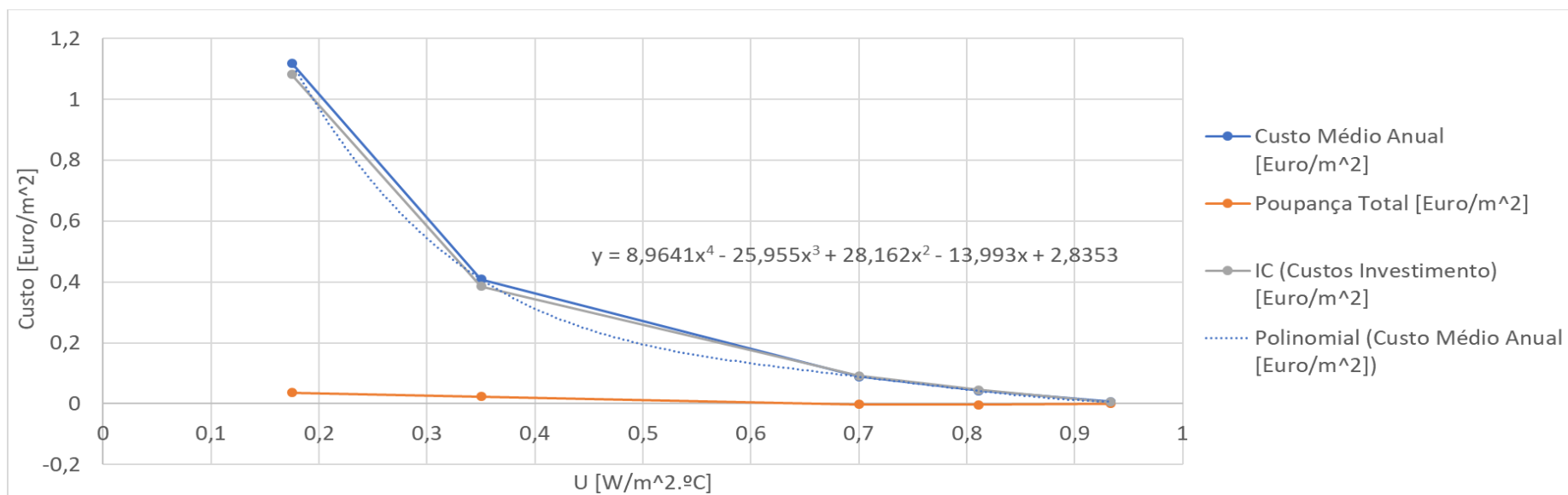


Figura 97 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema de Portugal

Tabela 35 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC de Portugal para os vários U's das janelas

Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	58981	0	28385		87366	0	137	7,9186	
	5,4	58748	-0,07149213	28587	0,061980301	87335	-0,0095118	162	9,3636	9,35408817
	4,3	58510	-0,14451843	28833	0,137461262	87343	-0,0070572	163	9,4214	9,41434284
	3	58245	-0,22582922	29143	0,232579547	87388	0,00675033	202	11,6756	11,6823503
	1,075	57866	-0,34211899	29753	0,419747783	87619	0,07762879	288	16,6464	16,7240288

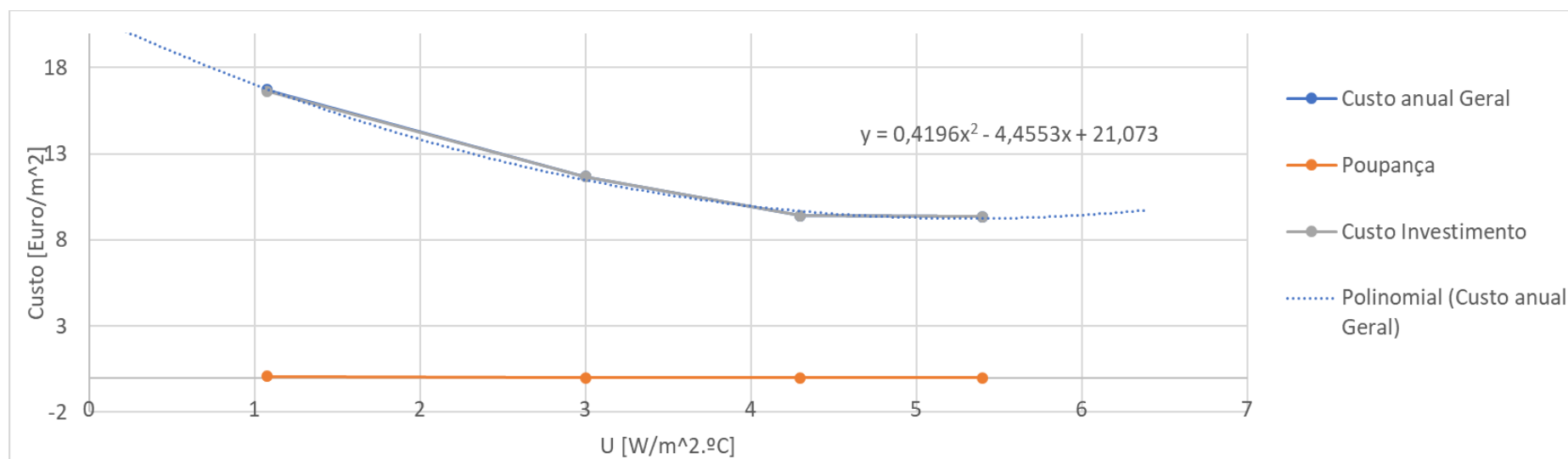


Figura 98 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema de Portugal

O resultado obtido para U ótimo da parede é de 0,952 W/m<sup>2</sup>.°C, resultado este maior que o valor de referência da parede, os 0,700 W/m<sup>2</sup>.°C e maior que o valor de U ótimo calculado para o sistema de referência 0,847 W/m<sup>2</sup>.°C.

Em relação às janelas, o U ótimo calculado para o melhor sistema aplicado em Portugal é 5,309 W/m<sup>2</sup>.°C. Recorde-se que o U de referência das janelas para Portugal é de 4,300 W/m<sup>2</sup>.°C e o U ótimo calculado para o sistema de referência foi de 5,208 W/m<sup>2</sup>.°C.

Embora ambos os valores de U ótimo para esta situação de aplicação do melhor sistema sejam piores que todos os outros valores, as aplicações destes U's ótimos irão induzir alguma melhoria no custo de funcionamento do sistema em questão. Através do próximo gráfico, poderá ser analisado as melhorias induzidas na aplicação dos U's ótimos, referente tanto ao mesmo sistema com utilização dos U's de referência, como para o sistema de referência com os respetivos valores de U ótimos.

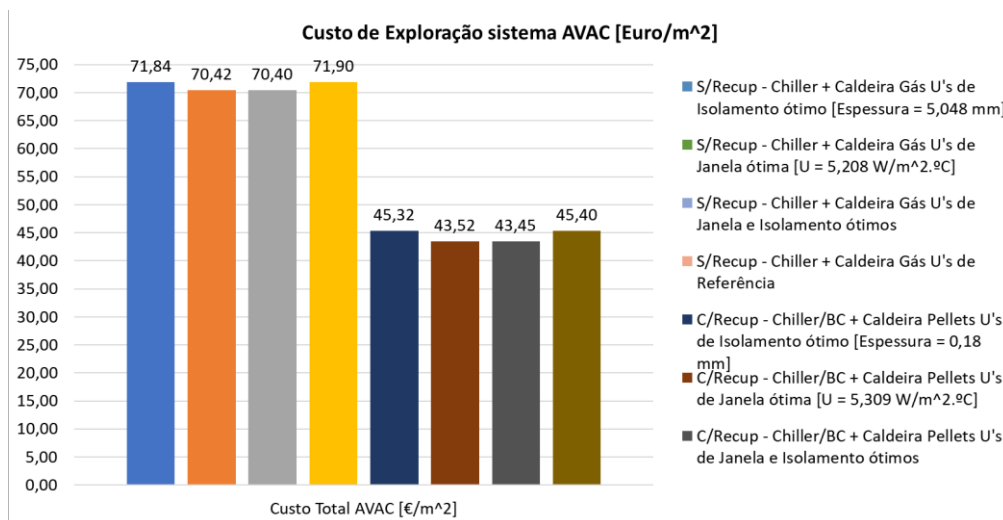


Figura 99 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício em Portugal

Pela análise do gráfico, poderemos constatar que a aplicação dos valores de U ótimo nas paredes e nas janelas é a melhor medida de se diminuir os custos de exploração que andamos a tentar minimizar o mais possível. Através deste mesmo gráfico podemos concluir que a aplicação do sistema de bomba de calor aerotérmica com caldeira de biomassa a *pellets* é bastante melhor em termos de custos de exploração do que o sistema de referência, chiller com caldeira a gás.

#### 4.4.2. Grécia

Tal como visto no estudo para Portugal, os valores ótimos diferem consoante o sistema que se esteja a tratar. Dito isto, passaremos então à análise dos valores ótimos dos U das paredes e janelas para o sistema mais benéfico da Grécia, que já foi definido como sendo o sistema constituído por recuperador de calor na UTAN e uma bomba de calor reversível aerotérmica com auxílio de uma caldeira de biomassa a *pellets* para o aquecimento das AQS requeridas pelos utilizadores do edifício.

O U ótimo da parede para o melhor sistema da Grécia é de  $0,864 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , correspondendo a uma espessura de isolamento de 4,20 milímetros. No caso do U ótimo das janelas para este mesmo sistema, o valor obtido é de  $4,90 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .

Tendo atenção aos valores de referência da Grécia das paredes e Janelas,  $0,500 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  e  $3,000 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , respetivamente, e dos valores ótimos dos U's do sistema de referência,  $0,575 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  das paredes e  $5,182 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  das janelas, podemos concluir que também para a situação da Grécia, os valores do U ótimo diferem consideravelmente, tendo sempre de calcular novos U's ótimos quando se trata de um sistema de produção de energia térmica diferente.

Na determinação do U ótimo da parede, o processo foi mais complicado e o valor obtido pode não corresponder à realidade, isto porque não se conseguiu encontrar uma função mais aproximada da realidade, que facultasse melhores valores, como se poderá constatar no gráfico a seguir demonstrado.

Tabela 36 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Grécia para os vários U's das paredes

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	47019	0	25393	0	72412	0	0	0	0
	1	0,933	47005	-0,004295664	25389	-0,001227333	72394	-0,005522997	0,11	0,006358	0,000835003
	7	0,811	47053	0,010432328	25338	-0,016875825	72391	-0,006443497	0,78	0,045084	0,038640503
	14,3	0,7	47114	0,029149152	25296	-0,029762818	72410	-0,000613666	1,58	0,091324	0,090710334
	67	0,35	47216	0,060446135	25225	-0,051547973	72441	0,008898162	6,67	0,385526	0,394424162
	173	0,175	47249	0,07057163	25228	-0,050627474	72477	0,019944156	18,71	1,081438	1,101382156
	397	0,088	47279	0,079776625	25240	-0,046945476	72519	0,03283115	43,2	2,49696	2,52979115

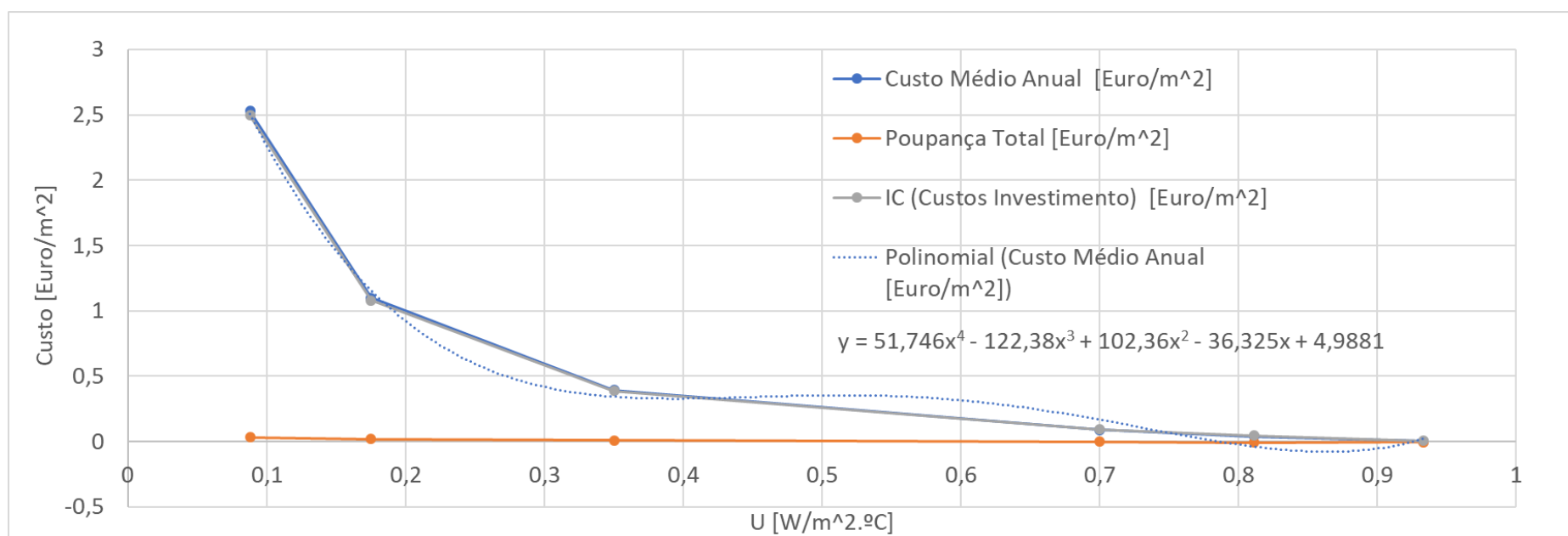


Figura 100 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Grécia

Tabela 37 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Grécia para os vários U's das Janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	47181	0	25143		72324	0	137	7,9186	
	5,4	47178	-0,0009205	25160	0,005216164	72338	0,0042957	162	9,3636	9,36789566
	4,3	47165	-0,00490933	25202	0,018103157	72367	0,0131938	163	9,4214	9,43459383
	3	47145	-0,01104599	25262	0,036513148	72407	0,0254672	202	11,6756	11,7010672
	1,075	47109	-0,02209199	25444	0,092356786	72553	0,0702648	288	16,6464	16,7166648

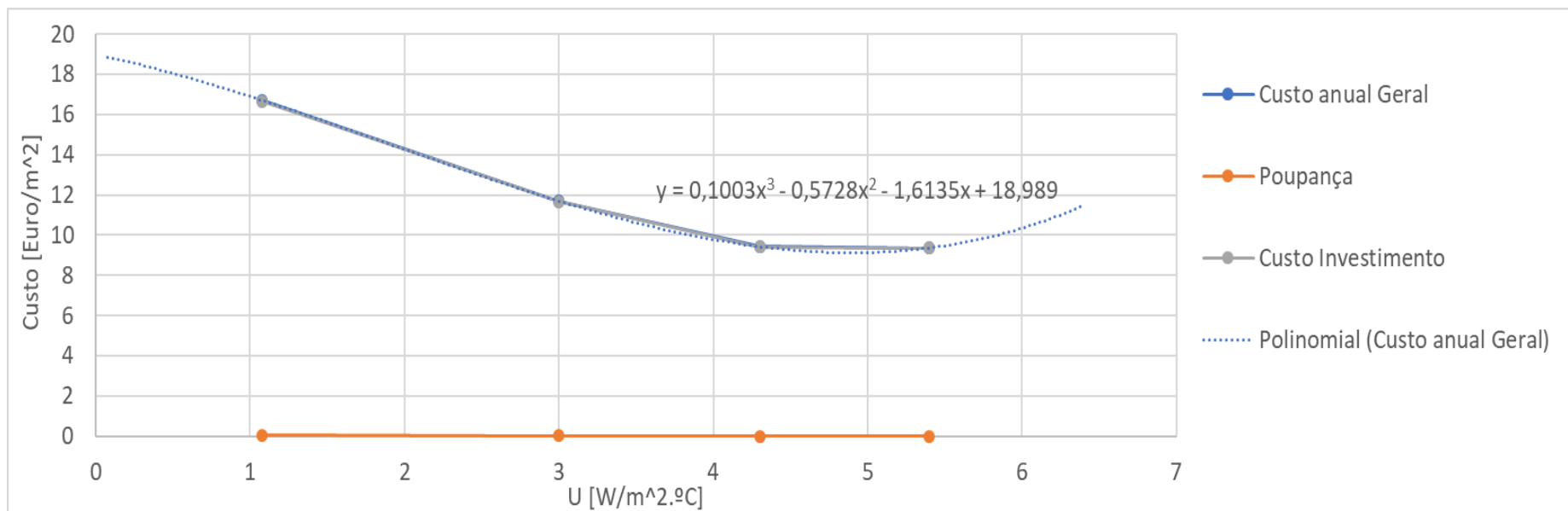


Figura 101 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Grécia

Construindo novamente um gráfico de comparação entre os dois sistemas em estudo com os seus valores ótimos calculados, como se fez para a situação de Portugal, pode-se determinar qual a melhor solução a aplicar no sistema AVAC na Grécia.

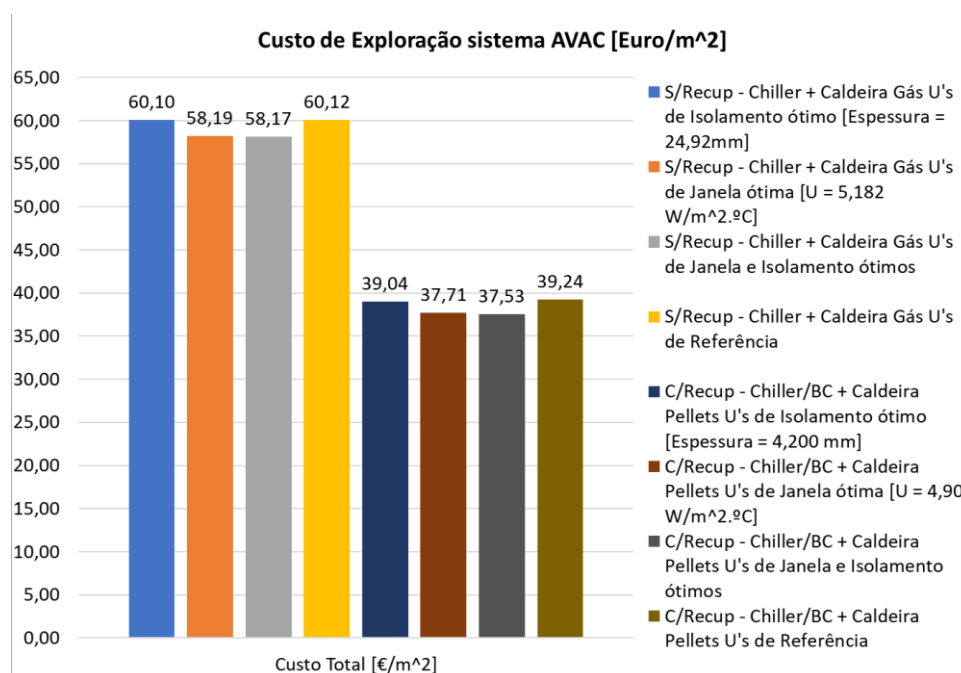


Figura 102 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Grécia

Pela análise do gráfico, a melhor medida para poupança no custo total do sistema seria a aplicação do sistema mais benéfico, bomba de calor aerotérmica com caldeira de biomassa a *pellets* e recuperador de calor na UTAN, para a Grécia e a alteração das características das paredes e janelas para os valores ótimos calculados mais recentemente.

#### 4.4.3. Alemanha

Como já se concluiu, para um país como a Alemanha, o sistema mais recomendado a ser utilizado é constituído por uma bomba de calor geotérmica e uma caldeira de biomassa a *pellets* para auxiliar a produção de AQS. Para além de este sistema apresentar o custo de exploração mais baixo, tentar-se-á diminuir ainda mais o seu custo de exploração. Para tal, foram calculados os valores ótimos do U para as paredes e janelas do edifício, e simulados os valores ótimos no edifício.

Tabela 38 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Alemanha para os vários U's das paredes

Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	96043	0	21144	0	117187	0	0	0	0
	1	0,933	95822	-0,067810132	21162	0,005522997	116984	-0,062287	0,11	0,006358	-0,055929134
	7	0,811	94759	-0,393973796	21276	0,040501979	116035	-0,353472	0,78	0,045084	-0,308387817
	14,3	0,7	93848	-0,673498819	21411	0,081924458	115259	-0,591574	1,58	0,091324	-0,500250361
	67	0,35	90989	-1,550734865	21942	0,244852873	112931	-1,305882	6,67	0,385526	-0,920355992
	173	0,175	89621	-1,970482649	22296	0,353471817	111917	-1,617011	18,71	1,081438	-0,535572831
	380	0,088	88852	-2,20643736	22663	0,466079593	111515	-1,740358	43,2	2,49696	0,756602233
	650,00	0,055	88770	-2,23159768	22598	0,446135436	111368	-1,785462	72,34	4,181252	2,395789756

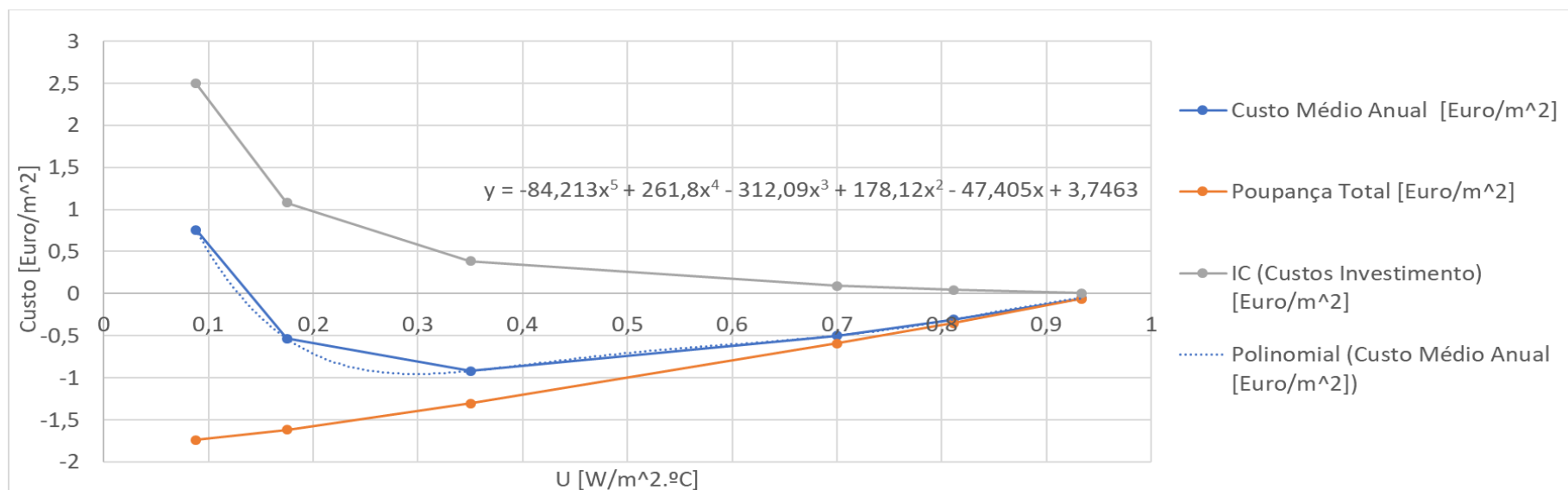


Figura 103 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Alemanha

Tabela 39 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Alemanha para os vários U's das Janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	98427	0	20941		119368	0	137	7,9186	
	5,4	96642	-0,547697217	21039	0,030069651	117681	-0,51762757	162	9,3636	8,84597243
	4,3	94945	-1,068393115	21213	0,083458624	116158	-0,98493449	163	9,4214	8,43646551
	3	93015	-1,660581142	21535	0,182258906	114550	-1,47832224	202	11,6756	10,1972778
	1,075	90108	-2,552545181	22171	0,377404805	112279	-2,17514038	288	16,6464	14,4712596

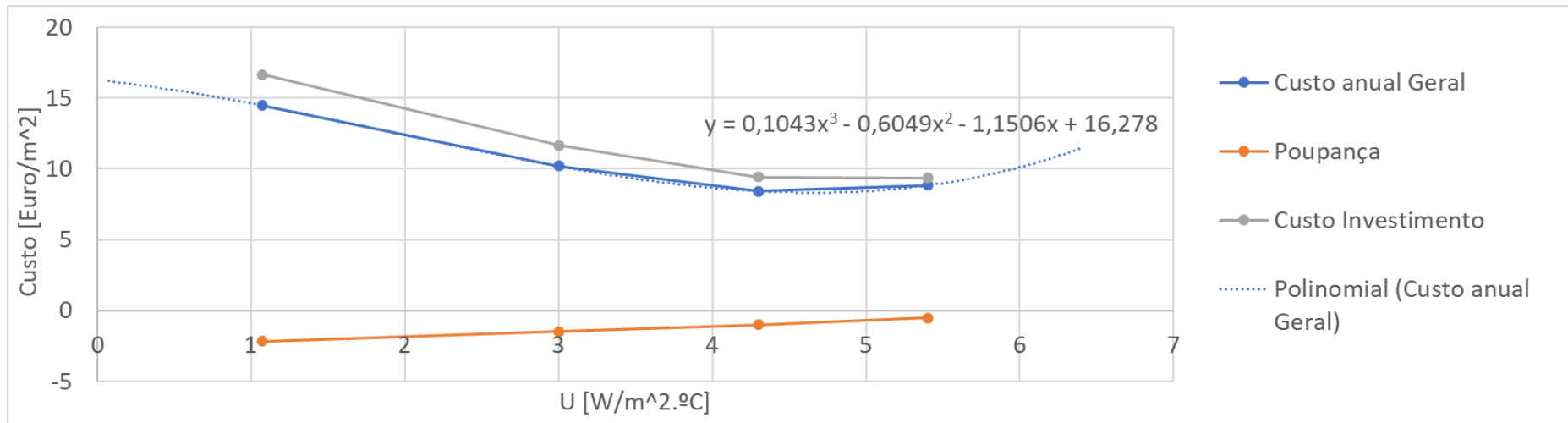


Figura 104 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Alemanha

Os valores ótimos calculados pelos gráficos anteriores foram de  $0,298 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para as paredes e de  $4,656 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para as janelas. Os valores de referência impostos pelo país destes dois elementos são de  $0,280 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para as paredes e  $1,300 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para as janelas. Comparando os valores de referência com os atuais valores ótimos calculados, deparamo-nos com um aumento dos U's da parede exterior e das janelas, fazendo com que o custo de investimento em isolamento diminua consideravelmente.

Comparando os valores ótimos admitidos no estudo 3 e os atuais valores, nota-se uma diminuição do U das paredes e das janelas, fazendo com que o investimento em isolamento e melhores janelas aumente e estas se tornem muito mais isoladoras, não permitindo tão facilmente trocas de calor entre o exterior e interior do edifício.

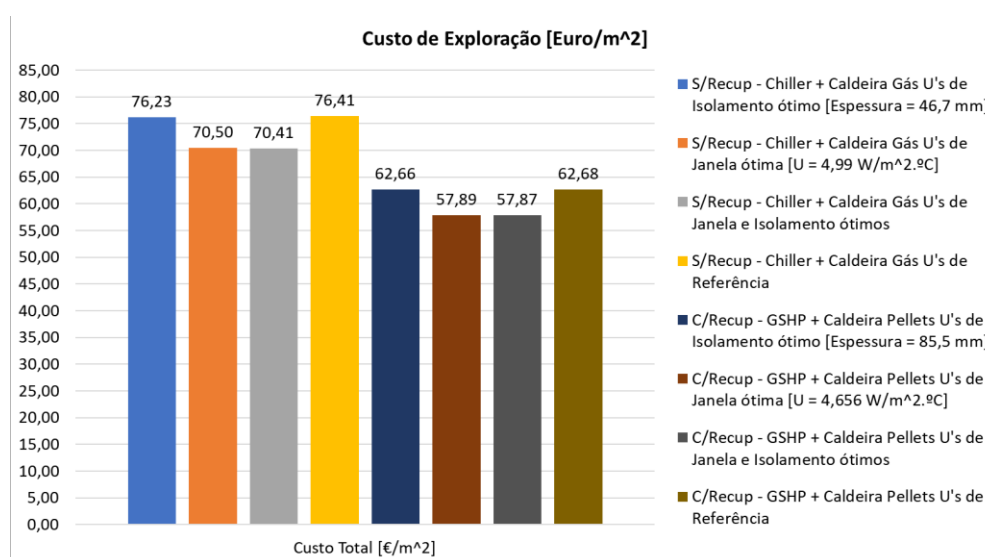


Figura 105 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Alemanha

Através das últimas 4 colunas que possuem uma tonalidade mais escura, podemos concluir que o mais rentável é instalar as paredes e janelas com as características ótimas, embora a diferença de utilização do U de referência e o U ótimo nas paredes não seja muita. Onde se repara numa maior diferença de custos é na aplicação dos valores ótimos do U das janelas, poupando cerca de 4,81 euros por metro quadrado de pavimento útil.

No que toca à comparação do sistema de referência com o melhor sistema a ser aplicado, a diferença de custos é muito alta, poupando por volta de 18,5 euros por metro quadrado. Estas diferenças de custos fazem com que seja importante fazer um pequeno estudo e análise de resultados, antes da escolha dos materiais e tipo de sistema a ser utilizado.

#### 4.4.4. Finlândia

Por último, resta-nos analisar os valores ótimos para o sistema mais benéfico da Finlândia. O sistema que apresenta uma melhor rentabilidade financeira num país como a Finlândia é a utilização de uma bomba de calor geotérmica que produza energia térmica para o aquecimento e arrefecimento do edifício com um recuperador de calor acoplado à UTAN e uma caldeira a gás para produção de AQS. Embora em todos os outros países fosse mais benéfico a utilização da caldeira a biomassa, devido à diferença de preços do gás e dos *pellets*, torna-se mais rentável monetariamente, no caso da Finlândia, a utilização do gás, visto ser mais barato.

Acerca dos U ótimos, mais uma vez, os mesmos foram calculados através dos valores das simulações apresentados nas tabelas de seguida e por intermédio dos gráficos também apresentados a seguir.

O U ótimo obtido para as paredes é de  $0,338 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  e para as janelas foi de  $4,780 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , valores mais elevados que os admitidos como referência e mais baixos que os valores ótimos calculados para o sistema de referência. Em relação aos valores de referência, os custos de investimento em isolamento e janelas são menores, mas em relação aos valores ótimos calculados no estudo 3, os custos são mais dispendiosos.

Embora os atuais U ótimos das paredes e janelas sejam mais dispendiosos, é esperado que os custos de exploração baixem consideravelmente, pois no cálculo dos custos de exploração dos sistemas, estão incluídos todos os valores de investimento necessários para o isolamento e para as janelas acoplados aos custos de funcionamento do sistema.

Tabela 40 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Finlândia para os vários U's das paredes

Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	54021	0	10599	0	64620	0	0	0	0
	1	0,933	53903	-0,036206315	10610	0,003375165	64513	-0,0328311	0,11	0,006358	-0,02647315
	7	0,811	53273	-0,229511215	10674	0,023012488	63947	-0,2064987	0,78	0,045084	-0,161414727
	14,3	0,7	52718	-0,399803627	10733	0,041115645	63451	-0,358688	1,58	0,091324	-0,267363981
	67	0,35	51105	-0,894725538	11055	0,139915928	62160	-0,7548096	6,67	0,385526	-0,36928361
	173	0,175	50379	-1,117486423	11302	0,215703722	61681	-0,9017827	18,71	1,081438	0,179655299
	397	0,088	50087	-1,20708171	11439	0,257739867	61526	-0,9493418	43,2	2,49696	1,547618157
	650,00	0,055	49987	-1,237765027	11493	0,274308858	61480	-0,9634562	72,34	4,181252	3,217795831

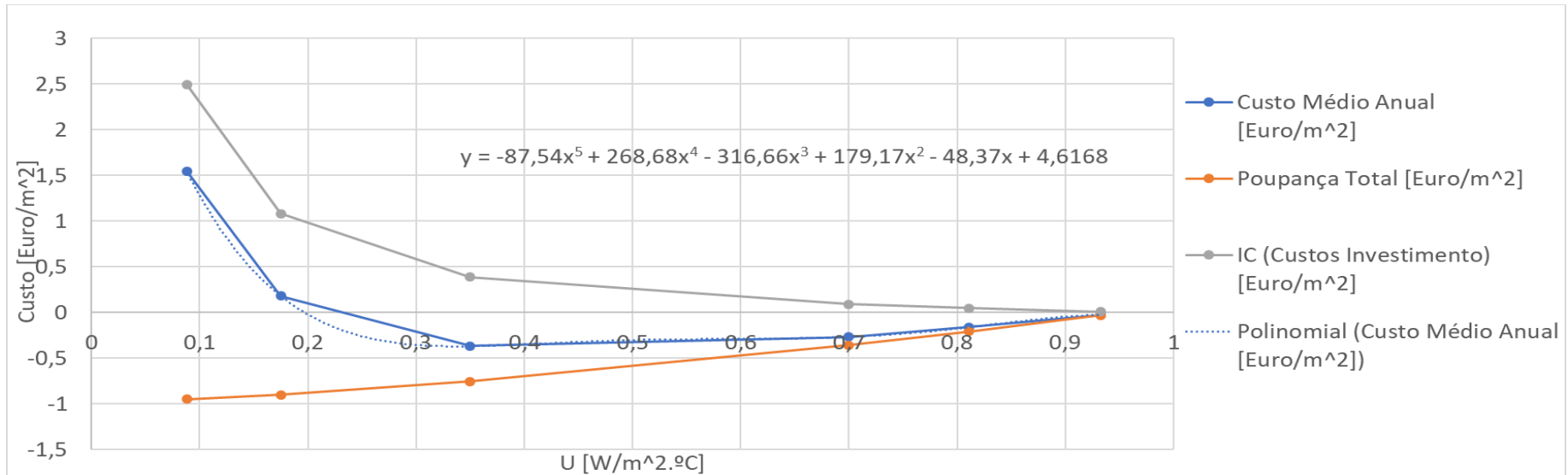


Figura 106 - Gráfico da determinação do U ótimo da parede para o melhor sistema da Finlândia

Tabela 41 - Custos médios anuais do melhor sistema AVAC da Finlândia para os vários U's das Janelas

Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	6,5	55192	0	10613		65805	0	137	7,9186	
	5,4	54119	-0,329232	10636	0,007057163	64755	-0,32217483	162	9,3636	9,04142517
	4,3	53100	-0,641895	10704	0,027921819	63804	-0,61397318	163	9,4214	8,80742682
	3	51966	-0,98984382	10881	0,082231291	62847	-0,90761253	202	11,6756	10,7679875
	1,075	50404	-1,46911724	11294	0,208953392	61698	-1,26016385	288	16,6464	15,3862362

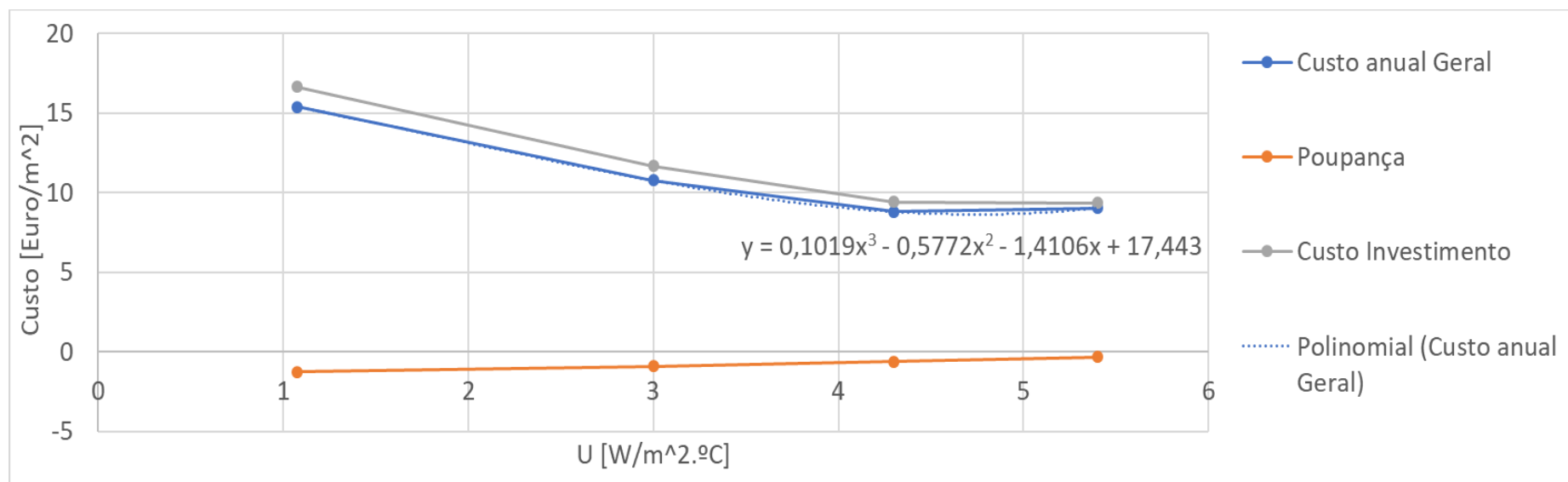


Figura 107 - Gráfico da determinação do U ótimo da janela para o melhor sistema da Finlândia

Tendo os valores ótimos para o atual sistema calculado, segue-se um gráfico com a comparação dos custos de exploração dos vários U's ótimos do melhor sistema, como também dos vários U's ótimos para o sistema de referência, de forma analisar quais as suas melhorias.

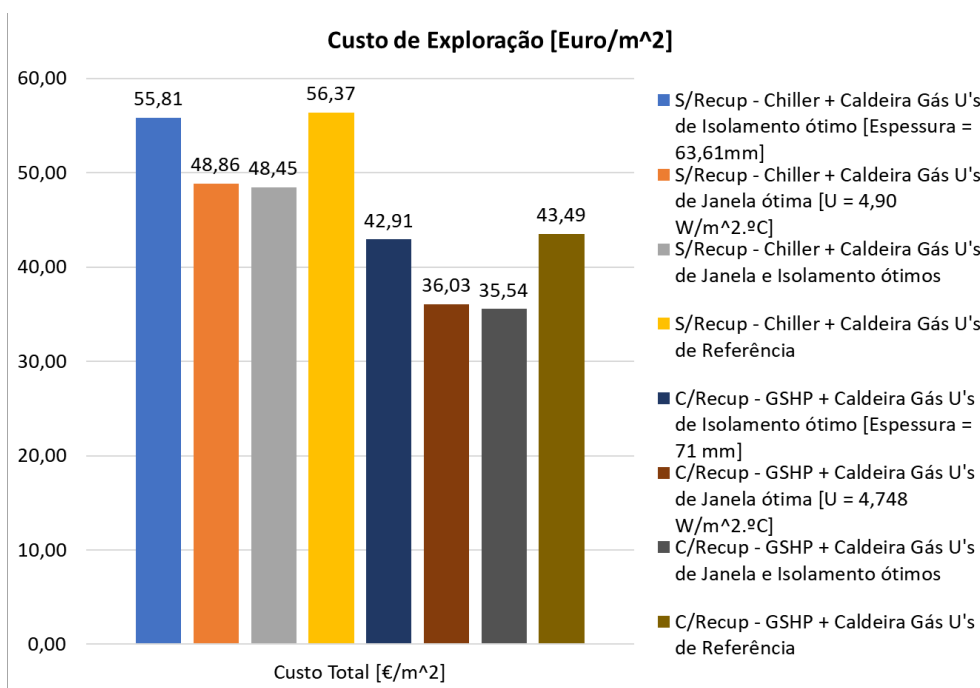


Figura 108 - Comparação dos custos de exploração na aplicação dos vários U's ótimos no melhor sistema e no sistema de referência aplicado no edifício na Finlândia

Analisando os vários valores do gráfico, mais uma vez a melhor situação a ser aplicada é a instalação de paredes e janelas com os últimos U's ótimos calculados com o respetivo sistema de bomba de calor geotérmica e caldeira a gás.

Pela utilização destes valores de U ótimos, a poupança obtida no mesmo tipo de sistema, mas com os valores de referência é de 7,95 euros por metro quadrado. Comparando a melhor medida com o sistema de referência com os valores de referência, a poupança sobe para os 20,27 euros por metro quadrado.

Se tivermos em conta a última poupança referenciada e a multiplicarmos pela área útil de pavimento, ficamos com um valor astronómico de poupança de 66062 euros anuais. Através deste valor de poupança, consegue-se justificar a ideia de que antes de tomar alguma decisão acerca do sistema a utilizar em dado edifício com as seguintes condições, é necessário fazer-se um estudo dos custos de exploração, de forma a que se consiga poupar o máximo possível no sistema AVAC, não comprometendo o bom funcionamento do sistema e o bem-estar dos ocupantes do edifício.

## 4.5. Estudo 5 – Emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera

Com este estudo pretende-se analisar os valores dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub> para os vários sistemas AVAC nos vários países, de forma a tentar perceber se os sistemas mais benéficos em termos monetários para os vários países, também serão os menos poluidores. Para tal, irão ser apresentados os valores de CO<sub>2</sub> equivalente em toneladas, que cada sistema emite para a atmosfera, e posteriormente referenciado o sistema menos poluidor e se este trata-se do sistema com o custo de exploração mais barato.

### 4.5.1. Portugal

Recordando o estudo 2, o sistema menos dispendioso para Portugal é composto por um recuperador de calor na UTAN e na produção de energia térmica, bomba de calor aerotérmica e caldeira de biomassa a *pellets*.

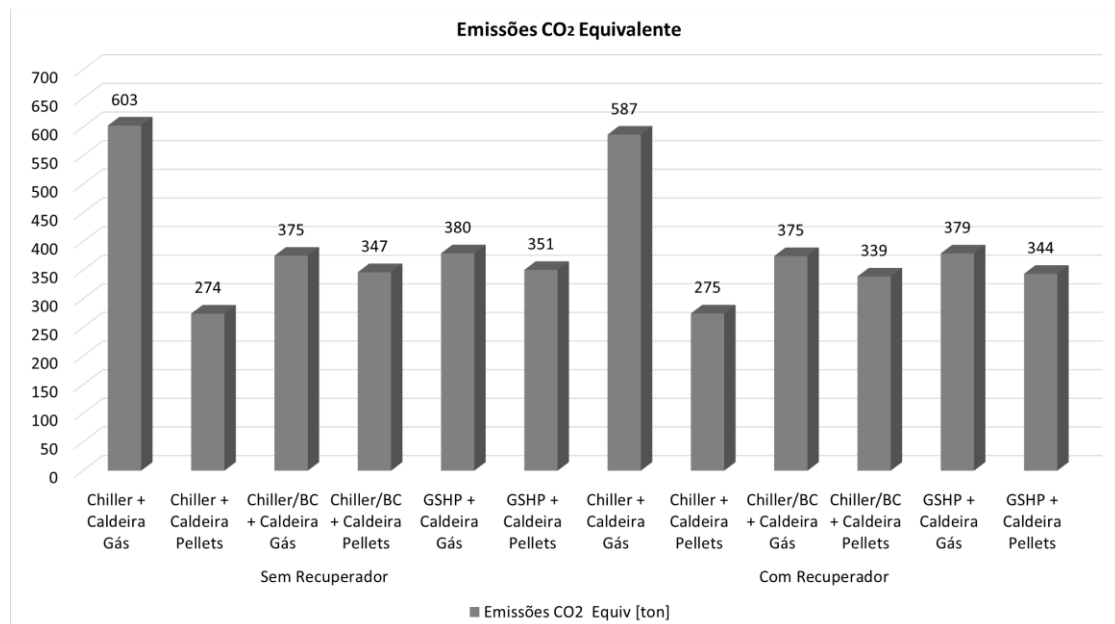


Figura 109 - Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente dos sistemas em Portugal

O sistema menos poluidor é o chiller que utiliza eletricidade para o arrefecimento da água para a climatização e uma caldeira de biomassa a *pellets* para a produção de água quente para a climatização e para AQS. Note-se que neste caso, o sistema sem recuperador possui menores emissões de CO<sub>2</sub>, isto derivado consumo de eletricidade pelos ventiladores ser menor do que no sistema com recuperador, pois o recuperador de calor impõe uma perda de carga que o sistema sem recuperado de calor não tem. Outra explicação encontrada, é derivado da tal incompatibilidade do software HAP, que não distingue de quando o recuperador terá de funcionar ou não, fazendo com que o mesmo esteja sempre em

funcionamento, aumentando assim o consumo de eletricidade não só no pequeno motor que o recuperador de calor, roda térmica, possui, como também no consumo do chiller, devido ao pré-aquecimento provocado antes da bateria de arrefecimento, aumentando assim a necessidade de energia térmica no arrefecimento.

Quanto ao sistema mais rentável para Portugal, este encontra-se em terceiro lugar na lista dos sistemas menos poluidores. Embora o sistema também possua uma caldeira de biomassa a *pellets*, esta só é utilizada para a produção de AQS, enquanto a bomba de calor aerotérmica está encarregue de produzir tanto água fria, como água quente ao sistema de climatização. Devido a esta produção de água quente através do consumo de eletricidade da bomba de calor aerotérmica, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam.

O melhor sistema economicamente pode não se apresentar como o melhor ambientalmente, mas comparando com os outros sistemas, torna-se a melhor opção a ser aplicada em Portugal.

#### 4.5.2. Grécia

No caso da Grécia, o sistema admitido como o mais económico é composto por uma UTAN com recuperador de calor, bomba de calor aerotérmica e caldeira de biomassa a *pellets*.

Face ao que aconteceu com Portugal, mais uma vez o sistema mais económico é o terceiro sistema menos poluidor da lista.

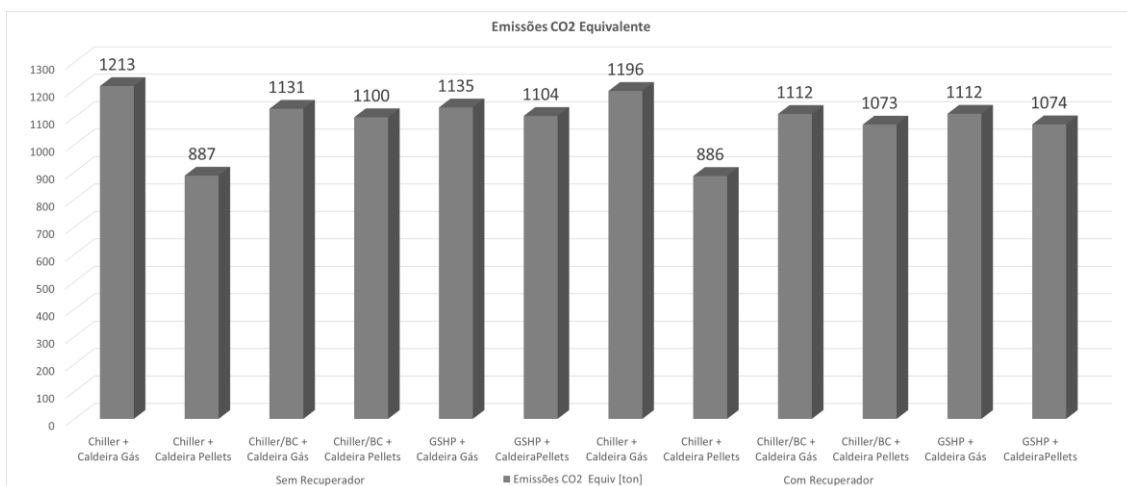


Figura 110 - Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Grécia

Os sistemas que usam a caldeira de biomassa a *pellets* mais uma vez são as duas menos poluidoras, isto porque a queima de *pellets* é considerada uma fonte de energia limpa,

com emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera nula. Como neste sistema, a caldeira serve para produção de água quente para a climatização e para a AQS, o efeito poluidor é menor, pois assim só necessitaremos da eletricidade para ao arrefecimento da água.

A poluição produzida pelo consumo de eletricidade varia de país para país, dependendo da percentagem de fontes de produção de energia que são renováveis. Os valores das emissões de CO<sub>2</sub> são muito mais elevados no país da Grécia do que em Portugal, porque na Grécia existe um menor investimento e preocupação na utilização de fontes de energia renovável para geração de eletricidade do que em Portugal, fazendo com que os valores de CO<sub>2</sub> na utilização de eletricidade aumentem consideravelmente.

Analisando os resultados, tanto a nível económico como ambiental, o sistema escolhido como o melhor para a Grécia, poderá continuar a sê-lo considerado como melhor, relacionando ambos os parâmetros, tanto económicos como ambientais.

#### 4.5.3. Alemanha

Na Alemanha, o sistema que possui o mais baixo custo de exploração é constituído pela bomba de calor geotérmica, responsável pela produção de água quente e fria destinada à climatização do edifício, por uma caldeira de biomassa a *pellets* para a produção de AQS, e ainda um recuperador de calor na UTAN.

Dito isto, e através do próximo gráfico, veremos se o sistema mencionado também é o que possui o mais baixo valor de emissões de CO<sub>2</sub>.

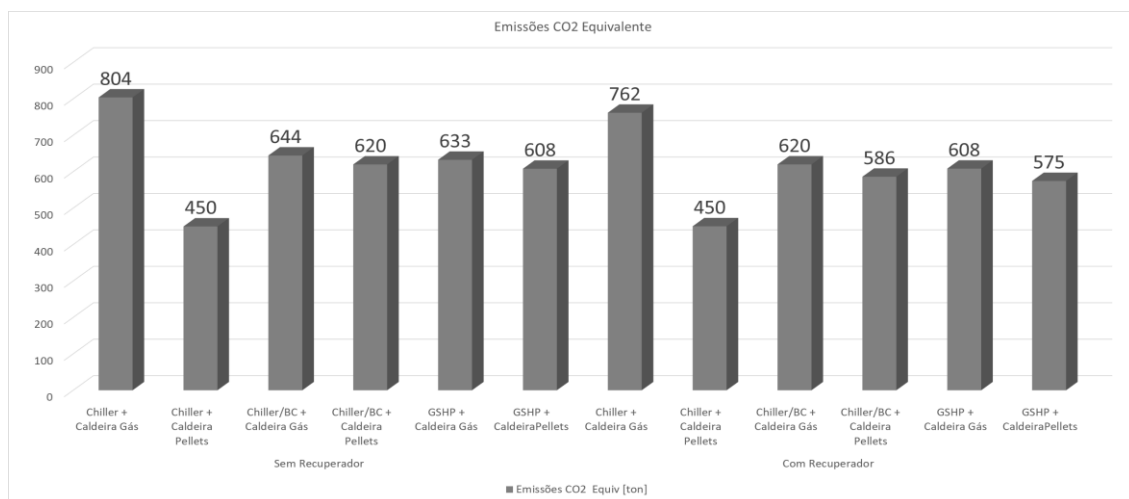


Figura 111 - Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Alemanha

Face ao que acontece com os outros países já estudados e através das mesmas explicações, o sistema com menores emissões de CO<sub>2</sub> são os sistemas constituídos pelo Chiller para

produção de água fria e uma caldeira de biomassa a *pellets* para produção de AQS e água quente para climatização. Se analisarmos os valores apenas das emissões de CO<sub>2</sub> é indiferente a utilização ou não do recuperador de calor, visto que para este sistema ambos os valores são idênticos.

Referente ao sistema mais rentável financeiramente, determinado pelo estudo 2, neste estudo 4 encontra-se na terceira posição de sistemas menos poluidores com uma emissão anual de 575 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. O que faz do sistema uma boa solução em termos de medidas de eficiência energética para um edifício localizado na Alemanha. Um sistema que a nível de poluição é dos que menos emite para o meio ambiente e quanto ao seu custo de exploração é o mais barato.

Concluindo este estudo para a Alemanha, pode-se afirmar que o sistema de bomba de calor geotérmica e caldeira de biomassa com um recuperador de calor na UTAN é o sistema ideal, relacionando os dois parâmetros de custo exploração e emissões de CO<sub>2</sub>. Embora o sistema chiller e caldeira de biomassa a *pellets* seja o menos poluidor, a nível económico é mais dispendioso do que o sistema admitido como ideal.

#### **4.5.4. Finlândia**

O sistema com menor custo de exploração na Finlândia é constituído por um recuperador de calor na UTAN, pela bomba de calor geotérmica e por uma caldeira a gás para produção de AQS. Neste sistema a produção de AQS por intermédio de uma caldeira a gás torna-se mais barato devido ao preço do gás ser menor do que os *pellets*, como já foi mencionado anteriormente no estudo do sistema mais rentável para a Finlândia.

É expectável que nesta situação, o sistema escolhido não seja o melhor em termos ambientais, devido às emissões de CO<sub>2</sub> impostas pela queima do gás na caldeira. Através do próximo gráfico será possível entender qual o sistema mais limpo e em que posição se encontra o sistema com o custo de exploração mais barato em relação às emissões de gases para a atmosfera.

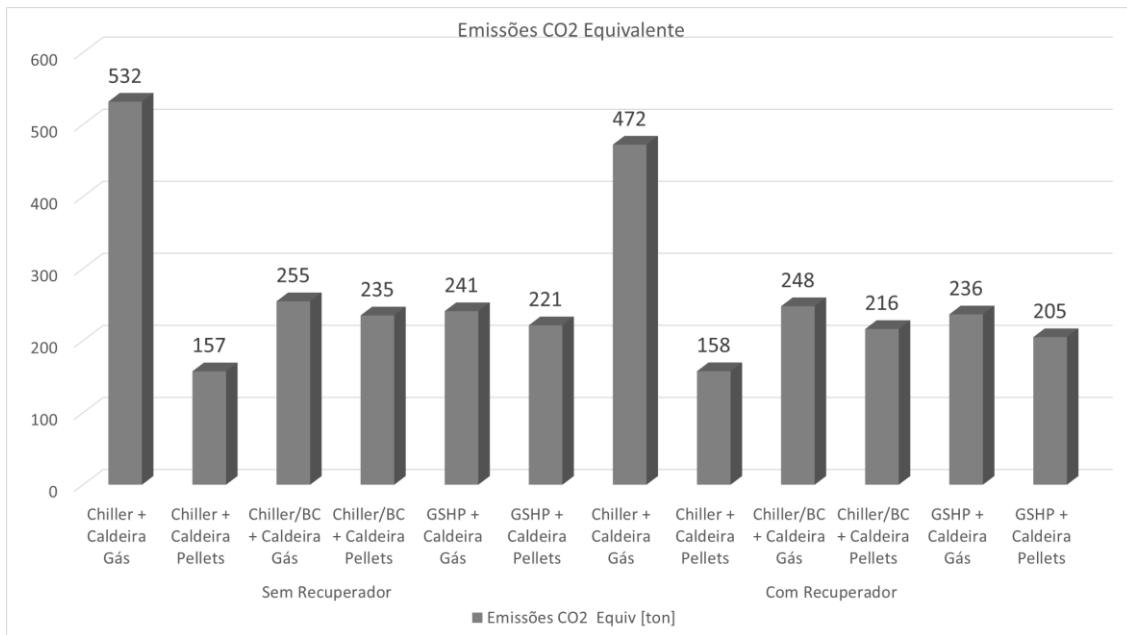


Figura 112 - Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente dos sistemas na Finlândia

O sistema distinguido com o custo de exploração menor, em relação ao valor de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, já se encontra no meio da tabela de todos os valores de emissão de gases.

Visto que os resultados entre estes dois parâmetros não são igualmente positivos, teremos de definir qual deles o mais importante na escolha de um sistema AVAC, se o custo de exploração mais baixo ou se a emissão mais baixa de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Sendo o objetivo principal deste documento o estudo de soluções de medidas de eficiência energética no sistema AVAC aplicando a metodologia do custo ótimo, o custo de exploração do sistema é o parâmetro mais importante. Sendo assim, o sistema ideal a ser aplicado na Finlândia é o sistema com menor custo de exploração, resultante do estudo 2.

#### 4.6. Estudo 6 – Metodologia do custo ótimo

Para finalizar os estudos, resta-nos tratar de um dos assuntos principais desta tese, a aplicação da metodologia do custo ótimo de forma a encontrar as soluções de medidas de eficiência energética no sistema AVAC mais favoráveis.

A metodologia do custo ótimo é baseada na avaliação do consumo de energia e do custo de exploração total do sistema em estudo, incluindo o custo de investimento e o custo de exploração anual do edifício.

É importante salientar que devido a algumas dificuldades em encontrar o preço de alguns dos equipamentos presentes nos vários sistemas e ausência de tempo, no estudo da

solução ótima para o sistema AVAC, não se encontram contabilizados os custos de investimento e os custos de manutenção dos vários sistemas. Desta forma, apenas é estudado os custos de exploração anual de cada tipo de sistema e a energia consumida do respetivo sistema.

Em relação ao estudo da aplicação dos vários  $U$ 's ótimos no sistema de referência e no sistema com maior rentabilidade, na aplicação da metodologia do custo ótimo, os custos de investimento no isolamento e nas janelas encontram-se contabilizados para um período de vida útil de 30 anos.

Na aplicação da metodologia serão presentes vários gráficos onde irão aparecer os limites de rentabilidade positiva e o nível ótimo de rentabilidade. O limite de rentabilidade positiva será definido por uma linha vermelha horizontal definida pelo ponto que simboliza o sistema de referência. Em relação ao nível ótimo de rentabilidade, será representado por uma linha a verde, definida pelo ponto mais abaixo de todos, simbolizando o sistema com a relação custo e benefício mais positivo.

#### **4.6.1. Portugal**

Através das simulações feitas para os vários sistemas no software *HAP* foi possível determinar a energia consumida e os custos de exploração de cada um dos sistemas em estudo. A metodologia do custo ótimo é aplicada através de um gráfico que relaciona estas duas variáveis descritas. Desta forma, os gráficos que a seguir serão apresentados, são a aplicação da metodologia do custo ótimo, relacionando os valores de energia consumida e custo de exploração dos vários sistemas aplicados em Portugal. No segundo gráfico serão relacionados os mesmos parâmetros, mas comparando o sistema de referência com os seus  $U$ 's de referência e a aplicação dos respetivos  $U$  ótimos calculados. Num outro gráfico, ainda relacionar-se-á o sistema mais rentável com os  $U$ 's de referência e os seus valores de  $U$  ótimos

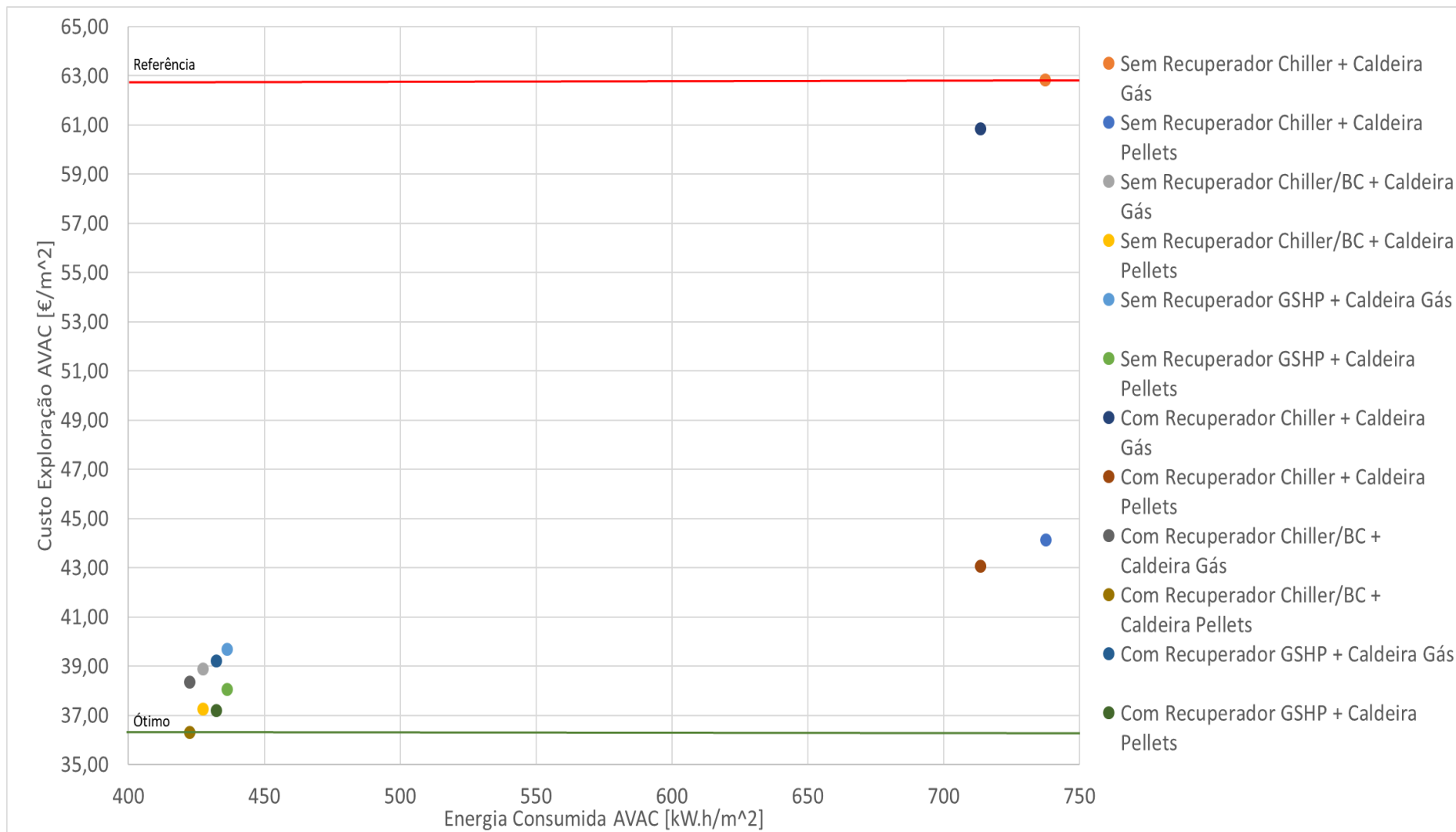


Figura 113 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC em Portugal

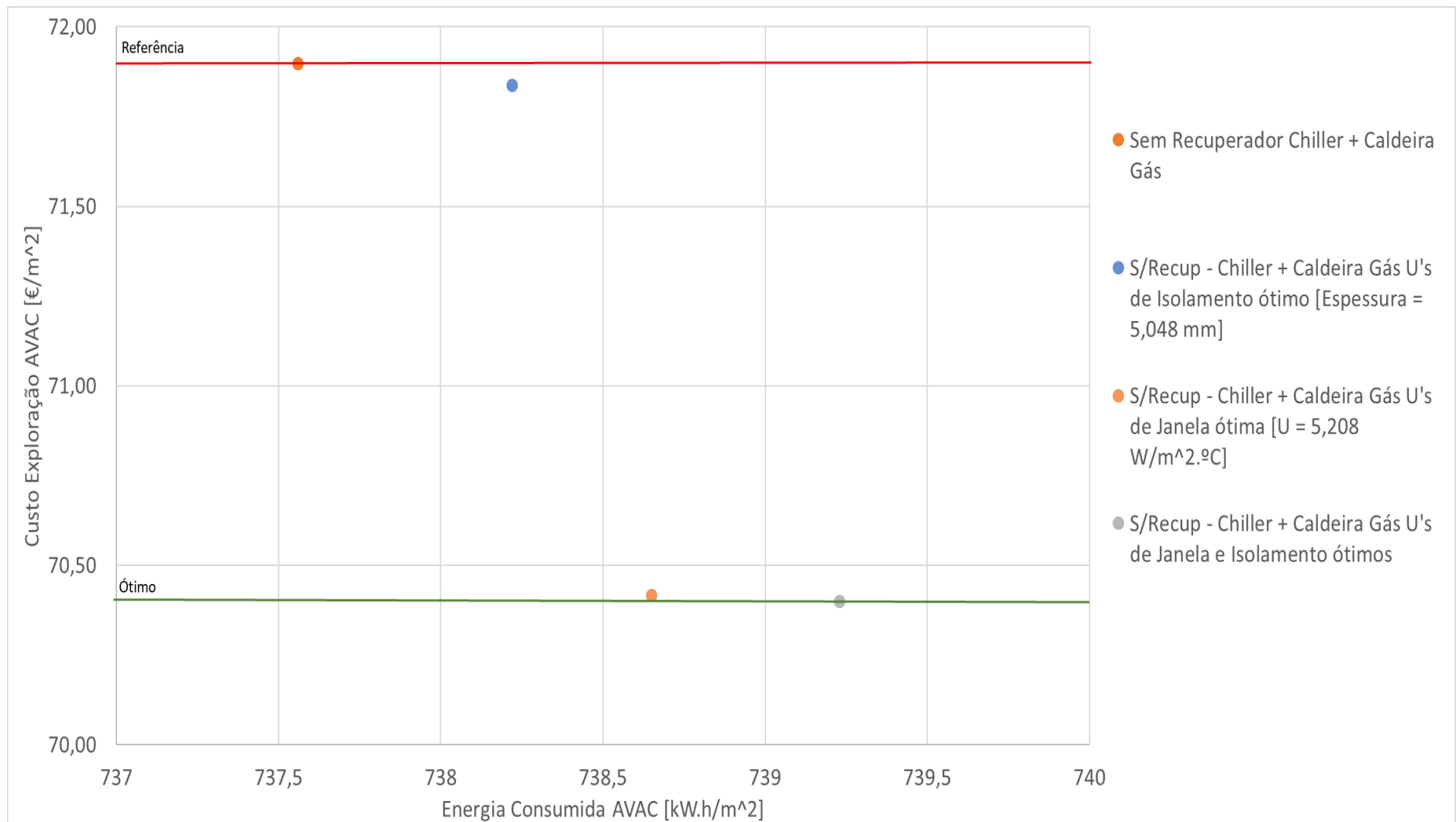


Figura 114 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos em Portugal

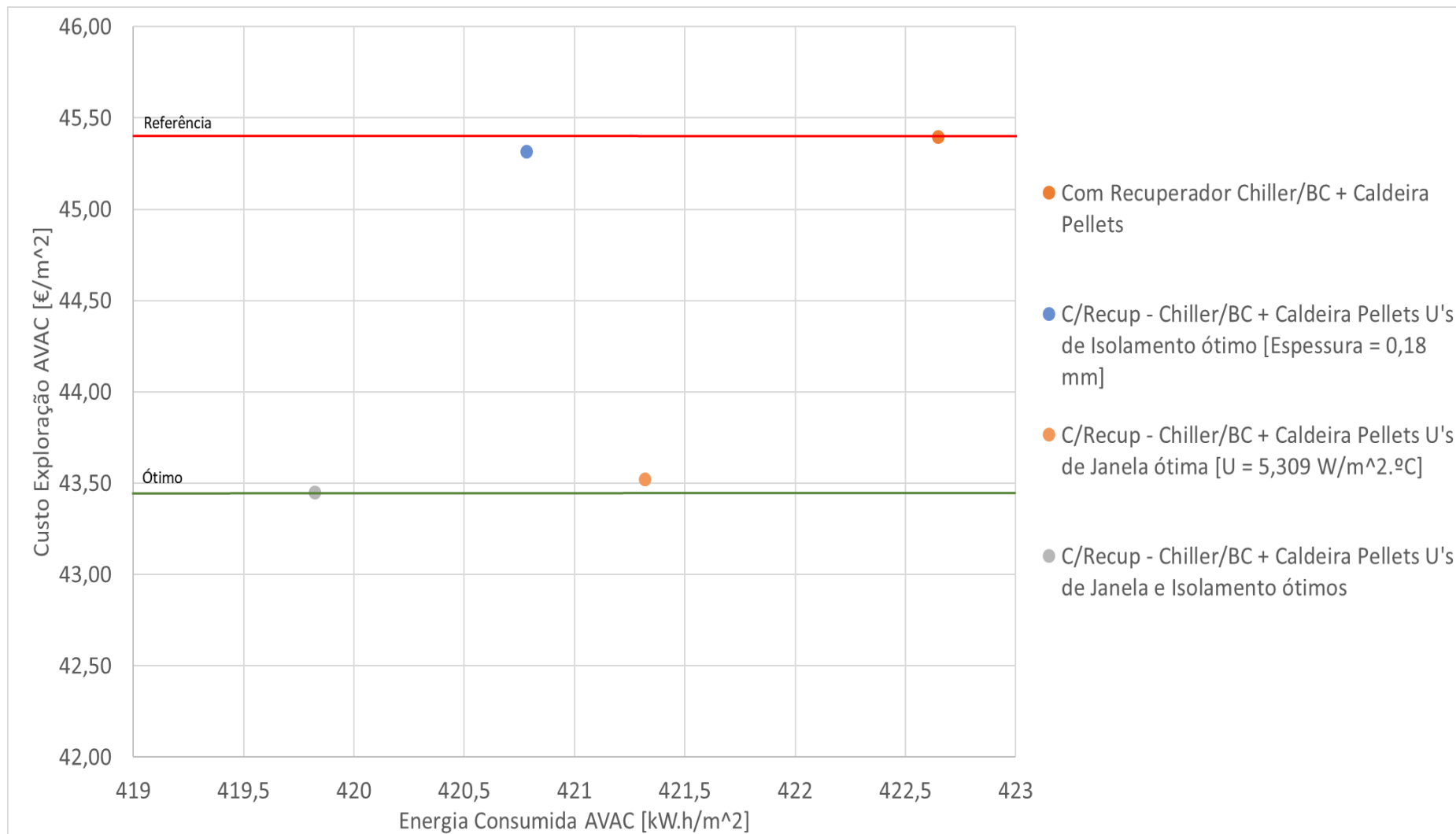


Figura 115 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC de Portugal com os U's de referência e com os U's ótimos

Referente ao primeiro gráfico que relaciona os vários sistemas AVAC na metodologia de custo ótimo, não ficam dúvidas que o melhor sistema AVAC a ser aplicado para a situação de Portugal é o sistema constituído por um recuperador de calor na UTAN, uma bomba de calor aerotérmica para responder às necessidades da climatização e a caldeira de biomassa a *pellets* a produzir AQS ao edifício. Todos os outros sistemas abaixo do nível de referência, também designado por limite de rentabilidade, são sistemas AVAC também razoáveis de ser aplicados, embora não tão bons quanto o referido.

No segundo e terceiro gráfico é apresentada a metodologia do custo ótimo da forma mais correta, pois nesses dois gráficos no custo de exploração estão também incluídos os custos de investimento nos isolamentos e janelas, dependendo dos U's a que se referem.

Pelo segundo gráfico, onde se estuda aplicação da metodologia do custo ótimo relacionando o sistema de referência com os U's de referência de Portugal e os U's ótimos calculados para este mesmo sistema, conclui-se que mais uma vez que caso tenhamos só oportunidade de aplicar o sistema de referência, poderemos melhorar o seu custo de exploração através da aplicação dos vários U's ótimos calculados para as paredes e janelas neste mesmo sistema.

Caso a perspectiva de escolha do melhor sistema seja a de diminuir ao máximo o consumo de energia do sistema AVAC, nesse caso o melhor mesmo é aplicar o sistema de referência com os respetivos U's de referência, mas não é essa a perspectiva que está a ser abordada nesta tese.

Por último, em relação terceiro gráfico, a melhor solução de forma a melhorar tanto o consumo de energia do sistema AVAC como também o custo de exploração está na aplicação para além do melhor sistema, bomba de calor aerotérmica com uma caldeira *pellets* acoplada num sistema com recuperador de calor, também a utilização de paredes e janelas com o valor de U ótimo calculados de propósito para este sistema.

Neste último gráfico, para além das conclusões tiradas, também se pode reparar na diferença que a alteração do valor de referência do U da parede para o valor ótimo, embora não implique uma grande alteração a nível do custo de exploração, a nível do consumo de energia por parte do sistema AVAC existe uma boa variação de valores.

#### 4.6.2. Grécia

Como não podia deixar de acontecer, neste subcapítulo iremos aplicar a metodologia do custo ótimo aos vários sistemas estudados, mas nesta situação para o edifício localizado na Grécia.

Face ao que aconteceu em Portugal, também iremos aplicar a metodologia do cálculo do custo ótimo comparando o sistema de referência com os U's de referência e com os U's ótimos calculados para o sistema de referência. Em último lugar ainda se irá comparar o melhor sistema determinado no estudo 2 aplicando os valores do U de referência e os U ótimos analisados no estudo 4.

Com este estudo pretende-se descobrir se existe algum outro sistema dos estudados, que seja tão bom ou melhor do que o sistema que se está a intitular por melhor sistema, que para a Grécia se trata de um sistema constituído por uma UTAN com recuperador de calor, bomba de calor aerotérmica e uma caldeira de biomassa a *pellets*.

Nos gráficos a seguir representados, o primeiro irá relacionar os vários sistemas entre eles para se escolher qual o melhor, no segundo gráfico irá comparar-se a aplicação do U de referência e dos U ótimos calculados para o sistema de referência, de maneira a entender se as conclusões tiradas da análise do estudo 3 correspondem ao que a metodologia do custo ótimo nos apresenta. Em relação ao terceiro gráfico, iremos comparar no melhor sistema definido para a Grécia a aplicação do U de referência das paredes e das janelas, e a aplicação dos U's ótimos calculados.

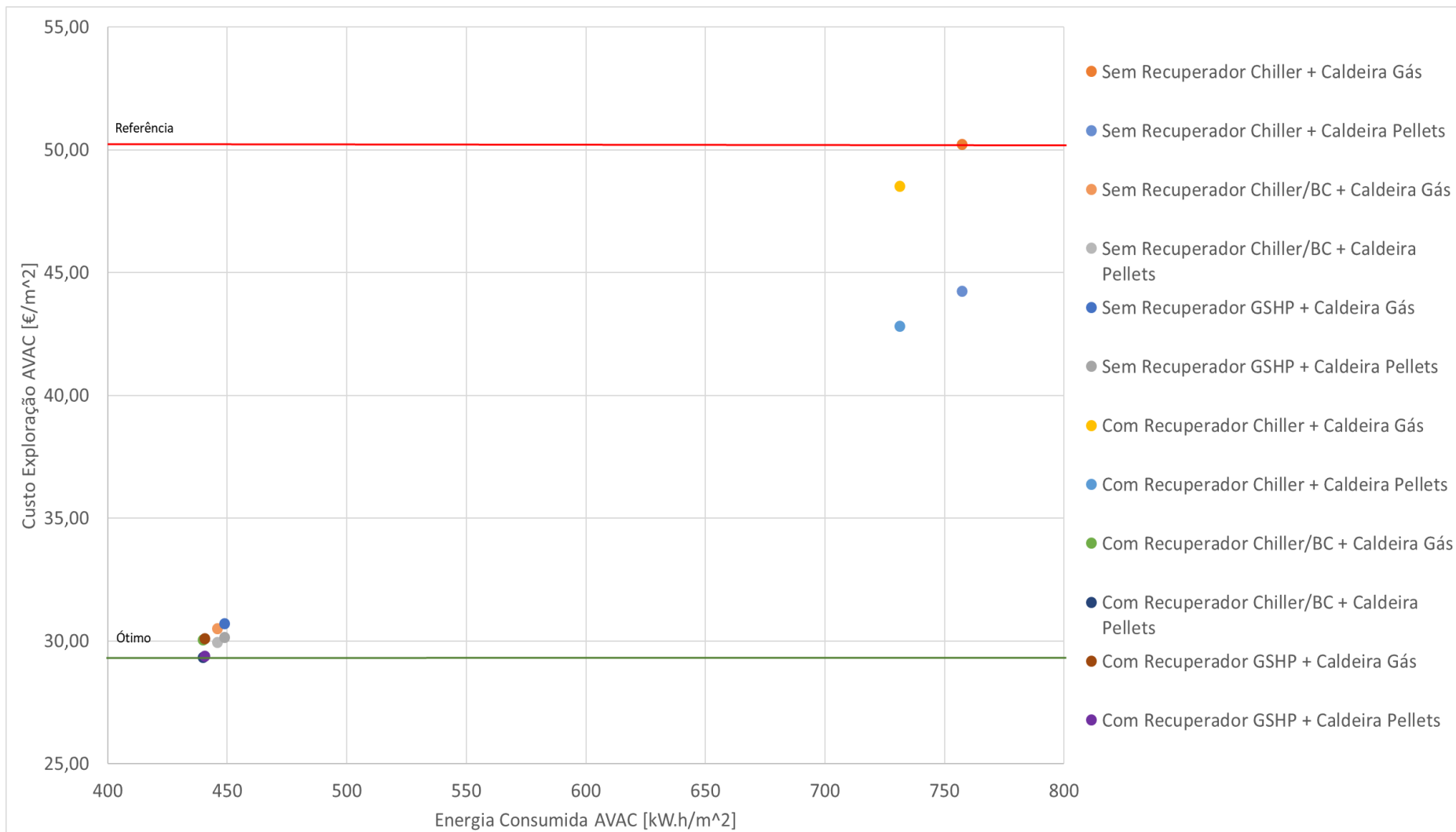


Figura 116 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Grécia

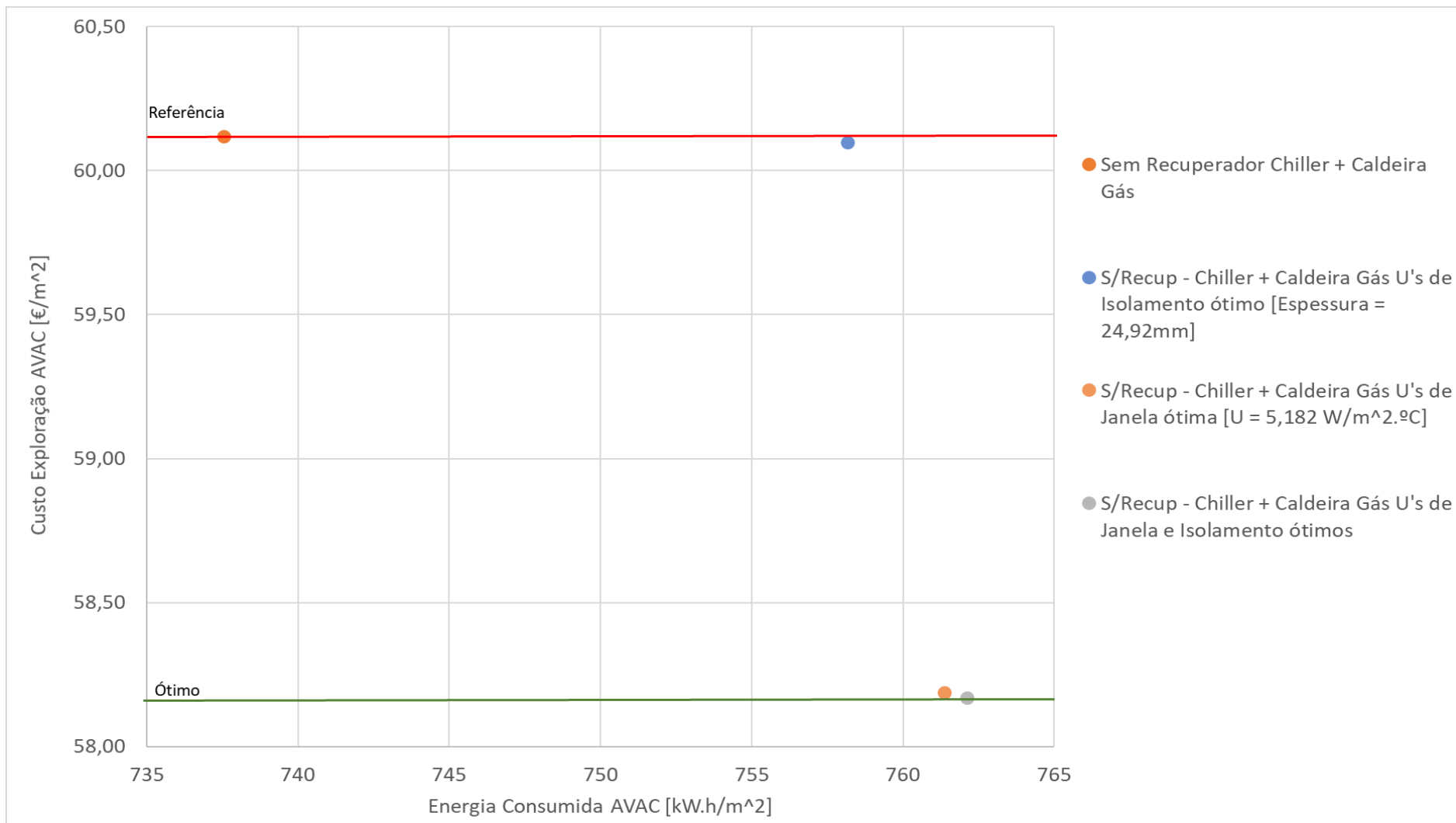


Figura 117 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Grécia

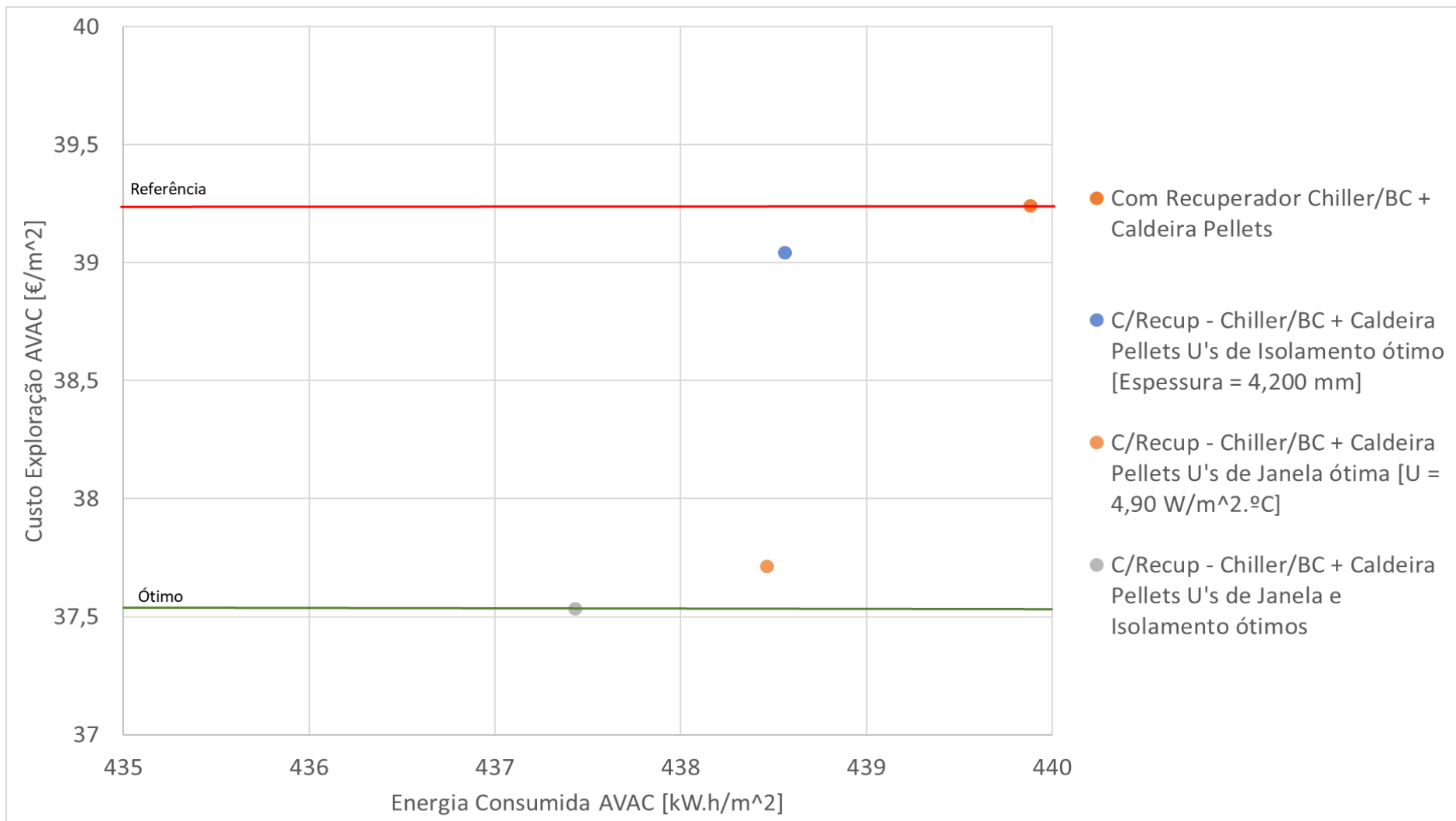


Figura 118 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Grécia com os U's de referência e com os U's ótimos

Analisando o primeiro gráfico, o sistema apresentado como ótimo é constituído por um recuperador de calor, bomba de calor aerotérmica e caldeira a biomassa de *pellets* só para produção de AQS, sistema este já admitido como sendo o melhor no estudo 2. Embora exista um sistema ótimo, um outro sistema aparenta ser também uma boa escolha a ser aplicado, mesmo possuindo um custo de exploração e energia consumida sensivelmente um pouco mais altos, sistema este constituído por bomba de calor geotérmica e caldeira de biomassa.

Quanto ao segundo gráfico, este reforça a conclusão tirada a partir do estudo 3, que a aplicação dos vários U's ótimos para a parede e para a janela no sistema de referência é a melhor solução a ser aplicada para reduzir o custo de exploração no seu funcionamento embora a energia consumida pelo sistema aumente consideravelmente.

Pelo terceiro gráfico, a melhor medida para diminuir ainda mais o consumo de energia e o custo de exploração do melhor sistema é aplicação dos U ótimos calculados no estudo 4 para as paredes exteriores e janelas do edifício. Desta forma, para além de usarmos o sistema com maior rentabilidade ainda o melhoramos com aplicação dos U's ótimos, otimizando assim o seu custo de exploração e energia consumida durante o seu funcionamento.

#### **4.6.3. Alemanha**

Pelos estudos feitos aplicados à Alemanha, o sistema mais otimizado a funcionar para este país é formado por UTAN com recuperador de calor, bomba de calor geotérmica e caldeira a biomassa de *pellets*.

Face ao que aconteceu nos outros 2 países já estudados, serão de seguida apresentados 3 gráficos referentes à aplicação da metodologia do custo ótimo, que ajudaram a entender de forma mais clara qual o sistema que define o nível ótimo de rentabilidade. Em relação ao estudo da aplicação dos U's ótimos, no segundo e terceiro gráfico, pretende-se descobrir qual é a constituição ótima das paredes e janelas de forma a minimizar o custo de exploração do sistema de referência e do sistema referido como ótimo pelo primeiro gráfico.

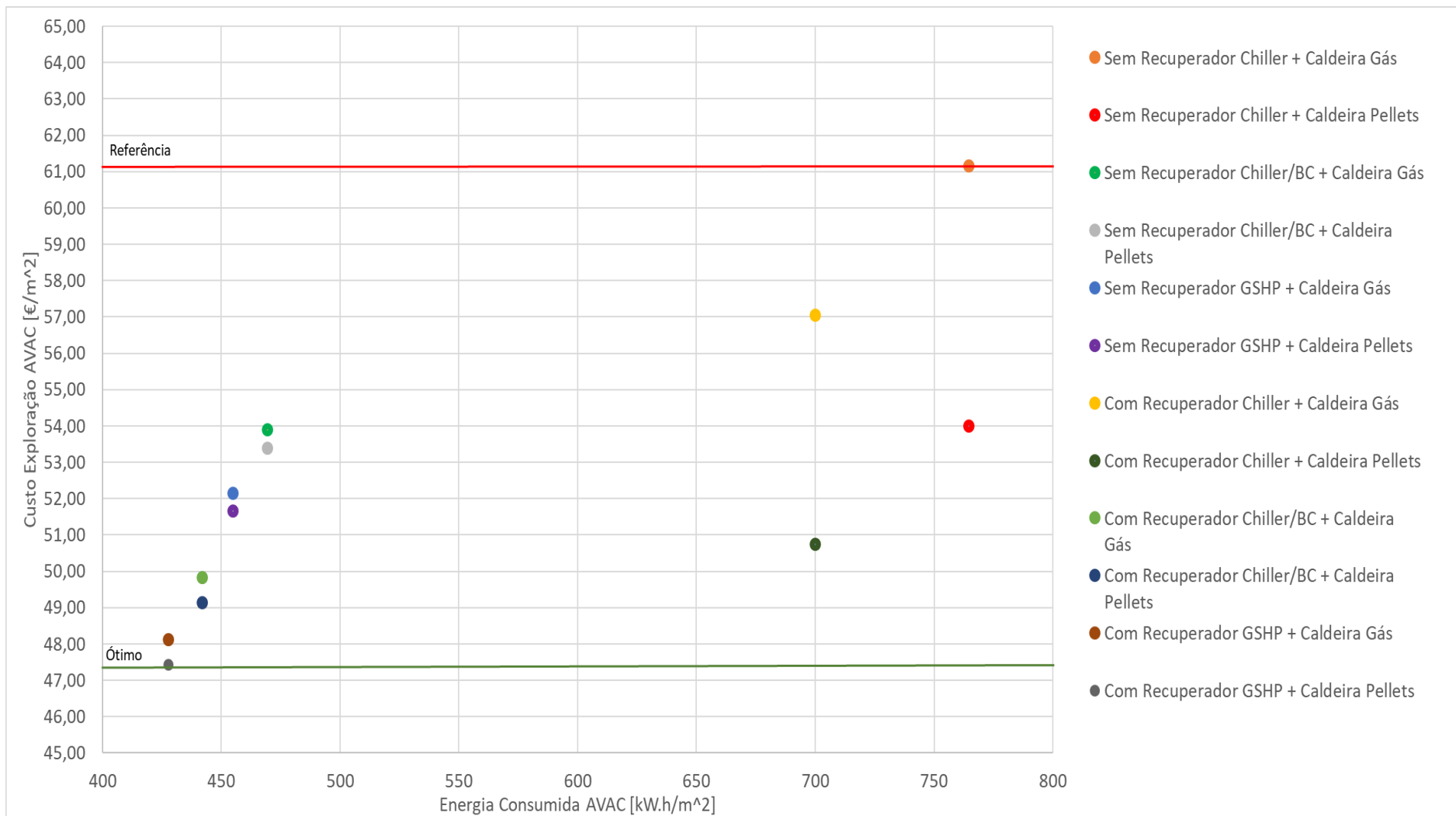


Figura 119 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Alemanha

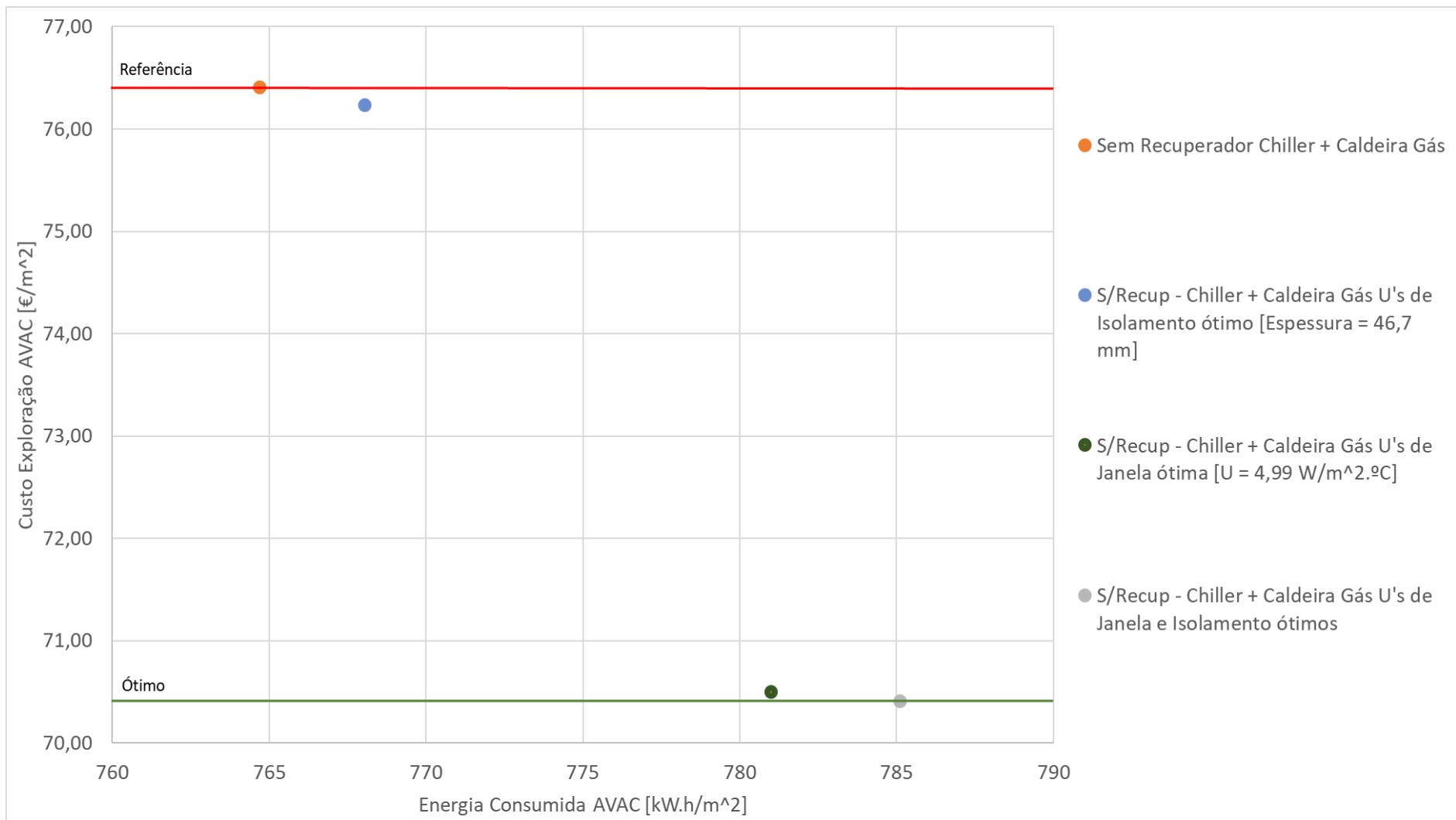


Figura 120 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Alemanha

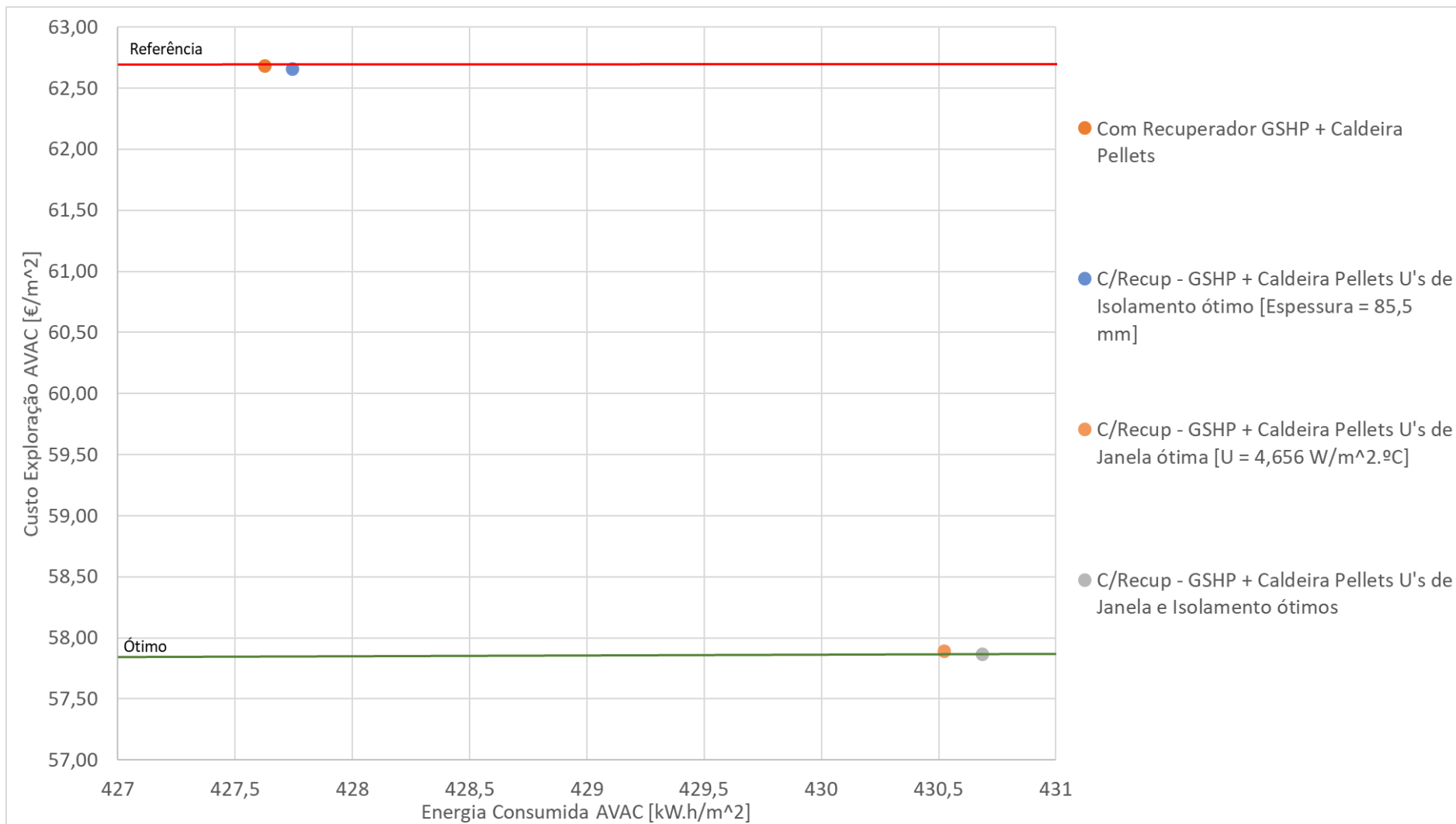


Figura 121 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Alemanha com os U's de referência e com os U's ótimos

Pelo primeiro gráfico apresentado neste estudo da aplicação da metodologia do custo ótimo, o nível ótimo de rentabilidade é definido pelo sistema composto por uma UTAN com recuperador, bomba de calor geotérmica e caldeira de biomassa a *pellets*. O segundo melhor sistema a ser aplicado na Alemanha é constituído também pela bomba de calor geotérmica e por uma caldeira, neste caso, a gás. Entre os dois melhores sistemas a energia consumida é a mesma, diferenciando-se estes pelos diferentes custos de exploração do sistema, devido ao consumo de gás pela caldeira e não de *pellets*.

Pelo segundo gráfico, referente ao sistema de referência e à variação dos U's de referência para os valores ótimos, o nível ótimo de rentabilidade é definido pelo sistema composto pela utilização por ambos os valores ótimos para a parede e para a janela. Repare-se que a energia consumida é maior do que se tratasse dos valores de U de referência dos constituintes, mas o custo de exploração é bastante mais baixo. Em termos de rentabilidade, e é esta a perspetiva presente nas análises de todos estes gráficos, o melhor sistema é o que consome mais energia, mas mesmo assim é o mais baixo em termos de custos de exploração. Se a perspetiva ambiental fosse a mais importante, neste caso teríamos de reduzir o máximo possível o consumo de energia por parte do sistema de climatização, tendo como melhor opção aplicação dos U's de referência das paredes e janelas.

Quanto ao terceiro gráfico, para além da aplicação do sistema com maior rentabilidade podemos melhorá-lo alterando os valores do U das paredes e janelas para os valores ótimos calculados para o sistema mais rentável. Mais uma vez, o custo de exploração do sistema é o especto mais importante neste estudo, pois se a energia consumida fosse o parâmetro mais relevante na escolha da melhor aplicação do sistema, optaríamos por aplicar o sistema mais rentável com os U's de referência aplicados nas paredes e janelas.

#### **4.6.4. Finlândia**

O último estudo de aplicação da metodologia do custo ótimo é feito para a Finlândia, onde é esperado que devido ao consumo de energia total e custo de exploração, no aquecimento e arrefecimento, exista uma maior dificuldade em definir qual o sistema ótimo na perspetiva de obter a maior rentabilidade e menor consumo de energia.

Dito isto, passaremos à demonstração dos vários gráficos para que depois se possa analisar os vários resultados obtidos.

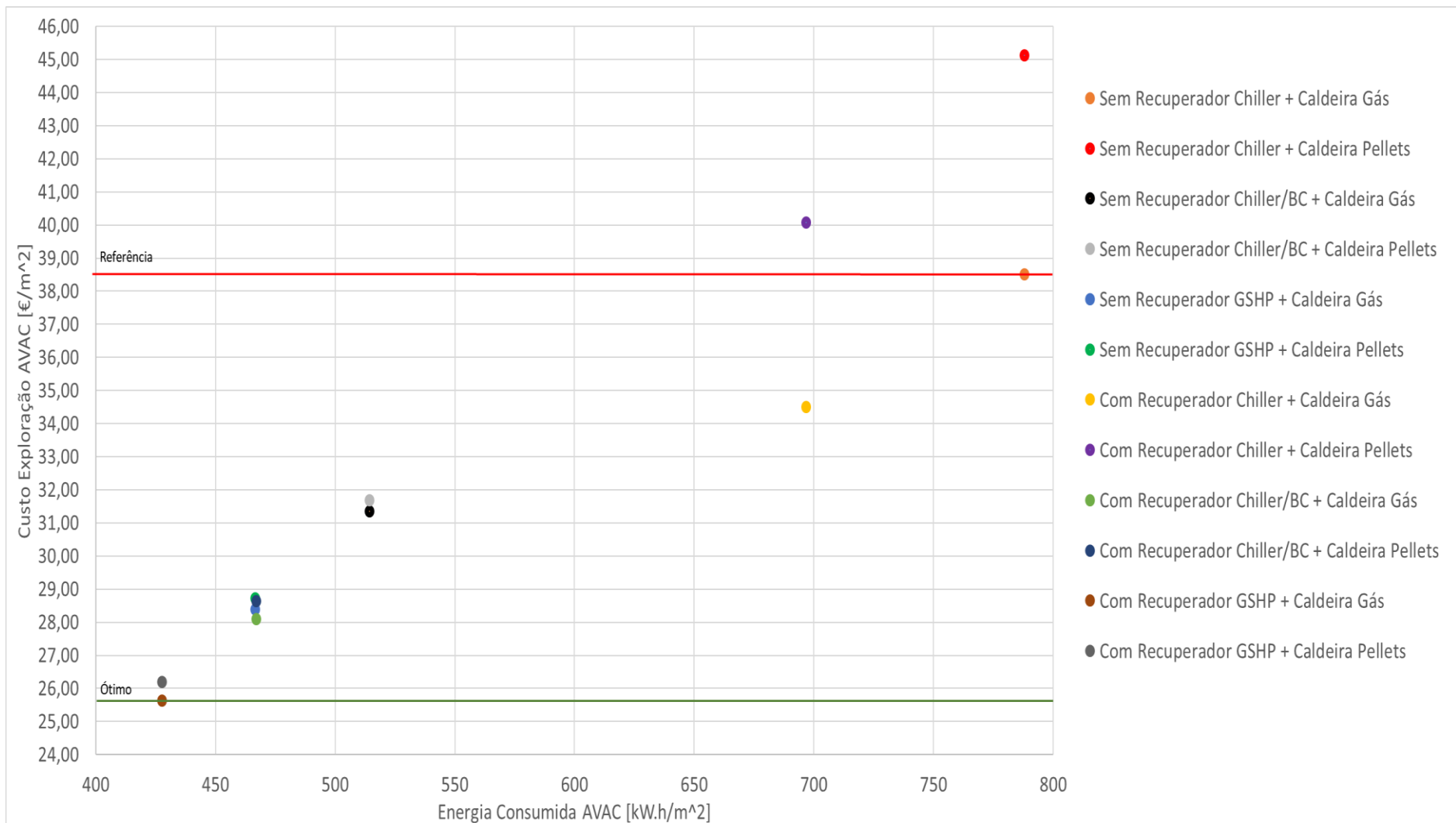


Figura 122 - Metodologia do Custo ótimo aplicado aos vários sistemas AVAC na Finlândia

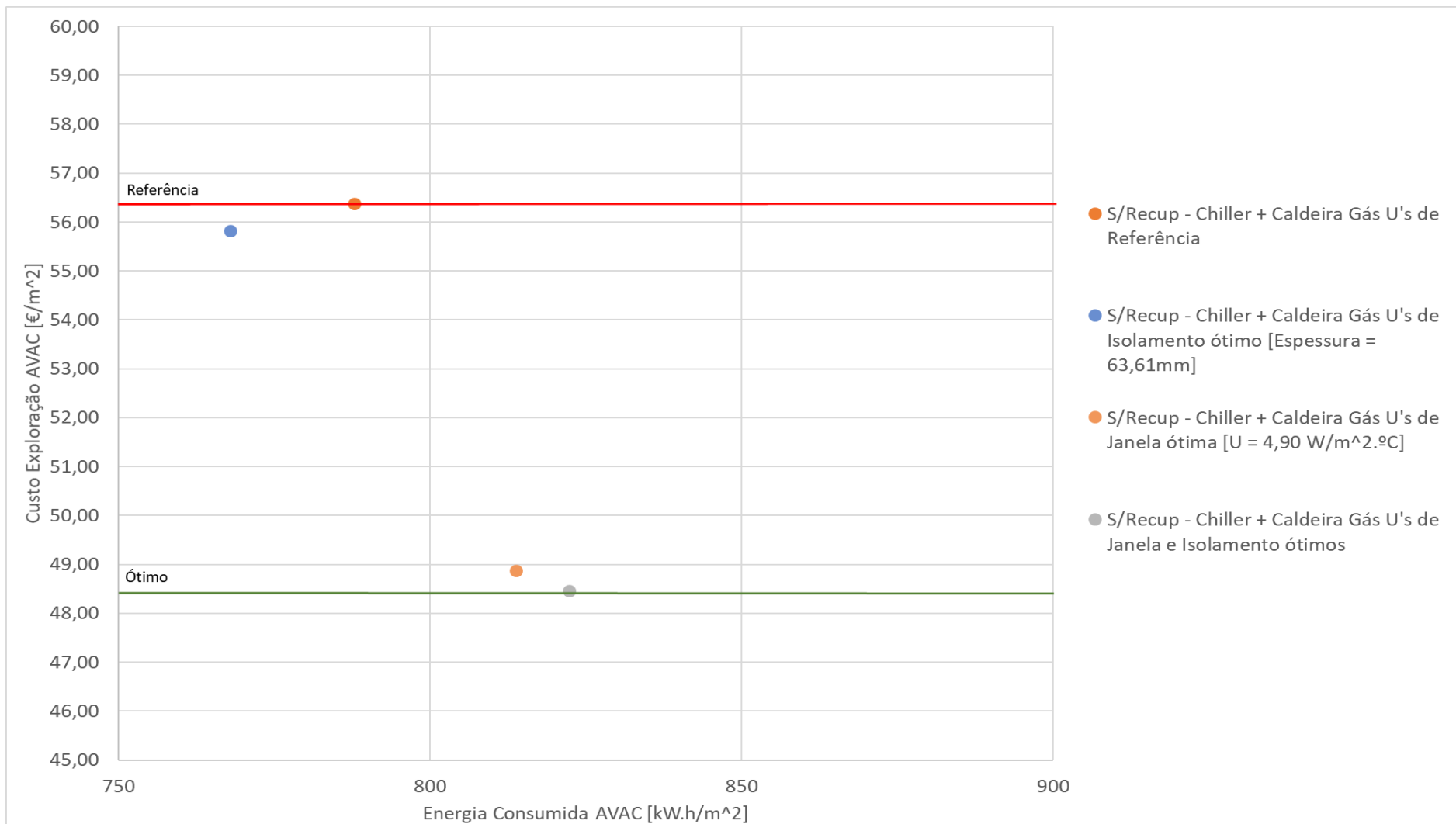


Figura 123 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao sistema AVAC de referência com os U's de referência e com os U's ótimos na Finlândia

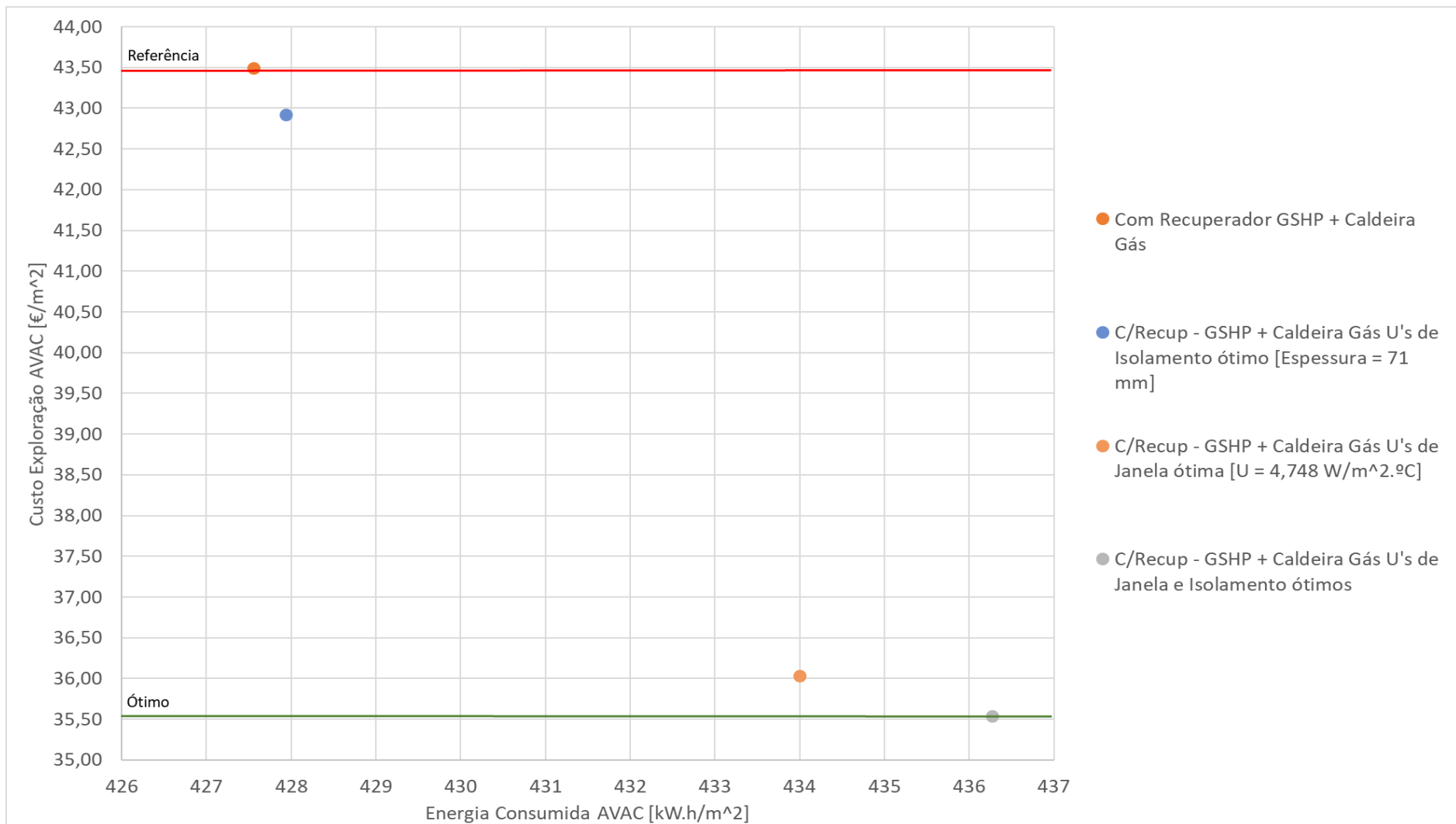


Figura 124 - Metodologia do Custo ótimo aplicado ao melhor sistema AVAC da Finlândia com os U's de referência e com os U's ótimos

No gráfico da metodologia do custo ótimo na Finlândia dos vários sistemas, existem dois sistemas que ultrapassam o limite de rentabilidade, reta horizontal a vermelho definida pelo valor de custo de exploração do sistema de referência. Os dois sistemas que não são recomendados de todo na Finlândia são os sistemas constituídos por chiller e caldeira de biomassa a *pellets*, sendo que um dos sistemas é provido de um recuperador de calor e o outro não.

A aplicação da bomba de calor geotérmica e caldeira a gás é a medida mais favorável em termos de custo benefício, sendo este o sistema que define o nível ótimo de rentabilidade. De forma a diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, poderia optar-se pela aplicação da bomba de calor geotérmica e por uma caldeira de biomassa a *pellets*, tornando o sistema com ambos os equipamentos de produção de energia térmica, fontes de energia renovável reduzindo assim a poluição imposta pelo funcionamento da caldeira a gás.

Em relação ao gráfico que relaciona, no sistema de referência, a alteração dos valores de U das paredes e janelas entre os valores de referência e ótimos, conclui-se que a utilização de ambos os U's ótimos para as paredes e janelas são a melhor opção para aumentar no nível de rentabilidade do sistema de referência. Repare-se que se apenas impormos o valor ótimo na parede, deixando as janelas com o U de referência, a energia consumida pelo sistema diminui, enquanto se alterarmos para o valor ótimo também o U da janela, o consumo de energia pelo sistema aumenta.

Um fato curioso no segundo gráfico é que se repararmos na evolução do sistema na alteração apenas do U da parede a energia consumida diminui em relação ao consumo de referência. Mas quando é aplicado o U ótimo da parede no sistema provido com o U da janela também ótimo, o consumo de energia aumenta em relação ao sistema que apenas teria inserido o valor ótimo do U da janela, algo que não se estaria à espera visto que aplicação do U ótima na janela seria uma medida de redução da energia consumida. A ocorrência destes resultados que não seriam tão expectáveis, justifica o fato de ser necessário sempre fazer-se uma análise e algumas simulações, se possível, para que se possa entender quais as regalias presentes em cada sistema aplicado.

De forma a melhorar o nível de rentabilidade do melhor sistema para a Finlândia, foi criado o terceiro gráfico onde se aplica a metodologia do custo ótimo, de forma a estudar qual a melhor medida a ser aplicado no que toca ao tipo de isolamento e janela a instalar. A medida apresentada com maior diminuição do custo de exploração do sistema estipulado com maior rentabilidade é a aplicação de paredes e janelas com os U ótimos calculados para cada um deles. Com esta medida, aumentar-se-á o consumo de energia do sistema AVAC, mas como o mais importante é a diminuição do custo de exploração dos sistemas AVAC, a aplicação dos U's ótimos da parede e janelas é a solução mais favorável.

## 5. Conclusão

A elaboração da presente tese permitiu, para além do conhecimento e o estudo das várias regulamentações existentes referentes ao desempenho energético do edifício e à avaliação energética existente tanto em Portugal como na Europa, também perceber qual o impacto que os sistemas AVAC têm no consumo de energia num edifício. Foram estudadas várias soluções para o melhoramento dos custos e consumos do sistema AVAC, considerando a envolvente do edifício e o sistema AVAC que tanto produz energia térmica para o sistema de climatização como AQS para serem consumidas pelo edifício. Quanto à envolvente foram consideradas no estudo os valores dos U's de referência de cada país e calculados os valores ótimos para posterior estudo da aplicação desses valores nas paredes e nas janelas. Os valores de U ótimo foram calculados tendo em conta os custos de investimento nos vários tipos de envolventes e os custos de exploração. No que toca ao sistema AVAC foram ponderados vários tipos de equipamentos, como unidades produtoras de água fria, caldeiras a gás e na vertente das energias renováveis, caldeiras de biomassa a *pellets*, bombas de calor aerotérmicas e bombas de calor geotérmicas.

A metodologia de abordagem proposta nesta tese foi baseada em simulações energéticas de um edifício de comércio e serviço, mais propriamente um hotel, a partir da utilização do *software Hourly Analysis Program*. No programa foram inseridas todas as características do edifício e da sua localização, necessárias para a realização das várias simulações dinâmicas. Para tal, foram feitas algumas estimativas muito pouco pormenorizadas da ocupação do edifício, da sua iluminação, dos vários equipamentos elétricos dispostos por todo o edifício, entre outros. Referente às suas características quanto a paredes e envidraçados, as suas características foram admitidas seguindo as legislações implementadas de cada país em estudo.

Quanto às simulações, os fatores mais importantes para aplicação da metodologia são o custo de exploração de cada um dos sistemas, a energia consumida pelos mesmos, as emissões CO<sub>2</sub> de cada um e o custo de investimento nos vários tipos de isolamentos e janelas usadas nos cálculos das melhores soluções para aumentar a rentabilidade do sistema de referência e do sistema mais rentável de cada país. O custo de investimentos calculados para os vários tipos de isolamentos e janelas foram calculados tendo por base um tempo de vida útil de 30 anos de acordo com o Regulamento Delegado nº 244/2012 da comissão de 16 de Janeiro de 2012.

Uma das conclusões tiradas com este estudo é o facto de a produção de AQS influenciar muito significativamente nos consumos de energia por parte do sistema AVAC, visto ser este que para além fornecer energia térmica ao sistema de climatização também produz AQS ao edifício. Pelos gráficos demonstrados pelo estudo 2, pode-se rever o que foi dito através do custo de exploração pelo sistema na produção apenas de água quente para o sistema

de climatização que é muito mais inferior que o custo de exploração na produção água quente para abastecer ambos os sistemas, climatização e AQS.

Acerca da aplicação da metodologia do custo ótimo, pelos vários gráficos deparamo-nos com resultados diferentes, dependendo do clima em que o edifício se insere. Onde os sistemas mais rentáveis são os mesmos entre países é nas situações em que o sistema se localiza na Grécia ou em Portugal, pois os climas são bastante parecidos entre eles. Isto acontece apenas se analisarmos os vários sistemas numa perspetiva de custo e benefício para o utilizador. Embora o sistema, tanto na Grécia como em Portugal, seja o que consome menos energia final, não é o menos poluente dos sistemas, sendo o menos poluente o sistema constituído por chiller e caldeira de biomassa a *pellets*. Dito isto, e embora o sistema descrito como o mais económico não seja o menos poluente, se analisarmos ambos os parâmetros em conjunto, custo de exploração, energia consumida e emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, a utilização do sistema bomba de calor aerotérmica e caldeira de biomassa a *pellets* é o que apresenta maiores vantagens numa relação económica e ambiental.

Em relação ao estudo da aplicação dos sistemas na Alemanha, sendo este um país mais frio que os mencionados anteriormente, o sistema mais rentável economicamente é constituído por uma UTAN com recuperador de calor e para produção de energia térmica é utilizado uma bomba de calor geotérmica e caldeira de biomassa a *pellets* para auxiliar na produção de AQS quando as bombas de calor não conseguirem responder às necessidades do edifício. A nível ambiental, o melhor sistema para este mesmo país é formado por um chiller para produção de água fria e uma caldeira *pellets* para produção da AQS e da água quente para o sistema de climatização, pois como foi definida a caldeira de biomassa a *pellets*, esta possui 0% de emissões de gases poluentes para o meio ambiente. Quanto aos resultados de emissões de CO<sub>2</sub> do sistema economicamente mais rentável, este ocupa o terceiro lugar da lista dos melhores sistemas a nível de emissões. Tendo em conta estes resultados, o sistema composto por bomba de calor geotérmica e caldeira de biomassa a *pellets* e ainda recuperador de calor na UTAN, é o sistema com melhor custo, benefício e emissões mais vantajoso para ambos os lados, utilizador do sistema e meio ambiente.

Por último, resta referir o estudo feito para a Finlândia. Para o clima que se proporciona neste país e tendo em conta os custos dos vários tipos de fontes de energia utilizadas, o sistema de rentabilidade ótimo apresentado pelo estudo da metodologia do custo ótimo é constituído por recuperador de calor acoplado à UTAN, bomba de calor geotérmica e caldeira a gás. Devido ao custo de kW.h de gás ser inferior ao custo do kW.h equivalente de *pellets*, a utilização de uma caldeira a gás torna-se suficiente benéfico, em termos económicos, para sua aplicação. O problema presente na utilização de caldeira a gás, ao invés da caldeira de biomassa a *pellets*, é o facto de na queima do gás para produção de energia térmica para ser distribuída para o edifício, emitir quantidades bastante elevadas de CO<sub>2</sub> para atmosfera, fazendo com que este sistema ocupe o sexto lugar da lista de sistemas menos

poluidores. Nesta referida lista, o primeiro lugar é atribuído uma vez mais ao sistema composto por chiller e caldeira de biomassa a *pellets*.

Visto este sistema ser um pouco poluidor, o sistema ideal, analisando ambas as perspectivas de custo-benefício e ambiental, a utilização de bomba de calor geotérmicas com o auxílio de uma caldeira de biomassa a *pellets* para produção de AQS seria a opção ideal para ambas as partes. Para tal, o mais certo seria que a legislação da Finlândia atribuisse incentivos monetários ou redução de alguns dos impostos a estes tipos de edifícios de comércio e serviços, para que se apostasse mais na utilização de energias renováveis na climatização dos edifícios e produção de AQS, tornando o sistema referido, numa ótima solução de aplicação.

Concluindo, com esta dissertação pretendeu-se estudar aplicação de várias soluções de eficiência energética para os sistemas AVAC em países distintos, de forma a perceber quais as alterações existentes a nível de consumos de energia, emissões e custos dos vários sistemas, entre países. Com isto, pretendeu-se estudar os sistemas em duas vertentes, económica e ambiental. A vertente económica foi estudada a partir da metodologia do custo ótimo, relacionando o custo de exploração e energia consumida dos vários sistemas, e a ambiental foi estudada através dos valores de emissões de CO<sub>2</sub> dos sistemas, atendendo à diretiva EPBD recast. A aplicação de soluções para determinação do melhor sistema não é tão linear como se pensa, não é suficiente a intervenção na envolvente com valores de U os mais reduzidos possíveis, ou no sistema com menores emissões ou no sistema que utilize mais fontes de energia renovável, sendo sempre necessário analisar e identificar os vários fatores de forma a conhecer a combinação ótima financeira e ambiental. Verifica-se assim a utilidade em haver estudos de projetos não apenas pelos valores de referência impostos pela legislação de cada país, mas um estudo económico e ambiental que possibilite concluir qual o conjunto de soluções de medidas de eficiência energética do sistema AVAC, para qualquer que seja o tipo de edifício, residencial ou de comércio e serviços.

## **5.1. Propostas de trabalhos futuros**

Devido ao escasso tempo existente para a realização da dissertação e algumas incompatibilidades presentes no programa de simulação dinâmica utilizado, não foram avaliadas todas as soluções de medidas de eficiência energética existentes, os custos de investimento dos vários equipamentos e os custos nas suas manutenções. Em consequência das razões apresentadas, são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros que possam melhorar ou completar muito mais os estudos e análises feitos.

- Estudar mais soluções de medidas de eficiência energética com outros equipamentos;
- Aplicar outras fontes de energia renováveis, como solar fotovoltaico, solar térmico ou até mesmo eólica;
- Estudar as várias soluções para mais países da EU ou mesmo para países de outros continentes;

- Inserção dos valores de investimento e de manutenção dos vários equipamentos, tendo em conta o tempo de vida útil de 30 anos;
- Utilização de outros tipos de isolamento, para além de XPS, como por exemplo cortiça;
- Prever alguns incentivos que possam estimular os vários países para o uso de fontes de energia renovável ou a diminuição das emissões de GEE para atmosfera;
- Incremento da análise de sensibilidade nos vários casos de estudo;
- Aplicação da metodologia de custo ótimo em edifícios residenciais ou em edifícios de comércio e serviços com necessidades térmicas mais baixas;
- Cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor ótimos para os vários sistemas dos vários países.

## Referências bibliográficas

ADENE - Legislação Nacional, Agência para a Energia, Lisboa, Decreto Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios* (SCE), Lisboa 2006 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Decreto Lei 79/2006 de 4 de Abril – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios* (RSECE), Lisboa 2006 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Decreto Lei 80/2006 de 4 de Abril – *Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios* (RCCTE), Lisboa 2006. [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

ADENE - Legislação Nacional, Agência para a Energia, Decreto Lei 118/2013 de 20 de Agosto – *Aprovação da transposição da Diretiva n.º 2010/31/UE*, do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010, Lisboa 2013 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

ADENE – Legislação Nacional, Agência para a Energia, Despacho nº 15793-D/2013 – *Fatores de conversão energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária*, Dezembro 2013. [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.academiaadene.pt](http://www.academiaadene.pt)

Decreto do Presidente da República nº118/2013 de 13 de Novembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Diário da República: 2ª série, Nº 29. Disponível em: [www.dre.pt/](http://www.dre.pt/)

Almeida, Manuela; Ferreira, Marco; Rodrigues, Ana (2013). *Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo*. Associação Portuguesa Dos Comerciantes de Materiais de Construção, 165, 44–50.

Portaria nº 17-A/2016 de 4 de Fevereiro. Diário da República nº 24 – 1ª Série. Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Economia. Lisboa.

Portaria nº 353-A/2013 de 4 de Dezembro. Diário da República nº 235 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.

APA – Legislação europeia, Agência Portuguesa do Ambiente, *Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho*, Maio de 2010 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)

ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook-Fundamentals*.

Brandão De Vasconcelos, A., Pinheiro, M. D., Manso, A., & Cabaço, A. (2016). *EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building*. *Energy and Buildings*, 111, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.006>

DECORFOGO – [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: <http://decorfogo.blogspot.pt>

DGEG – [On-line em Outubro 2017]. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/pagina.aspx?js=0&codigono=636364486449AAAAAAAAAAAAA>

Eurostat. (2016). Electricity price statistics - Statistics Explained, (November), 1–16. Disponível em: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_household\\_consumers](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers)

Eurostat. (2017). Natural gas price statistics - Statistics Explained, (June), 1–12. Disponível em: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural\\_gas\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics)

Eleftheriadis, I. - *Pellet market in Greece: current state & Outlook* – Biomass Department, Centre for Renewable Energy Sources and Saving, Janeiro 2014 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.cres.gr/](http://www.cres.gr/)

FORDAQ – [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: <http://www.ihb.de/>

Guia Casa Eficiente – [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.guiacasaeficiente.com](http://www.guiacasaeficiente.com)

Santos, C.A. Pina dos, Matias, L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, Informação Técnica Edifícios ITE 50, Lisboa, 2006.

STATISTICS FINLAND - *Producer price indices* - Official Statistics of Finland (OSF), Maio 2017 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [tilastokeskus.fi/til/hin\\_en.html](http://tilastokeskus.fi/til/hin_en.html)

Maldonado, E. (2011). Implementing the Energy Performance of Buildings Directive. [https://doi.org/ISBN\\_978-92-9202-090-3](https://doi.org/ISBN_978-92-9202-090-3)

Maldonado, E. (2015). *2016 Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. ADENE. Lisboa.

Neves A; Blondel L; Brand K; Hendel Blackford S; Rivas Calvete S; Iancu A; Melica G; Koffi Lefeivre B; Zancanella P; Kona A. - *Guia para a apresentação dos resultados do Pacto de Autarcas para o Clima e Energia* – União Europeia, Luxemburgo 2016 [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.eumayors.eu](http://www.eumayors.eu)

PARLAMENTO EUROPEU - *Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*, em Jornal Oficial da União Europeia [on-line em outubro 2017]. Disponível em: [eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)

PE – Portal Energia [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.portal-energia.com](http://www.portal-energia.com)

PIMACON – [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [www.pimacon.com](http://www.pimacon.com)

PER – Portal das Energias Renováveis – [on-line em Outubro 2017]. Disponível em: [energiasrenovaveis.com](http://energiasrenovaveis.com)

Roriz, L. (2007). *Climatização, Conceção, Instalação e Condução de sistemas*. 2ª Edição, Edições Orion. Lisboa.

Technical Committee CEN/TC 169 “Light and Lighting.” (2002). Light and lighting - Lighting of work places - Part 1 : Indoor work. *European Standard*, 3, 1–43. <https://doi.org/http://www.din.de>

Boermans, T.; Petersdorff, C. (2007). *U-Values for Better Energy Performance of Buildings*. Ecofys.

União, E. (2010). *How to develop a Sustainable Energy Action Plan*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/>

Vieira, M. V. R. (2011). *Influência das recuperações térmicas (ar e água) no dimensionamento de sistemas energéticos centralizados em Grandes Edifícios de Serviço*.

Zaichenko, V. M., & Shterenberg, V. Y. (2017). *Torrefaction of wood pellets: New solutions*. *Thermal Engineering*, 64(10), 729–737.

## **Anexos**

## Anexo 1 – Relatório das simulações energéticas para os sistemas sem recuperador em Portugal

[NOTA: apenas serão apresentados os relatórios das simulações para a situação em Portugal devido às muitas páginas que seriam necessárias para serem incluídas, nos anexos, todas as simulações de todos os países.]

Table 1.1 Annual Costs

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)	2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€)	3.Building Chiller/BC+Caldeira Gás (€)	4.Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)	5.Building GSHP+Caldeira Gás (€)
Air System Fans	27 756	27 756	27 756	27 756	27 756
Cooling	38 073	38 073	29 007	29 007	17 894
Heating	134 661	73 732	66 782	61 459	80 527
Pumps	4 234	4 234	3 215	3 215	3 189
Heat Rejection Fans	0	0	0	0	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 723</b>	<b>143 794</b>	<b>126 759</b>	<b>121 436</b>	<b>129 365</b>
Lights	17 307	17 307	17 307	17 307	17 307
Electric Equipment	83 149	83 149	83 149	83 149	83 149
Misc. Electric	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 179</b>	<b>244 250</b>	<b>227 215</b>	<b>221 892</b>	<b>229 821</b>

Table 1.2 Annual Costs

Component	6.Building GSHP+Caldeira Pellets (€)
Air System Fans	27 756
Cooling	17 894
Heating	75 152
Pumps	3 189
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>123 991</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>224 446</b>

**Table 2.1 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,516	8,516	8,516	8,516	8,516
Cooling	11,682	11,682	8,900	8,900	5,491
Heating	41,318	22,623	20,491	18,858	24,708
Pumps	1,299	1,299	0,986	0,986	0,979
Heat Rejection Fans	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,816</b>	<b>44,121</b>	<b>38,894</b>	<b>37,261</b>	<b>39,694</b>
Lights	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310
Electric Equipment	25,513	25,513	25,513	25,513	25,513
Misc. Electric	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Misc. Fuel Use	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,639</b>	<b>74,944</b>	<b>69,717</b>	<b>68,084</b>	<b>70,517</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 2.2 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+CaldeiraP ellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,516
Cooling	5,491
Heating	23,059
Pumps	0,979
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>38,044</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>68,868</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1.1 Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás (€)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets (€)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€)</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric	70 068	70 068	114 985	114 985	117 475
Natural Gas	134 661	0	11 765	0	11 879
Fuel Oil	0	73 732	0	6 442	0
Propane	0	0	0	0	0
Remote HW	0	0	0	0	0
Remote Steam	0	0	0	0	0
Remote CW	0	0	0	0	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 729</b>	<b>143 799</b>	<b>126 749</b>	<b>121 426</b>	<b>129 354</b>
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric	100 458	100 458	100 458	100 458	100 458
Natural Gas	0	0	0	0	0
Fuel Oil	0	0	0	0	0
Propane	0	0	0	0	0
Remote HW	0	0	0	0	0
Remote Steam	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 187</b>	<b>244 258</b>	<b>227 207</b>	<b>221 884</b>	<b>229 812</b>

**Table 1.2 Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+CaldeiraP ellets (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	117 475
Natural Gas	0
Fuel Oil	6 504
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>123 979</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>224 437</b>

**Table 2.1 Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric (kWh)	304 643	304 643	499 934	499 934	510 761
Natural Gas (*)	1 642 202	0	143 471	0	144 866
Fuel Oil (*)	0	335 143	0	29 280	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
Remote CW (na)	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric (kWh)	436 774	436 774	436 774	436 774	436 774
Natural Gas (*)	0	0	0	0	0
Fuel Oil (*)	0	0	0	0	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
<b>Totals</b>					
Electric (kWh)	741 418	741 418	936 708	936 708	947 535
Natural Gas (*)	1 642 202	0	143 471	0	144 866
Fuel Oil (*)	0	335 143	0	29 280	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
Remote CW (na)	0	0	0	0	0

(\*) Energy Units differ among Buildings.

**Table 2. 2 Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+CaldeiraP ellets</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	510 761
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	29 565
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	947 535
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	29 565
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

(\*) Energy Units differ among Buildings.

**Table 3. 1 Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás</b>
CO2 Equivalent (kg)	602 767	274 319	375 297	346 602	379 585

**Table 3. 2 Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+CaldeiraP ellets</b>
CO2 Equivalent (kg)	350 611

**Table 4.1 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric	21,499	21,499	35,281	35,281	36,045
Natural Gas	41,318	0,000	3,610	0,000	3,645
Fuel Oil	0,000	22,623	0,000	1,977	0,000
Propane	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote HW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote Steam	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote CW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,818</b>	<b>44,123</b>	<b>38,891</b>	<b>37,258</b>	<b>39,690</b>
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric	30,824	30,824	30,824	30,824	30,824
Natural Gas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fuel Oil	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Propane	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote HW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote Steam	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,641</b>	<b>74,946</b>	<b>69,715</b>	<b>68,082</b>	<b>70,514</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 4.2 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+CaldeiraP ellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	36,045
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	1,996
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>38,041</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>68,865</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

## Anexo 2 - Relatório das simulações energéticas para os sistemas com recuperador em Portugal

Table 1.1 Annual Costs

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)	2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€)	3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás (€)	4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets (€)	5.Building GSHP+Caldeira Gás (€)
Air System Fans	27 798	27 798	27 798	27 798	27 798
Cooling	38 234	38 234	28 833	28 833	17 883
Heating	128 050	70 112	65 113	58 510	77 501
Pumps	4 234	4 234	3 214	3 214	4 666
Heat Rejection Fans	0	0	0	0	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>198 316</b>	<b>140 378</b>	<b>124 958</b>	<b>118 356</b>	<b>127 847</b>
Lights	17 307	17 307	17 307	17 307	17 307
Electric Equipment	83 149	83 149	83 149	83 149	83 149
Misc. Electric	0	0	0	0	0
Misc. Fuel Use	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>298 771</b>	<b>240 833</b>	<b>225 414</b>	<b>218 811</b>	<b>228 303</b>

Table 1.2 Annual Costs

Component	6.Building GSHP+Caldeira Pellets (€)
Air System Fans	27 798
Cooling	17 883
Heating	70 898
Pumps	4 666
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>121 245</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>221 701</b>

**Table 2.1 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,529	8,529	8,529	8,529	8,529
Cooling	11,731	11,731	8,847	8,847	5,487
Heating	39,290	21,513	19,979	17,953	23,780
Pumps	1,299	1,299	0,986	0,986	1,432
Heat Rejection Fans	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>60,850</b>	<b>43,073</b>	<b>38,341</b>	<b>36,315</b>	<b>39,228</b>
Lights	5,310	5,310	5,310	5,310	5,310
Electric Equipment	25,513	25,513	25,513	25,513	25,513
Misc. Electric	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Misc. Fuel Use	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>91,673</b>	<b>73,896</b>	<b>69,164</b>	<b>67,138</b>	<b>70,051</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 2.2 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,529
Cooling	5,487
Heating	21,754
Pumps	1,432
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>37,202</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>68,025</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1.1 Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás (€)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets (€)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€)</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric	70 271	70 271	110 359	110 359	113 246
Natural Gas	128 050	0	14 592	0	14 592
Fuel Oil	0	70 112	0	7 990	0
Propane	0	0	0	0	0
Remote HW	0	0	0	0	0
Remote Steam	0	0	0	0	0
Remote CW	0	0	0	0	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>198 321</b>	<b>140 383</b>	<b>124 951</b>	<b>118 349</b>	<b>127 838</b>
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric	100 458	100 458	100 458	100 458	100 458
Natural Gas	0	0	0	0	0
Fuel Oil	0	0	0	0	0
Propane	0	0	0	0	0
Remote HW	0	0	0	0	0
Remote Steam	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>298 779</b>	<b>240 841</b>	<b>225 409</b>	<b>218 807</b>	<b>228 296</b>

**Table 1.2 Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+Caldeira Pellets (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	113 246
Natural Gas	0
Fuel Oil	7 990
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>121 236</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>221 694</b>

**Table 2.1 Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric (kWh)	305 526	305 526	479 822	479 822	492 376
Natural Gas (*)	1 561 581	0	177 950	0	177 950
Fuel Oil (*)	0	318 690	0	36 316	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
Remote CW (na)	0	0	0	0	0
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric (kWh)	436 774	436 774	436 774	436 774	436 774
Natural Gas (*)	0	0	0	0	0
Fuel Oil (*)	0	0	0	0	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
<b>Totals</b>					
Electric (kWh)	742 301	742 301	916 596	916 596	929 150
Natural Gas (*)	1 561 581	0	177 950	0	177 950
Fuel Oil (*)	0	318 690	0	36 316	0
Propane (na)	0	0	0	0	0
Remote HW (na)	0	0	0	0	0
Remote Steam (na)	0	0	0	0	0
Remote CW (na)	0	0	0	0	0

(\*) Energy Units differ among Buildings.

**Table 2. 2 Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+Caldeira Pellets</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	492 376
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	36 316
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	929 150
Natural Gas (*)	0
Fuel Oil (*)	36 316
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

(\*) Energy Units differ among Buildings.

**Table 3. 1 Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldei ra Gás</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás</b>
CO2 Equivalent (kg)	586 969	274 646	374 747	339 156	379 395

**Table 3. 2 Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+Caldeira Pellets</b>
CO2 Equivalent (kg)	343 805

**Table 4.1 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2.Building Chiller+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>3.Building Chiller/BC+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5.Building GSHP+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>					
Electric	21,562	21,562	33,862	33,862	34,748
Natural Gas	39,290	0,000	4,477	0,000	4,477
Fuel Oil	0,000	21,513	0,000	2,452	0,000
Propane	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote HW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote Steam	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote CW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>60,851</b>	<b>43,074</b>	<b>38,339</b>	<b>36,313</b>	<b>39,225</b>
<b>Non-HVAC Components</b>					
Electric	30,824	30,824	30,824	30,824	30,824
Natural Gas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fuel Oil	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Propane	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote HW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Remote Steam	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>91,675</b>	<b>73,898</b>	<b>69,163</b>	<b>67,137</b>	<b>70,049</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 4.2 Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>6.Building GSHP+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	34,748
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	2,452
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>37,199</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>68,023</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

## Anexo 3 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U de parede ótima para Portugal

Table 1. Annual Costs

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)
Air System Fans	27 756
Cooling	37 902
Heating	134 990
Pumps	4 234
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 881</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 337</b>

Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	8,516
Cooling	11,630
Heating	41,419
Pumps	1,299
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,864</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,688</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	69 897
Natural Gas	134 990
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 886</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 345</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	303 900
Natural Gas (kWh)	1 646 214
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (kWh)	0
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	740 674
Natural Gas (kWh)	1 646 214
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
CO2 Equivalent (kg)	603 294

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	21,447
Natural Gas	41,419
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,866</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,690</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	532 879	163,505
Heating Coil Loads	129 893	39,856
<b>Grand Total</b>	<b>662 773</b>	<b>203,361</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	303 887	93,243	759 718	233,107
Natural Gas	1 646 213	505,113	1 646 213	505,113
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>1 950 101</b>	<b>598,356</b>	<b>2 405 932</b>	<b>738,220</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>2 386 857</b>	<b>732,367</b>	<b>3 497 823</b>	<b>1073,248</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 4 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U da Janela ótima para Portugal

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>
Air System Fans	27 756
Cooling	37 865
Heating	135 137
Pumps	4 234
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 992</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 448</b>

**Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,516
Cooling	11,618
Heating	41,465
Pumps	1,299
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,898</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,722</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	69 860
Natural Gas	135 137
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>204 997</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 455</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	303 741
Natural Gas (kWh)	1 648 010
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (kWh)	0
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	740 516
Natural Gas (kWh)	1 648 010
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
CO2 Equivalent (kg)	603 595

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1. Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	21,436
Natural Gas	41,465
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,900</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,724</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	531 286	163,016
Heating Coil Loads	131 492	40,346
<b>Grand Total</b>	<b>662 778</b>	<b>203,362</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	303 729	93,194	759 322	232,985
Natural Gas	1 648 010	505,664	1 648 010	505,664
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>1 951 739</b>	<b>598,858</b>	<b>2 407 332</b>	<b>738,649</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>2 388 495</b>	<b>732,870</b>	<b>3 499 223</b>	<b>1073,678</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 5 - Relatório da simulação energética para o sistema de referência com o U da Parede e Janela ótima para Portugal

Table 1. Annual Costs

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)
Air System Fans	27 756
Cooling	37 656
Heating	135 479
Pumps	4 234
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>205 125</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 580</b>

Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area

Component	1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	8,516
Cooling	11,554
Heating	41,570
Pumps	1,299
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,939</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,762</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	69 651
Natural Gas	135 479
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>205 130</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>305 588</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	302 829
Natural Gas (kWh)	1 652 184
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (kWh)	0
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	739 604
Natural Gas (kWh)	1 652 184
Fuel Oil (na)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás</b>
CO2 Equivalent (kg)	604 092

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>1.Building Chiller+Caldeira Gás (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	21,371
Natural Gas	41,570
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>62,941</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>93,765</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	527 901	161,978
Heating Coil Loads	135 206	41,486
<b>Grand Total</b>	<b>663 107</b>	<b>203,463</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	302 817	92,914	757 041	232,285
Natural Gas	1 652 184	506,945	1 652 184	506,945
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>1 955 000</b>	<b>599,859</b>	<b>2 409 225</b>	<b>739,230</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>2 391 757</b>	<b>733,870</b>	<b>3 501 116</b>	<b>1074,259</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 6 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Parede ótima para Portugal

Table 1. Annual Costs

Component	4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)
Air System Fans	27 799
Cooling	28 668
Heating	58 689
Pumps	3 214
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 370</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 826</b>

Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area

Component	4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	8,530
Cooling	8,796
Heating	18,008
Pumps	0,986
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,320</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,143</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	110 920
Natural Gas	0
Fuel Oil	7 443
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 362</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 821</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	482 259
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	33 831
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	919 034
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	33 831
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
CO2 Equivalent (kg)	340 059

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	34,034
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	2,284
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,318</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,141</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	536 144	164,507
Heating Coil Loads	60 748	18,639
<b>Grand Total</b>	<b>596 891</b>	<b>183,146</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	482 239	147,967	1 205 599	369,918
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	165 772	50,864	165 772	50,864
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>648 011</b>	<b>198,831</b>	<b>1 371 370</b>	<b>420,782</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>1 084 768</b>	<b>332,843</b>	<b>2 463 261</b>	<b>755,810</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 7 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Janela ótima para Portugal

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)</b>
Air System Fans	27 799
Cooling	28 625
Heating	58 712
Pumps	3 214
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 349</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 805</b>

**Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
Air System Fans	8,530
Cooling	8,783
Heating	18,015
Pumps	0,986
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,314</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,137</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	110 727
Natural Gas	0
Fuel Oil	7 616
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 342</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 800</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	481 420
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	34 616
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	918 195
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	34 616
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
CO2 Equivalent (kg)	339 748

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	33,975
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	2,337
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,311</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,135</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	536 240	164,536
Heating Coil Loads	60 349	18,517
<b>Grand Total</b>	<b>596 588</b>	<b>183,053</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	481 400	147,710	1 203 501	369,274
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	169 619	52,045	169 619	52,045
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>651 019</b>	<b>199,754</b>	<b>1 373 119</b>	<b>421,319</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>1 087 775</b>	<b>333,766</b>	<b>2 465 010</b>	<b>756,347</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 8 - Relatório da simulação energética para o sistema mais rentável com o U da Parede e Janela ótima para Portugal

Table 1. Annual Costs

Component	4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)
Air System Fans	27 799
Cooling	28 459
Heating	58 920
Pumps	3 214
Heat Rejection Fans	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 393</b>
Lights	17 307
Electric Equipment	83 149
Misc. Electric	0
Misc. Fuel Use	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 456</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 848</b>

Table 2. Annual Cost per Unit Floor Area

Component	4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	8,530
Cooling	8,732
Heating	18,079
Pumps	0,986
Heat Rejection Fans	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,327</b>
Lights	5,310
Electric Equipment	25,513
Misc. Electric	0,000
Misc. Fuel Use	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,823</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,150</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

**Table 1. Annual Costs**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	111 237
Natural Gas	0
Fuel Oil	7 148
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
Remote CW	0
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>118 385</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	100 458
Natural Gas	0
Fuel Oil	0
Propane	0
Remote HW	0
Remote Steam	0
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>100 458</b>
<b>Grand Total</b>	<b>218 843</b>

**Table 2. Annual Energy Consumption**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	483 641
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	32 489
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric (kWh)	436 774
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	0
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
<b>Totals</b>	
Electric (kWh)	920 415
Natural Gas (na)	0
Fuel Oil (kg)	32 489
Propane (na)	0
Remote HW (na)	0
Remote Steam (na)	0
Remote CW (na)	0

**Table 3. Annual Emissions**

<b>Component</b>	<b>4.Building Chiller/BC+Caldei ra Pellets</b>
CO2 Equivalent (kg)	340 570

**Table 4. Annual Cost per Unit Floor Area**

<b>Component</b>	<b>4. Building Chiller/BC+Caldeira Pellets (€/m<sup>2</sup>)</b>
<b>HVAC Components</b>	
Electric	34,131
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	2,193
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
Remote CW	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>36,324</b>
<b>Non-HVAC Components</b>	
Electric	30,824
Natural Gas	0,000
Fuel Oil	0,000
Propane	0,000
Remote HW	0,000
Remote Steam	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>30,824</b>
<b>Grand Total</b>	<b>67,148</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1
Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> )	3259,1

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

### 1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	530 737	162,848
Heating Coil Loads	66 859	20,515
<b>Grand Total</b>	<b>597 596</b>	<b>183,362</b>

### 2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>HVAC Components</b>				
Electric	483 621	148,391	1 209 052	370,977
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	159 196	48,847	159 196	48,847
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>642 816</b>	<b>197,237</b>	<b>1 368 247</b>	<b>419,824</b>
<b>Non-HVAC Components</b>				
Electric	436 756	134,011	1 091 891	335,028
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>436 756</b>	<b>134,011</b>	<b>1 091 891</b>	<b>335,028</b>
<b>Grand Total</b>	<b>1 079 573</b>	<b>331,249</b>	<b>2 460 138</b>	<b>754,852</b>

#### Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.  
 Gross Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>  
 Conditioned Floor Area ..... **3259,1** m<sup>2</sup>

## Anexo 9 – Caudais de Ar mínimo necessário nos vários espaços

Piso	Nº	Espaço	Área [m <sup>2</sup> ]	Nº Ocupação	Eficácia de Ventilação	Caudal Ar mínimo em função da carga poluente da ocupação (tabelado) [m <sup>3</sup> /h.pessoa]	Caudal Ar mínimo em função da carga poluente do edifício(tabelado) [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	Calculo Caudal em função da ocupação [m <sup>3</sup> /h]	Calculo Caudal em função da área [m <sup>3</sup> /h]	Caudal de Ar mínimo necessário [m <sup>3</sup> /h]	Caudal de Ar mínimo necessário [l/s]
-1	1	Estacionamento	483	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	2	Balneários pessoal	43,9	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	3	Escritório economato	28,6	1	0,8	24	3	30	107	107	30
-1	4	Circulação piso	48,1	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	5	0,8	24	3	150	93	150	42
-1	6	Cozinha	50,7	3	0,8	35	3	131	190	190	53
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	8	Lavandaria	59,4	3	0,8	35	5	131	371	371	104

-1	9	Elevador de serviço	2,6	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	10	I.S. e circulação	170,1	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	11	Z.T. Caldeiras	29,3	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	12	Ginásio	34,1	10	0,8	98	3	1225	128	1225	343
-1	13	Elevador clientes	2,7	0	0,8		0	0	0	0	0
-1	14	Gabinete diretor	45,7	1	0,8	20	3	25	171	171	48
-1	15	Sala de jogos	69,2	5	0,8	35	3	219	260	260	73
-1	16	I.S. e circulação 1	20,7	0	0,8		0	0	0	0	0
0	1	Circulação de piso	267,5	0	0,8		0	0	0	0	0
0	2,1	Hall 001	3,2	0	0,8		0	0	0	0	0
0	2,2	I.S 001	5,5	0	0,8		0	0	0	0	0
0	2,3	Quarto 001	22,6	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	3,1	Hall 002	4,4	0	0,8		0	0	0	0	0
0	3,2	I.S 002	5,4	0	0,8		0	0	0	0	0
0	3,3	Quarto 002	23,5	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	4,1	Hall 003	3,4	0	0,8		0	0	0	0	0

0	4,2	I.S 003	5,9	0	0,8		0	0	0	0	0
0	4,3	Quarto 003	23,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	5,1	Hall 004	4,2	0	0,8		0	0	0	0	0
0	5,2	I.S 004	5,4	0	0,8		0	0	0	0	0
0	5,3	Quarto 004	23,6	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	6,1	Hall 005	3,5	0	0,8		0	0	0	0	0
0	6,2	I.S 005	5,8	0	0,8		0	0	0	0	0
0	6,3	Quarto 005	23,6	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	7,1	Hall 006	3,8	0	0,8		0	0	0	0	0
0	7,2	I.S 006	5,2	0	0,8		0	0	0	0	0
0	7,3	Quarto 006	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	8,1	Hall 007	3,8	0	0,8		0	0	0	0	0
0	8,2	I.S 007	5,36	0	0,8		0	0	0	0	0
0	8,3	Quarto 007	23,3	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	9,1	Hall 008	3,8	0	0,8		0	0	0	0	0
0	9,2	I.S 008	5,7	0	0,8		0	0	0	0	0
0	9,3	Quarto 008	23,6	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	10,1	Hall 009	9,2	0	0,8		0	0	0	0	0
0	10,2	I.S 009	8,2	0	0,8		0	0	0	0	0

0	10,3	Quarto 009	29,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
0	11	Bar	113,7	20	0,8	35	3	875	426	875	245
0	12	I.S. e circulação	12,5		0,8		0	0	0	0	0
0	13	Gabinete contabilidade	20,2	2	0,8	20	3	50	76	76	21
0	14	Restaurante	169,4	50	0,8	24	3	1500	635	1500	420
0	15	Cozinha	21,8	3	0,8	35	3	131	82	131	37
1	1	Circulação de piso	223,4		0,8		0	0	0	0	0
1	2,1	Hall 101	4,7		0,8		0	0	0	0	0
1	2,2	I.S. 101	4,6		0,8		0	0	0	0	0
1	2,3	Quarto 101	20,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	3,1	Hall 102	2,7		0,8		0	0	0	0	0
1	3,2	I.S. 102	8,1		0,8		0	0	0	0	0
1	3,3	Quarto 102	30,4	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	4,1	Hall 103	5		0,8		0	0	0	0	0
1	4,2	I.S. 103	6,3		0,8		0	0	0	0	0
1	4,3	Quarto 103	27,9	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	5,1	Hall 104	4,1		0,8		0	0	0	0	0

1	5,2	I.S. 104	6,4		0,8		0	0	0	0	0
1	5,3	Quarto 104	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	6,1	Hall 105	4,1		0,8		0	0	0	0	0
1	6,2	I.S. 105	6,4		0,8		0	0	0	0	0
1	6,3	Quarto 105	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	7,1	Hall 106	6,4		0,8		0	0	0	0	0
1	7,2	I.S. 106	4,1		0,8		0	0	0	0	0
1	7,3	Quarto 106	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	8,1	Hall 107	6,4		0,8		0	0	0	0	0
1	8,2	I.S. 107	4,1		0,8		0	0	0	0	0
1	8,3	Quarto 107	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	9,1	Hall 108	5		0,8		0	0	0	0	0
1	9,2	I.S. 108	6		0,8		0	0	0	0	0
1	9,3	Quarto 108	15,3	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	9,4	Sala 108	16,1	2	0,8	20	3	50	60	60	17
1	10,1	Hall 109	3,8		0,8		0	0	0	0	0
1	10,2	I.S. 109	5,2		0,8		0	0	0	0	0
1	10,3	Quarto 109	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	11,1	Hall 110	3,8		0,8		0	0	0	0	0

1	11,2	I.S. 110	5,2		0,8		0	0	0	0	0
1	11,3	Quarto 110	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	12,1	Hall 111	3,8		0,8		0	0	0	0	0
1	12,2	I.S. 111	5,7		0,8		0	0	0	0	0
1	12,3	Quarto 111	23,6	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	13,1	Hall 112	10,3		0,8		0	0	0	0	0
1	13,2	I.S. 112	8,5		0,8		0	0	0	0	0
1	13,3	Quarto 112	29,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	14,1	Hall 113	2,8		0,8		0	0	0	0	0
1	14,2	I.S. 113	5,6		0,8		0	0	0	0	0
1	14,3	Quarto 113	23,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	15,1	Hall 114	2,8		0,8		0	0	0	0	0
1	15,2	I.S. 114	5,6		0,8		0	0	0	0	0
1	15,3	Quarto 114	23,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
1	16,1	Hall 115	5		0,8		0	0	0	0	0
1	16,2	I.S. 115	4,8		0,8		0	0	0	0	0
1	16,3	Quarto 115	30,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	1	Circulação de piso	176,3		0,8		0	0	0	0	0

2	2,1	Hall 201	4,7		0,8		0	0	0	0	0
2	2,2	I.S. 201	4,5		0,8		0	0	0	0	0
2	2,3	Quarto 201	20,5	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	3,1	Hall 202	2,7		0,8		0	0	0	0	0
2	3,2	I.S. 202	8,1		0,8		0	0	0	0	0
2	3,3	Quarto 202	30,4	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	4,1	Hall 203	5		0,8		0	0	0	0	0
2	4,2	I.S. 203	6,3		0,8		0	0	0	0	0
2	4,3	Quarto 203	27,9	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	5,1	Hall 204	4,1		0,8		0	0	0	0	0
2	5,2	I.S. 204	6,4		0,8		0	0	0	0	0
2	5,3	Quarto 204	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	6,1	Hall 205	4,1		0,8		0	0	0	0	0
2	6,2	I.S. 205	6,4		0,8		0	0	0	0	0
2	6,3	Quarto 205	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	7,1	Hall 206	4,1		0,8		0	0	0	0	0
2	7,2	I.S. 206	6,4		0,8		0	0	0	0	0
2	7,3	Quarto 206	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	8,1	Hall 207	4,1		0,8		0	0	0	0	0

2	8,2	I.S. 207	6,4		0,8		0	0	0	0	0
2	8,3	Quarto 207	22,8	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	9,1	Hall 208	5		0,8		0	0	0	0	0
2	9,2	I.S. 208	6		0,8		0	0	0	0	0
2	9,3	Quarto 208	15,3	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	9,4	Sala 208	16,1	2	0,8	20	3	50	60	60	17
2	10,1	Hall 209	3,8		0,8		0	0	0	0	0
2	10,2	I.S. 209	5,2		0,8		0	0	0	0	0
2	10,3	Quarto 209	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	11,1	Hall 210	3,8		0,8		0	0	0	0	0
2	11,2	I.S. 210	5,2		0,8		0	0	0	0	0
2	11,3	Quarto 210	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	12,1	Hall 211	3,8		0,8		0	0	0	0	0
2	12,2	I.S. 211	5,7		0,8		0	0	0	0	0
2	12,3	Quarto 211	23	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	13,1	Hall 212	10,3		0,8		0	0	0	0	0
2	13,2	I.S. 212	8,5		0,8		0	0	0	0	0
2	13,3	Quarto 212	29,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
2	14	Z.T. Piscina	117,2		0,8		0	0	0	0	0

3	1	Circulação de piso	130,2		0,8		0	0	0	0	0
3	2,1	Hall 301	3,4		0,8		0	0	0	0	0
3	2,2	I.S. 301	4,9		0,8		0	0	0	0	0
3	2,3	Quarto 301	25,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	3,1	Hall 302	4,7		0,8		0	0	0	0	0
3	3,2	I.S. 302	7,2		0,8		0	0	0	0	0
3	3,3	Quarto 302	23,4	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	4,1	Hall 303	3,8		0,8		0	0	0	0	0
3	4,2	I.S. 303	6		0,8		0	0	0	0	0
3	4,3	Quarto 303	21,7	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	5,1	Hall 304	5,3		0,8		0	0	0	0	0
3	5,2	I.S. 304	5,4		0,8		0	0	0	0	0
3	5,3	Quarto 304	19,1	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	5,4	Sala 304	17,6		0,8	20	3	0	66	66	18
3	6,1	Hall 305	5,3		0,8		0	0	0	0	0
3	6,2	I.S. 305	5,4		0,8		0	0	0	0	0
3	6,3	Quarto 305	19,1	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	6,4	Sala 305	17,6	2	0,8	20	0	50	0	50	14

3	7,1	Hall 306	5		0,8		0	0	0	0	0
3	7,2	I.S. 306	6		0,8		0	0	0	0	0
3	7,3	Quarto 306	15,3	2	0,8	16	0	40	0	40	11
3	7,4	Sala 306	15,7	2	0,8	20	3	50	59	59	16
4	1	Circulação	9,7		0,8		0	0	0	0	0
4	2	Z.T. Elevador de serviço	5,4		0,8		0	0	0	0	0
4	3	Z.T. Elevador de clientes	13,5		0,8		0	0	0	0	0


## Anexo 10 – Dados climáticos de Portugal pelo programa CLIMAS-SCE

### Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica

versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

#### Seleção por município

*i* Lisboa



*i* preparar ficheiro

EPW (formato EnergyPlus Weather)

#### Zona climática

NUTS 3: Grande Lisboa  
Latitude: 38,9 °N (nominal)  
Longitude: 9,2 °W (nominal)  
Altitude: 109 m (referência)

#### Local específico

Município: Lisboa

*i* Altitude: 109 m

#### Dados climáticos

	Referência	Neste local
<i>i</i> Estação de aquecimento		
Período:	5,3	5,3 meses
T média:	10,8	10,8 °C
Graus-dia:	1071	1071 °C
<i>i</i> Estação de arrefecimento		
T média:	21,7	21,7 °C

#### Zonas de verão e inverno

V 2	I 1
-----	-----

## Anexo 11 – Estimativa de equipamentos do edifício

Piso	Nº	Espaço	Área [m <sup>2</sup> ]	Equipamentos	Potência [W]	Quantidade	Potência Total [W]	Percentagem de Utilização	Potência utilizada	Taxa de utilização	EQ7-Equipamentos a gás [W]
-1	1	Estacionamento	483								
-1	2	Balneários pessoal	43,9	Secador	1000	2	2000	0,5	1000	0,5	
-1	3	Escritório economato	28,6	Computador	29	1	299	0,9	205,3	0,69	
				Impressora	74	1		0,1			
				Scanner	16	1		0,05			
				Fax	90	1		1			
				Televisão	90	1		0,9			
-1	4	Circulação piso	48,1								
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	Microondas	2000	2	4990	0,3	1521	0,30	
				Frigorífico	300	1		0,6			
				Televisão	90	1		0,9			

				Máquina de Café	600	1		0,1			
-1	6	Cozinha	50,7	Batedeira	100	2	20650	0,1	14900	0,72	14000
				Grelhador	3000	1		0,7			
				Exaustor	150	1		1			
				Fogão elétrico	6000	1		1			
				Forno elétrico	4500	1		0,8			
				Microondas	2000	1		0,3			
				Congelador	500	2		0,6			
				Frigorífico	250	2		0,6			
				Liquidificado ra	200	1		0,1			
				Máquina lavar loiça	1500	1		0,9			
Torradeira	800	2	0,1								
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5								
-1	8	Lavandaria	59,4	Máquina lavar Roupa	9300	2	64860	0,8	46026	0,71	20500

				Máquina secar roupa	12000	2		0,8				
				Calandra	13560	1		0,6				
				Ferro de Engomar	3800	2		0,4				
				Centrifugado ra	1100	1		0,7				
-1	9	Elevador de serviço	2,6									
-1	10	I.S. e circulação	170,1									
-1	11	Z.T. Caldeiras	29,3									
-1	12	Ginásio	34,1	Televisão	4	90	3380	1	1878	0,56		
				Rádio	1	20		0,9				
				Passadeiras	3	1000		0,5				
-1	13	Elevador clientes	2,7									
-1	14	Gabinete diretor	45,7	Computador	29	1	299	0,9	205,3	0,69		
				Impressora	74	1		0,1				
				Scanner	16	1		0,05				

				Fax	90	1		1				
				Televisão	90	1		0,9				
-1	15	Sala de jogos	69,2	Máq. Venda Cigarros	72	1	9312	1	9312	1		
				Máq. Venda de snacks	240	1		1				
				Máquinas de Jogos	1800	5		1				
-1	16	I.S. e circulação 1	20,7									
0	1	Circulação de piso	267,5									
0	2,1	Hall 001	3,2									
0	2,2	I.S 001	5,5									
0	2,3	Quarto 001	22,6	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	3,1	Hall 002	4,4									
0	3,2	I.S 002	5,4									
0	3,3	Quarto 002	23,5	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				

0	4,1	Hall 003	3,4									
0	4,2	I.S 003	5,9									
0	4,3	Quarto 003	23,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	5,1	Hall 004	4,2									
0	5,2	I.S 004	5,4									
0	5,3	Quarto 004	23,6	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	6,1	Hall 005	3,5									
0	6,2	I.S 005	5,8									
0	6,3	Quarto 005	23,6	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	7,1	Hall 006	3,8									
0	7,2	I.S 006	5,2									
0	7,3	Quarto 006		Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
			23	Televisão	90	1		0,4				
0	8,1	Hall 007	3,8									
0	8,2	I.S 007	5,36									
0	8,3	Quarto 007	23,3	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		

				Televisão	90	1		0,4				
0	9,1	Hall 008	3,8									
0	9,2	I.S 008	5,7									
0	9,3	Quarto 008	23,6	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	10,1	Hall 009	9,2									
0	10,2	I.S 009	8,2									
0	10,3	Quarto 009	29,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
0	11	Bar	113,7	Máquina registadora	48	1	6740	1	5410	0,80		
				Impressora cód. de barras	370	1		1				
				Maq. Venda cigarros	72	1		1				
				Moinho de café	300	1		0,7				
				Máquina de café	4000	1		0,9				

				Espremedor de frutas	200	1		0,3				
				Máquina lavar louça	1500	1		0,6				
				Frigorifico	250	1		0,6				
0	12	I.S. e circulação	12,5									
0	13	Gabinete contabilidade e	20,2	Computador	29	2	402	0,9	205,3	0,51		
				Impressora	74	2		0,1				
				Scanner	16	1		0,05				
				Fax	90	1		1				
				Televisão	90	1		0,9				
0	14	Restaurante	169,4	Televisão	90	2	180	0,8	144	0,8		
0	15	Cozinha	21,8									
1	1	Circulação de piso	223,4									
1	2,1	Hall 101	4,7									
1	2,2	I.S. 101	4,6									
1	2,3	Quarto 101	20,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				

1	3,1	Hall 102	2,7									
1	3,2	I.S. 102	8,1									
1	3,3	Quarto 102	30,4	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	4,1	Hall 103	5									
1	4,2	I.S. 103	6,3									
1	4,3	Quarto 103	27,9	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	5,1	Hall 104	4,1									
1	5,2	I.S. 104	6,4									
1	5,3	Quarto 104	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	6,1	Hall 105	4,1									
1	6,2	I.S. 105	6,4									
1	6,3	Quarto 105	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	7,1	Hall 106	6,4									
1	7,2	I.S. 106	4,1									
1	7,3	Quarto 106	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		

				Televisão	90	1		0,4				
1	8,1	Hall 107	6,4									
1	8,2	I.S. 107	4,1									
1	8,3	Quarto 107	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	9,1	Hall 108	5									
1	9,2	I.S. 108	6									
1	9,3	Quarto 108	15,3	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	9,4	Sala 108	16,1	Televisão	90	1	90	0,8	72	0,8		
1	10,1	Hall 109	3,8									
1	10,2	I.S. 109	5,2									
1	10,3	Quarto 109	23	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	11,1	Hall 110	3,8									
1	11,2	I.S. 110	5,2									
1	11,3	Quarto 110	23	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	12,1	Hall 111	3,8									

1	12,2	I.S. 111	5,7									
1	12,3	Quarto 111	23,6	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	13,1	Hall 112	10,3									
1	13,2	I.S. 112	8,5									
1	13,3	Quarto 112	29,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	14,1	Hall 113	2,8									
1	14,2	I.S. 113	5,6									
1	14,3	Quarto 113	23,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	15,1	Hall 114	2,8									
1	15,2	I.S. 114	5,6									
1	15,3	Quarto 114	23,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
1	16,1	Hall 115	5									
1	16,2	I.S. 115	4,8									
1	16,3	Quarto 115	30,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				

2	1	Circulação de piso	176,3									
2	2,1	Hall 201	4,7									
2	2,2	I.S. 201	4,5									
2	2,3	Quarto 201	20,5	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	3,1	Hall 202	2,7									
2	3,2	I.S. 202	8,1									
2	3,3	Quarto 202	30,4	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	4,1	Hall 203	4									
2	4,2	I.S. 203	6,3									
2	4,3	Quarto 203	27,9	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	5,1	Hall 204	4,1									
2	5,2	I.S. 204	6,4									
2	5,3	Quarto 204	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	6,1	Hall 205	4,1									

2	6,2	I.S. 205	6,4									
2	6,3	Quarto 205	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	7,1	Hall 206	4,1									
2	7,2	I.S. 206	6,4									
2	7,3	Quarto 206	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	8,1	Hall 207	4,1									
2	8,2	I.S. 207	6,4									
2	8,3	Quarto 207	22,8	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	9,1	Hall 208	5									
2	9,2	I.S. 208	6									
2	9,3	Quarto 208	15,3	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	9,4	Sala 208	16,1	Televisão	90	1	90	0,8	72	0,8		
2	10,1	Hall 209	3,8									
2	10,2	I.S. 209	5,2									
2	10,3	Quarto 209	23	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		

				Televisão	90	1		0,4				
2	11,1	Hall 210	3,8									
2	11,2	I.S. 210	5,2									
2	11,3	Quarto 210	23	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	12,1	Hall 211	3,8									
2	12,2	I.S. 211	5,7									
2	12,3	Quarto 211	23	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	13,1	Hall 212	10,3									
2	13,2	I.S. 212	8,5									
2	13,3	Quarto 212	29,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
2	14	Z.T. Piscina	117,2									
3	1	Circulação de piso	130,2									
3	2,1	Hall 301	3,4									
3	2,2	I.S. 301	4,9									
3	2,3	Quarto 301	25,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		

				Televisão	90	1		0,4				
3	3,1	Hall 302	4,7									
3	3,2	I.S. 302	7,2									
3	3,3	Quarto 302	23,4	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
3	4,1	Hall 303	3,8									
3	4,2	I.S. 303	6									
3	4,3	Quarto 303	21,7	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
3	5,1	Hall 304	5,3									
3	5,2	I.S. 304	5,4									
3	5,3	Quarto 304	19,1	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
3	5,4	Sala 304	17,6	Televisão	90	1	90	0,8	72	0,8		
3	6,1	Hall 305	5,3									
3	6,2	I.S. 305	5,4									
3	6,3	Quarto 305	19,1	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
3	6,4	Sala 305	17,6	Televisão	90	1	90	0,8	72	0,8		

3	7,1	Hall 306	5									
3	7,2	I.S. 306	6									
3	7,3	Quarto 306	15,3	Mini-Bar	70	1	160	0,6	78	0,49		
				Televisão	90	1		0,4				
3	7,4	Sala 306	15,7	Televisão	90	1	90	0,8	72	0,8		
4	1	Circulação	9,7									
4	2	Z.T. Elevador de serviço	5,4									
4	3	Z.T. Elevador de clientes	13,5									

## Anexo 12 – Determinação das Potências de iluminação por área dos vários espaços do edifício

Piso	Nº	Espaço	Área [m <sup>2</sup> ]	Nível de Iluminância mantida:Em -EN12464-1	DPI/100 lux - [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]- Tab.I.28	DPI (W/m <sup>2</sup> )- máximo	Iluminação-Potência (W)-cálculo IEEref
-1	1	Estacionamento	483	100	3,4	3,4	1642,2
-1	2	Balneários pessoal	43,9	200	3,8	7,6	333,64
-1	3	Escritório economato	28,6	300	2,4	7,2	205,92
-1	4	Circulação piso	48,1	200	3,8	7,6	365,56
-1	5	Refeitório pessoal	24,7	200	3,8	7,6	187,72
-1	6	Cozinha	50,7	500	3,4	17	861,9
-1	7	Z.T.Gerador e bombas	39,5	200	3,4	6,8	268,6
-1	8	Lavandaria	59,4	300	3,4	10,2	605,88
-1	9	Elevador de serviço	2,6	0	0	0	0
-1	10	I.S. e circulação	170,1	100	3,8	3,8	646,38
-1	11	Z.T. Caldeiras	29,3	200	3,4	6,8	199,24
-1	12	Ginásio	34,1	200	3,4	6,8	231,88
-1	13	Elevador clientes	2,7	0	0	0	0
-1	14	Gabinete diretor	45,7	300	2,4	7,2	329,04
-1	15	Sala de jogos	69,2	300	3,4	10,2	705,84
-1	16	I.S. e circulação 1	20,7	100	3,8	3,8	78,66
0	1	Circulação de piso	267,5	100	3,8	3,8	1016,5

0	2,1	Hall 001	3,2	100	3,8	3,8	12,16
0	2,2	I.S 001	5,5	100	3,8	3,8	20,9
0	2,3	Quarto 001	22,6	100	3,8	3,8	85,88
0	3,1	Hall 002	4,4	100	3,8	3,8	16,72
0	3,2	I.S 002	5,4	100	3,8	3,8	20,52
0	3,3	Quarto 002	23,5	100	3,8	3,8	89,3
0	4,1	Hall 003	3,4	100	3,8	3,8	12,92
0	4,2	I.S 003	5,9	100	3,8	3,8	22,42
0	4,3	Quarto 003	23,8	100	3,8	3,8	90,44
0	5,1	Hall 004	4,2	100	3,8	3,8	15,96
0	5,2	I.S 004	5,4	100	3,8	3,8	20,52
0	5,3	Quarto 004	23,6	100	3,8	3,8	89,68
0	6,1	Hall 005	3,5	100	3,8	3,8	13,3
0	6,2	I.S 005	5,8	100	3,8	3,8	22,04
0	6,3	Quarto 005	23,6	100	3,8	3,8	89,68
0	7,1	Hall 006	3,8	100	3,8	3,8	14,44
0	7,2	I.S 006	5,2	100	3,8	3,8	19,76
0	7,3	Quarto 006	23	100	3,8	3,8	87,4
0	8,1	Hall 007	3,8	100	3,8	3,8	14,44
0	8,2	I.S 007	5,36	100	3,8	3,8	20,368
0	8,3	Quarto 007	23,3	100	3,8	3,8	88,54
0	9,1	Hall 008	3,8	100	3,8	3,8	14,44
0	9,2	I.S 008	5,7	100	3,8	3,8	21,66
0	9,3	Quarto 008	23,6	100	3,8	3,8	89,68
0	10,1	Hall 009	9,2	100	3,8	3,8	34,96

0	10,2	I.S 009	8,2	100	3,8	3,8	31,16
0	10,3	Quarto 009	29,7	100	3,8	3,8	112,86
0	11	Bar	113,7	100	3,8	3,8	432,06
0	12	I.S. e circulação	12,5	100	3,8	3,8	47,5
0	13	Gabinete contabilidade	20,2	126	2,4	3,024	61,0848
0	14	Restaurante	169,4	100	3,8	3,8	643,72
0	15	Cozinha	21,8	500	3,8	19	414,2
1	1	Circulação de piso	223,4	100	3,4	3,4	759,56
1	2,1	Hall 101	4,7	100	3,8	3,8	17,86
1	2,2	I.S. 101	4,6	100	3,8	3,8	17,48
1	2,3	Quarto 101	20,8	100	3,8	3,8	79,04
1	3,1	Hall 102	2,7	100	3,8	3,8	10,26
1	3,2	I.S. 102	8,1	100	3,8	3,8	30,78
1	3,3	Quarto 102	30,4	100	3,8	3,8	115,52
1	4,1	Hall 103	5	100	3,8	3,8	19
1	4,2	I.S. 103	6,3	100	3,8	3,8	23,94
1	4,3	Quarto 103	27,9	100	3,8	3,8	106,02
1	5,1	Hall 104	4,1	100	3,8	3,8	15,58
1	5,2	I.S. 104	6,4	100	3,8	3,8	24,32
1	5,3	Quarto 104	22,8	100	3,8	3,8	86,64
1	6,1	Hall 105	4,1	100	3,8	3,8	15,58
1	6,2	I.S. 105	6,4	100	3,8	3,8	24,32
1	6,3	Quarto 105	22,8	100	3,8	3,8	86,64
1	7,1	Hall 106	6,4	100	3,8	3,8	24,32


1	7,2	I.S. 106	4,1	100	3,8	3,8	15,58
1	7,3	Quarto 106	22,8	100	3,8	3,8	86,64
1	8,1	Hall 107	6,4	100	3,8	3,8	24,32
1	8,2	I.S. 107	4,1	100	3,8	3,8	15,58
1	8,3	Quarto 107	22,8	100	3,8	3,8	86,64
1	9,1	Hall 108	5	100	3,8	3,8	19
1	9,2	I.S. 108	6	100	3,8	3,8	22,8
1	9,3	Quarto 108	15,3	100	3,8	3,8	58,14
1	9,4	Sala 108	16,1	100	3,8	3,8	61,18
1	10,1	Hall 109	3,8	100	3,8	3,8	14,44
1	10,2	I.S. 109	5,2	100	3,8	3,8	19,76
1	10,3	Quarto 109	23	100	3,8	3,8	87,4
1	11,1	Hall 110	3,8	100	3,8	3,8	14,44
1	11,2	I.S. 110	5,2	100	3,8	3,8	19,76
1	11,3	Quarto 110	23	100	3,8	3,8	87,4
1	12,1	Hall 111	3,8	100	3,8	3,8	14,44
1	12,2	I.S. 111	5,7	100	3,8	3,8	21,66
1	12,3	Quarto 111	23,6	100	3,8	3,8	89,68
1	13,1	Hall 112	10,3	100	3,8	3,8	39,14
1	13,2	I.S. 112	8,5	100	3,8	3,8	32,3
1	13,3	Quarto 112	29,7	100	3,8	3,8	112,86
1	14,1	Hall 113	2,8	100	3,8	3,8	10,64
1	14,2	I.S. 113	5,6	100	3,8	3,8	21,28
1	14,3	Quarto 113	23,8	100	3,8	3,8	90,44
1	15,1	Hall 114	2,8	100	3,8	3,8	10,64

1	15,2	I.S. 114	5,6	100	3,8	3,8	21,28
1	15,3	Quarto 114	23,8	100	3,8	3,8	90,44
1	16,1	Hall 115	5	100	3,8	3,8	19
1	16,2	I.S. 115	4,8	100	3,8	3,8	18,24
1	16,3	Quarto 115	30,7	100	3,8	3,8	116,66
2	1	Circulação de piso	176,3	100	3,8	3,8	669,94
2	2,1	Hall 201	4,7	100	3,8	3,8	17,86
2	2,2	I.S. 201	4,5	100	3,8	3,8	17,1
2	2,3	Quarto 201	20,5	100	3,8	3,8	77,9
2	3,1	Hall 202	2,7	100	3,8	3,8	10,26
2	3,2	I.S. 202	8,1	100	3,8	3,8	30,78
2	3,3	Quarto 202	30,4	100	3,8	3,8	115,52
2	4,1	Hall 203	5	100	3,8	3,8	19
2	4,2	I.S. 203	6,3	100	3,8	3,8	23,94
2	4,3	Quarto 203	27,9	100	3,8	3,8	106,02
2	5,1	Hall 204	4,1	100	3,8	3,8	15,58
2	5,2	I.S. 204	6,4	100	3,8	3,8	24,32
2	5,3	Quarto 204	22,8	100	3,8	3,8	86,64
2	6,1	Hall 205	4,1	100	3,8	3,8	15,58
2	6,2	I.S. 205	6,4	100	3,8	3,8	24,32
2	6,3	Quarto 205	22,8	100	3,8	3,8	86,64
2	7,1	Hall 206	4,1	100	3,8	3,8	15,58
2	7,2	I.S. 206	6,4	100	3,8	3,8	24,32
2	7,3	Quarto 206	22,8	100	3,8	3,8	86,64
2	8,1	Hall 207	4,1	100	3,8	3,8	15,58

2	8,2	I.S. 207	6,4	100	3,8	3,8	24,32
2	8,3	Quarto 207	22,8	100	3,8	3,8	86,64
2	9,1	Hall 208	5	100	3,8	3,8	19
2	9,2	I.S. 208	6	100	3,8	3,8	22,8
2	9,3	Quarto 208	15,3	100	3,8	3,8	58,14
2	9,4	Sala 208	16,1	100	3,8	3,8	61,18
2	10,1	Hall 209	3,8	100	3,8	3,8	14,44
2	10,2	I.S. 209	5,2	100	3,8	3,8	19,76
2	10,3	Quarto 209	23	100	3,8	3,8	87,4
2	11,1	Hall 210	3,8	100	3,8	3,8	14,44
2	11,2	I.S. 210	5,2	100	3,8	3,8	19,76
2	11,3	Quarto 210	23	100	3,8	3,8	87,4
2	12,1	Hall 211	3,8	100	3,8	3,8	14,44
2	12,2	I.S. 211	5,7	100	3,8	3,8	21,66
2	12,3	Quarto 211	23	100	3,8	3,8	87,4
2	13,1	Hall 212	10,3	100	3,8	3,8	39,14
2	13,2	I.S. 212	8,5	100	3,8	3,8	32,3
2	13,3	Quarto 212	29,7	100	3,8	3,8	112,86
2	14	Z.T. Piscina	117,2	200	3,4	6,8	796,96
3	1	Circulação de piso	130,2	100	3,8	3,8	494,76
3	2,1	Hall 301	3,4	100	3,8	3,8	12,92
3	2,2	I.S. 301	4,9	100	3,8	3,8	18,62
3	2,3	Quarto 301	25,7	100	3,8	3,8	97,66
3	3,1	Hall 302	4,7	100	3,8	3,8	17,86
3	3,2	I.S. 302	7,2	100	3,8	3,8	27,36

3	3,3	Quarto 302	23,4	100	3,8	3,8	88,92
3	4,1	Hall 303	3,8	100	3,8	3,8	14,44
3	4,2	I.S. 303	6	100	3,8	3,8	22,8
3	4,3	Quarto 303	21,7	100	3,8	3,8	82,46
3	5,1	Hall 304	5,3	100	3,8	3,8	20,14
3	5,2	I.S. 304	5,4	100	3,8	3,8	20,52
3	5,3	Quarto 304	19,1	100	3,8	3,8	72,58
3	5,4	Sala 304	17,6	100	3,8	3,8	66,88
3	6,1	Hall 305	5,3	100	3,8	3,8	20,14
3	6,2	I.S. 305	5,4	100	3,8	3,8	20,52
3	6,3	Quarto 305	19,1	100	3,8	3,8	72,58
3	6,4	Sala 305	17,6	100	3,8	3,8	66,88
3	7,1	Hall 306	5	100	3,8	3,8	19
3	7,2	I.S. 306	6	100	3,8	3,8	22,8
3	7,3	Quarto 306	15,3	100	3,8	3,8	58,14
3	7,4	Sala 306	15,7	100	3,8	3,8	59,66
4	1	Circulação	9,7	100	3,8	3,8	36,86
4	2	Z.T. Elevador de serviço	5,4	200	3,4	6,8	36,72
4	3	Z.T. Elevador de clientes	13,5	200	3,4	6,8	91,8

## Anexo 13 – Determinação dos caudais de ventilação no âmbito do REH e RECS

 <b>LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL</b>		<b>Aplicação LNEC</b> <b>Ventilação REH e RECS</b>			Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnec.pt  Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12						
<b>1. Enquadramento do edifício</b>						
Tipo de edifício	PES_novo_ou_grande_reabilitação			Área útil (m2):		3259,0
Local (município)	LISBOA			Pd (m):		3,00
Região	A			N.º de pisos da fração		6
Rugosidade	II			Velocidade vento		Defeito REH
Altitude do local (m)	109			Vento (u10REH: 3,6) (m/s)		
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais			Vol (m3):		9777
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não			Texterior (°C)		10,8
Altura do edifício (H <sub>edif</sub> ) em m	18			Zref (m)		109
Altura da fração (H <sub>fA</sub> ) em m	18			Aenv/Au:		9%
				Proteção do edifício:		<b>Desprotegido</b>
				Zona da fachada:		<b>Média</b>
Caudal mínimo PES (m3/h)	300			Rph minimo PES (h-1)		0,03
<b>2. Permeabilidade ao ar da envolvente</b>						
Foi medido valor n50	Não					
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:						
Área dos vãos (m2)	297	0	0	0	0	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3	4	4	4	4	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem	
<b>3. Aberturas de admissão de ar na envolvente</b>						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim					
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa		
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)	0	0	0	0	0	
<b>4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta</b>						
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não	Não	
Escoamento de ar						
Perda de carga						
Altura da conduta (m)						
Cobertura						
Número de condutas semelhantes						

**5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado**

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Sim			
Escoamento de ar	Admissão	Exaustão	Exaustão	Exaustão
Caudal nominal (m3/h)	7056	6350,4	0	0
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento	Não	Não	Não	Não
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor	Não			
Rendimento da recuperação de calor (%)				

**6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)**

Existem meios híbridos				
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m3/h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				

**7. Verão - Recuperador de calor**

Existe by-pass ao recuperador de calor no verão	
---	--

**8. Resultados**

**8.1 - Balanço de Energia - Edifício**

PES ok

	<i>Situação de ventilação mecânica/Hib. ligada</i>
	Caudal de ar novo de insuflação: 7056 (m3/h)
	Caudal de infiltrações: -17 (m3/h)
	<i>Situação de ventilação mecânica/Hib. desligada</i>
	Caudal de infiltrações: 236 (m3/h)

**8.3 - Caudal mínimo de ventilação**

Caudal de ar do sistema	7039 (m3/h)
Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos	300 (m3/h)
Critério de caudal mínimo de ar novo	<b>Satisfatório</b>

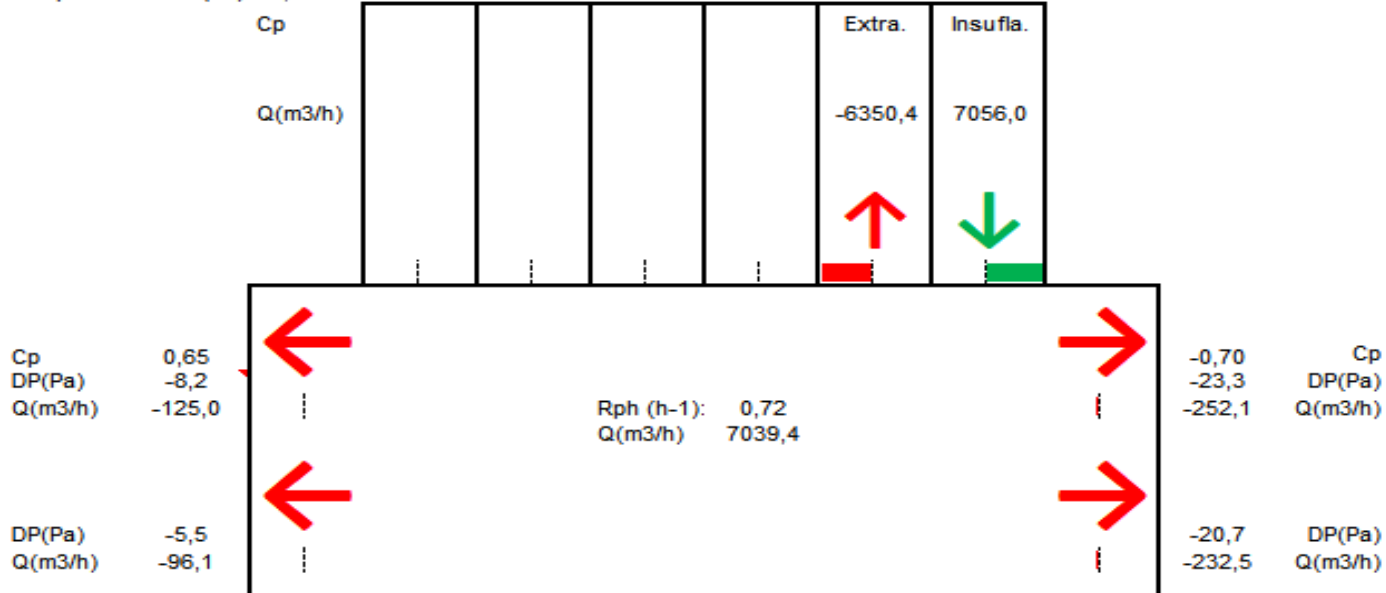
Técnico: \_\_\_\_\_

Nota: No Cálculo de Rph min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.

Data: 03/10/2017

**Representação esquemática do funcionamento da ventilação**

Vento Hedif (m/s) 4,29  
 Temperatura ext. (°C) 10,8



## Anexo 14 – Determinação da Temperatura dos espaços não condicionados

Portugal - Lisboa		
	Inverno	Verão
Text (SCE)	4,4	31,2
	Inverno	Verão
Tunc	7,52	29,96
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
	Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)	
Btr	0,8	

Portugal - Lisboa		
	Inverno	Verão
Text (SCE)	4,4	31,2
	Inverno	Verão
Tunc	4,4	31,2
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
	Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climaticamente condicionados (btr=1)	
Btr	1	

Grécia - Atenas		
	Inverno	Verão
Text	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tunc	4,88	32,12
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
	Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)	
Btr	0,8	

Grécia - Atenas		
	Inverno	Verão
Text	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tunc	1,1	33,9
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
	Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climaticamente condicionados (btr=1)	
Btr	1	

Alemanha - Berlim		
	Inverno	Verão
Text	-11,7	30
	Inverno	Verão
Tunc	-5,36	29
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
Btr	0,8	

Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)

Alemanha - Berlim		
	Inverno	Verão
Text	-11,7	30
	Inverno	Verão
Tunc	-11,7	30
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
Btr	1	

Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climatericamente condicionados (btr=1)

Finlândia - Helsinquia		
	Inverno	Verão
Text	-23,9	26,1
	Inverno	Verão
Tunc	-15,12	25,88
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
Btr	0,8	

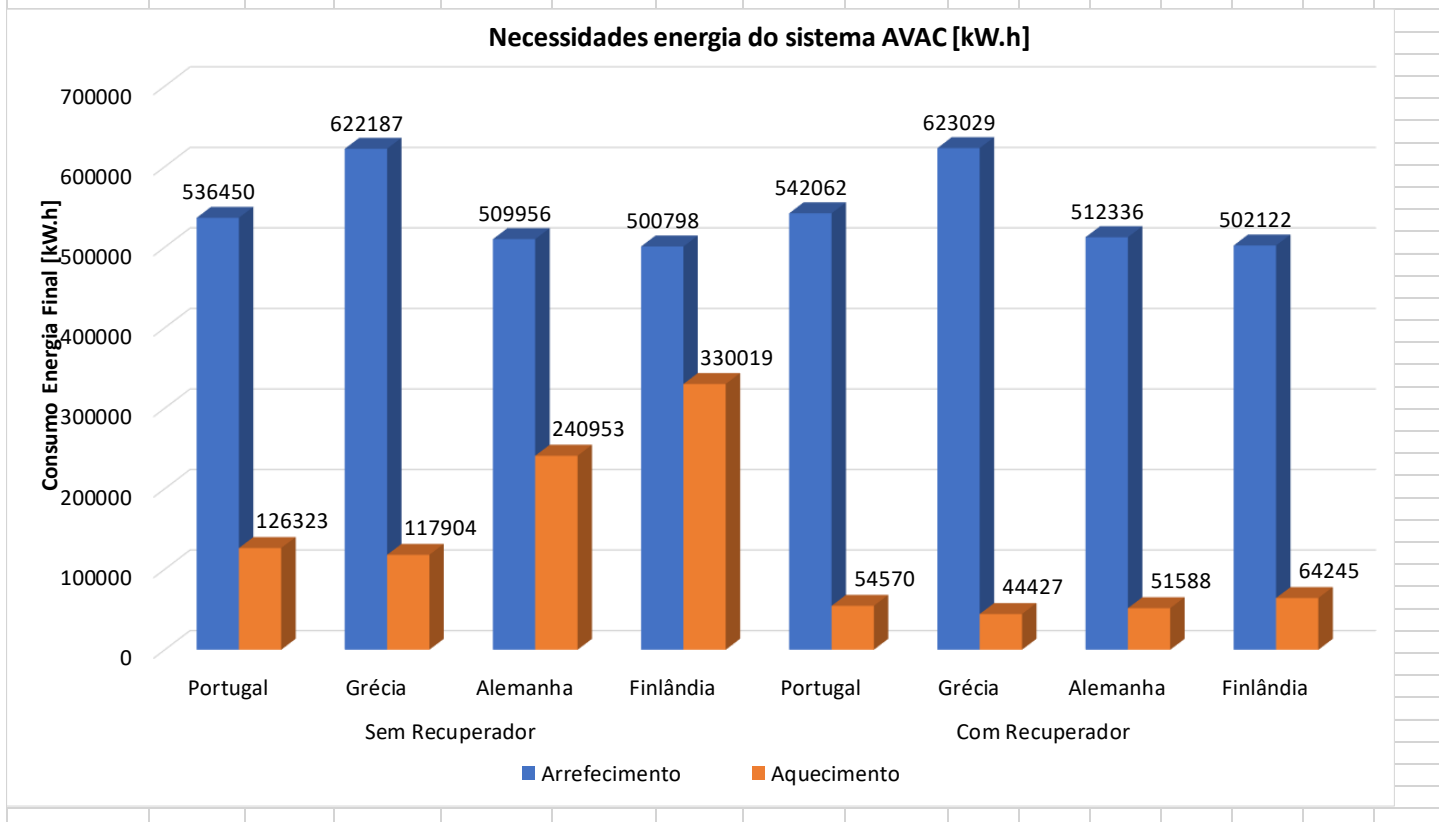
Temperatura dos espaços não condicionados interiores ao edifício (btr=0,8)

Finlândia - Helsinquia		
	Inverno	Verão
Text	-23,9	26,1
	Inverno	Verão
Tunc	-23,9	26,1
	Inverno	Verão
Tint (Projeto)	20	25
Btr	1	

Temperatura dos espaços fortemente ventilados entre as telhas e o teto dos espaços climatericamente condicionados (btr=1)

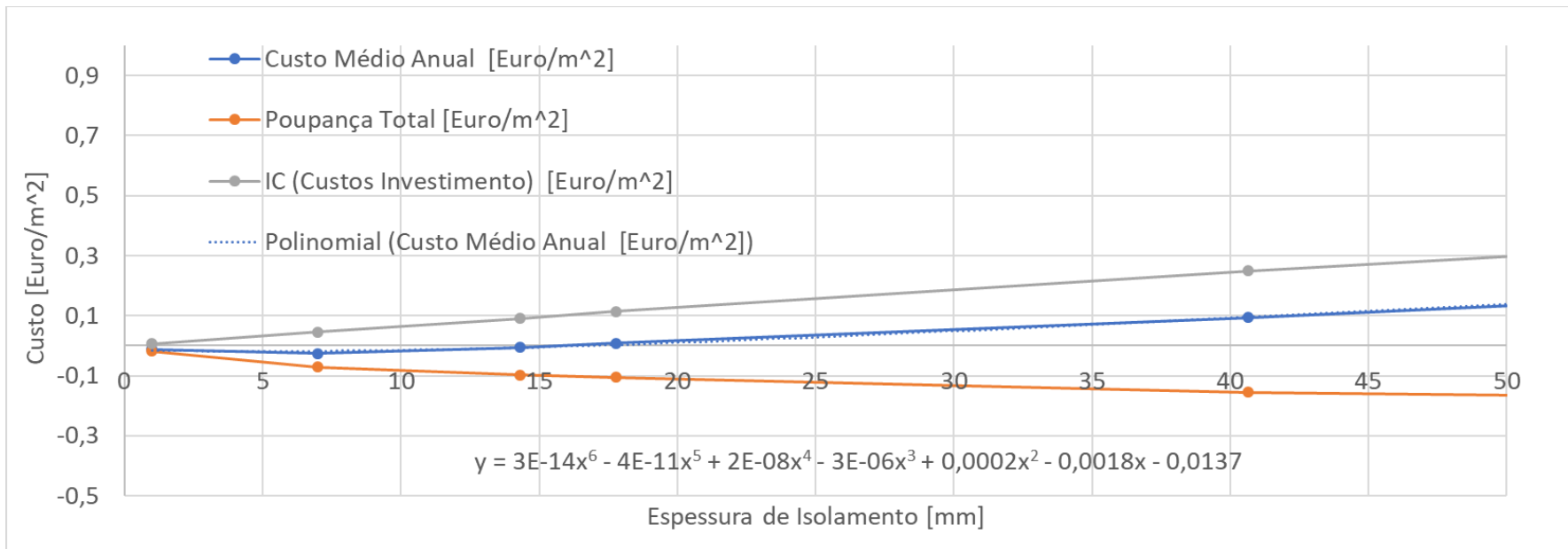
## Anexo 15 – Necessidades de Energia do sistema AVAC

	Necessidades de energia Final [KW.h]							
	Sem Recuperador				Com Recuperador			
	Portugal	Grécia	Alemanha	Finlândia	Portugal	Grécia	Alemanha	Finlândia
Arrefecimento	536450	622187	509956	500798	542062	623029	512336	502122
Aquecimento	126323	117904	240953	330019	54570	44427	51588	64245



## Anexo 16 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência em Portugal

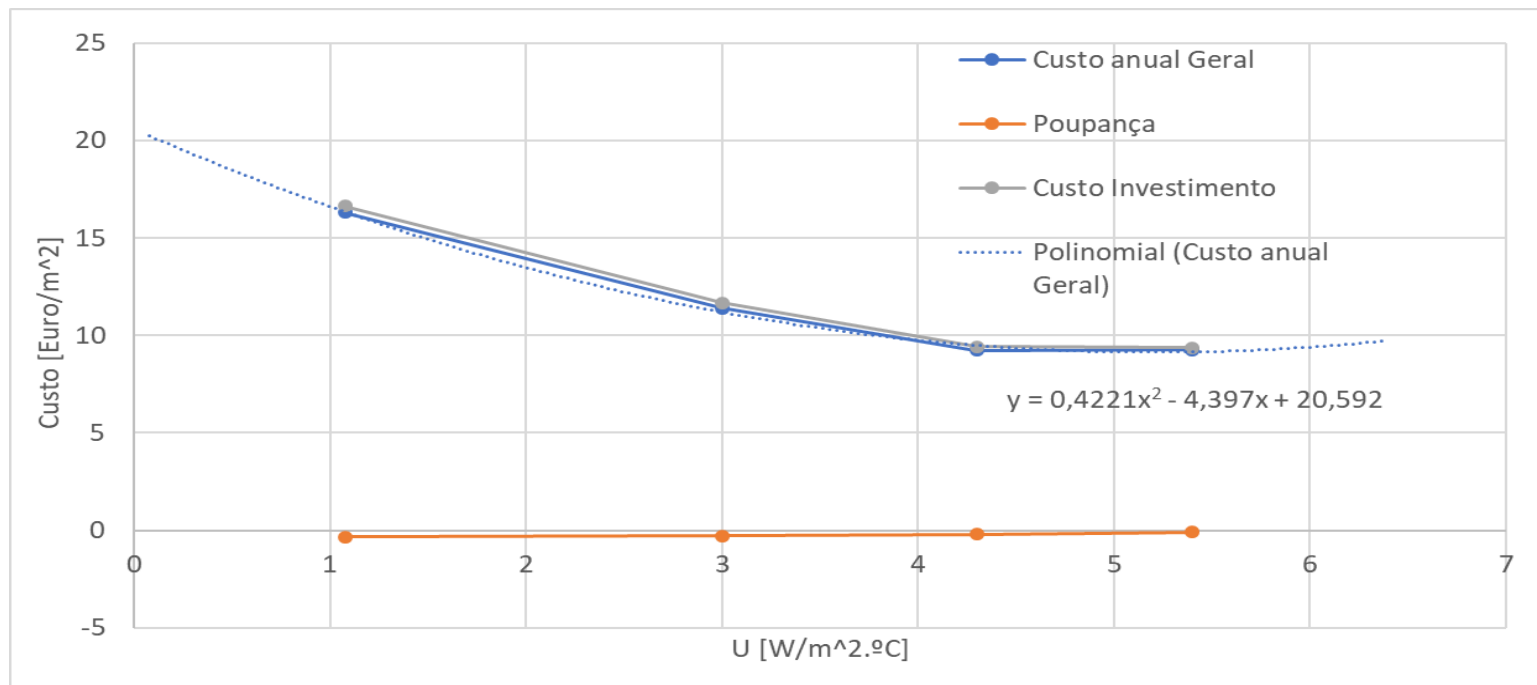
Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	135236	0	37816	0	173052	0	0	0	0
	1	0,933	135185	-0,015648	37808	-0,00245467	172993	-0,018103	0,11	0,006358	-0,011745157
	7	0,811	134902	-0,102482	37921	0,03221748	172823	-0,070265	0,78	0,045084	-0,025180797
	14,3	0,7	134661	-0,176429	38073	0,07885613	172734	-0,097573	1,58	0,091324	-0,00624895
	17,77	0,656	134576	-0,20251	38134	0,09757295	172710	-0,104937	1,972	0,1140088	0,00907182
	40,65	0,467	134179	-0,324323	38367	0,16906508	172546	-0,155258	4,319	0,249642	0,094384226
	67	0,35	133934	-0,399497	38526	0,21785155	172460	-0,181645	6,67	0,385526	0,203880761
	173	0,175	133525	-0,524992	38820	0,30806051	172345	-0,216931	18,71	1,081438	0,864506945
	397	0,088	133332	-0,58421	38957	0,35009665	172289	-0,234114	43,2	2,49696	2,262846288
	650,00	0,055	133263	-0,605382	38988	0,35960848	172251	-0,245773	72,34	4,181252	3,935478627
			$F(x) = 3E-14x^6 - 4E-11x^5 + 2E-08x^4 - 3E-06x^3 + 0,0002x^2 - 0,0018x - 0,0137$								
			$F'(x) = 1,8E-13x^5 - 2E-10x^4 + 8E-08x^3 + 9E-06x^2 + 0,0004x - 0,0018$								
			Espessura Ótima = 5,048 mm								
			U Ótimo = 0,847 W/m <sup>2</sup> .°C								



Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	135847	0	37514		173361	0	137	7,9186	
	5,4	135244	-0,18502	37789	0,084379	173033	-0,1006	162	9,3636	9,2629587
	4,3	134661	-0,363904	38073	0,17152	172734	-0,1924	163	9,4214	9,2290156
	3	133977	-0,573778	38487	0,298549	172464	-0,2752	202	11,6756	11,400371
	1,075	132998	-0,874168	39260	0,535731	172258	-0,3384	288	16,6464	16,307963

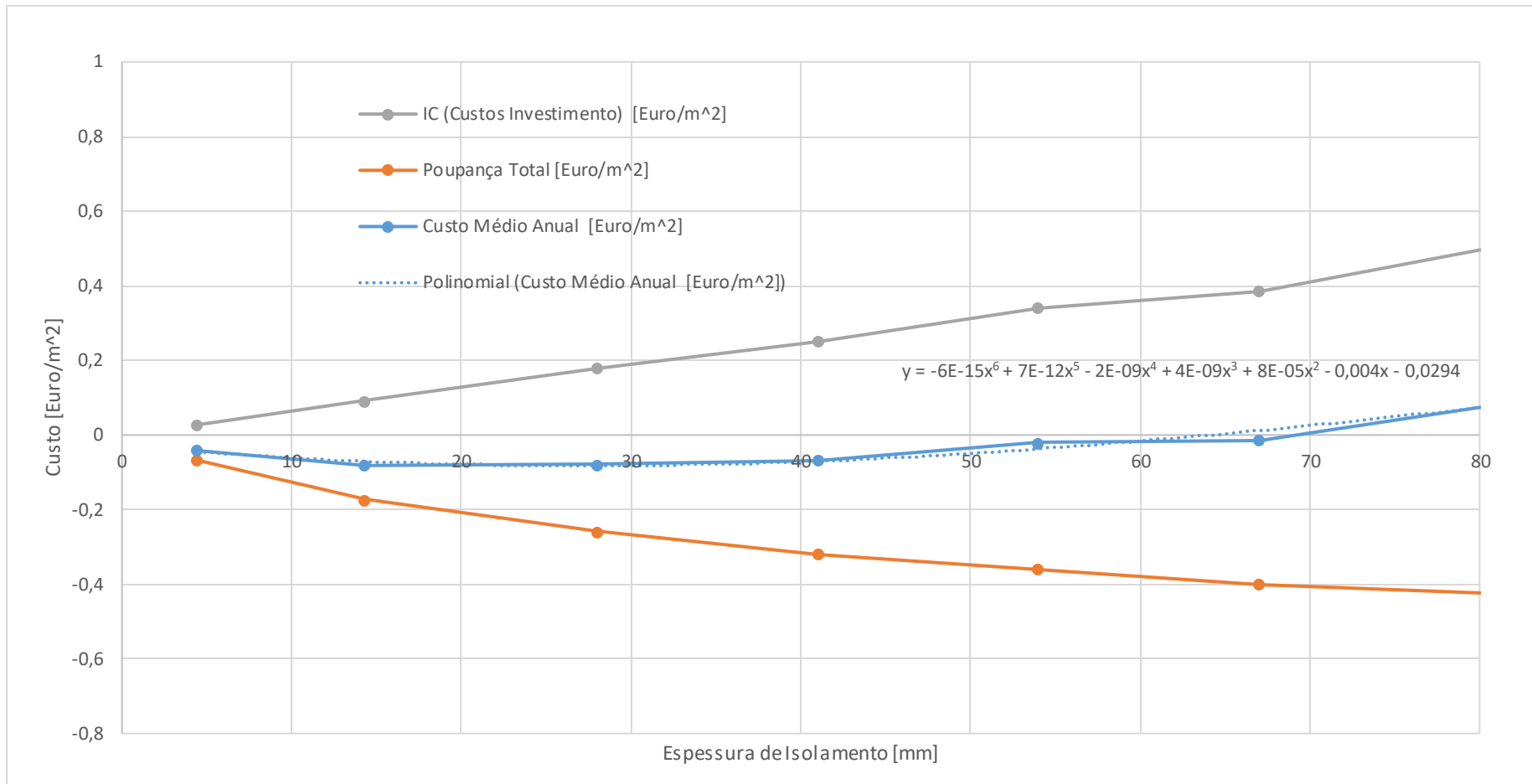
  

$F(x) = 0,4221x^2 - 4,397x + 20,592$
$F'(x) = 0,8442x - 4,397$
U Ótimo = 5,208 W/m <sup>2</sup> .°C

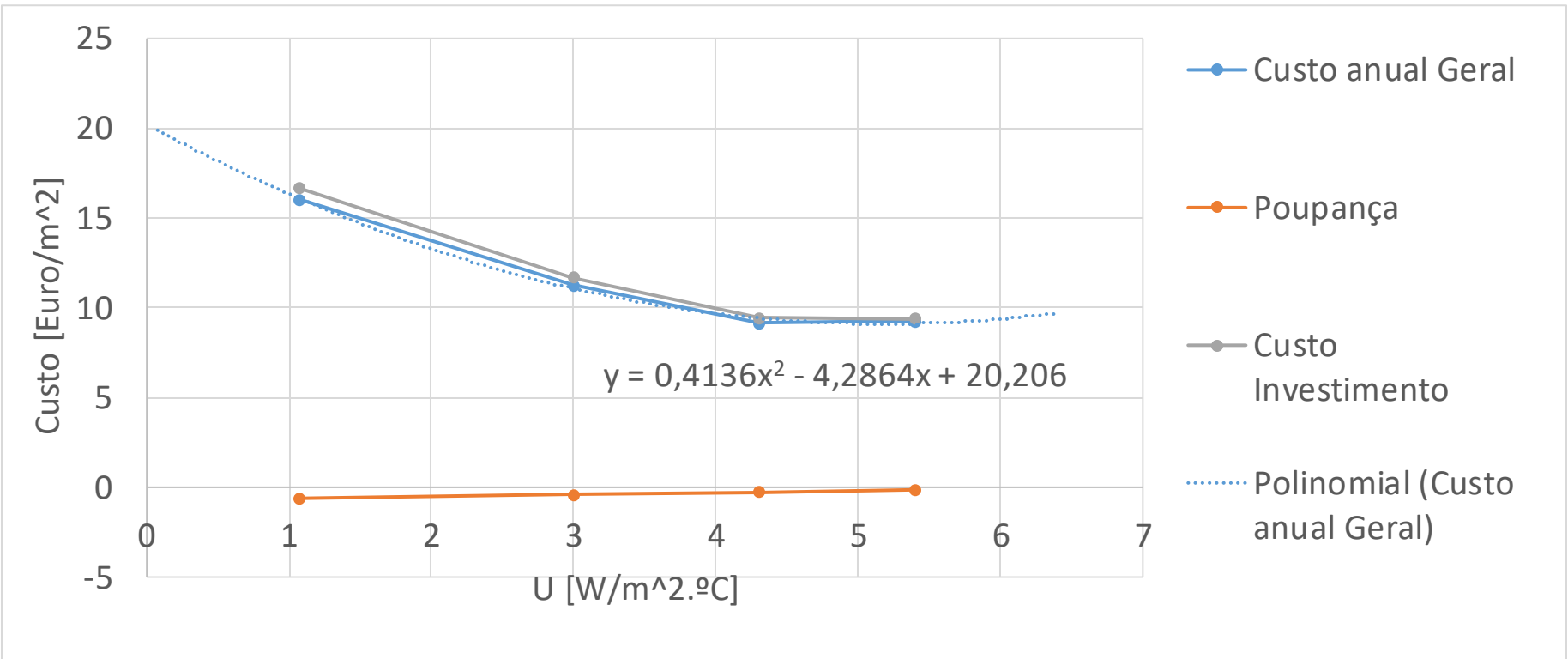


## Anexo 17 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Grécia

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	107089	0	33591	0	140680	0	0	0	0
	4,46	0,859	106870	-0,067196465	33589	-0,000613666	140459	-0,067810132	0,4739	0,027389975	-0,04042016
	14,3	0,7	106541	-0,16814458	33575	-0,004909331	140116	-0,173053911	1,58	0,091324	-0,08172991
	28	0,555	106244	-0,259274033	33591	0	139835	-0,259274033	3,108	0,1796424	-0,07963163
	41	0,465	106034	-0,323708999	33606	0,004602498	139640	-0,319106502	4,356	0,2517768	-0,0673297
	54	0,4	105881	-0,370654475	33626	0,010739161	139507	-0,359915314	5,88738	0,340290564	-0,01962475
	67	0,35	105761	-0,407474456	33616	0,007670829	139377	-0,399803627	6,67	0,385526	-0,01427763
	88	0,292	105616	-0,451965266	33639	0,014727992	139255	-0,437237274	9,786	0,5656308	0,128393526
	110	0,249	105517	-0,482341751	33654	0,01933049	139171	-0,463011261	12,243	0,7076454	0,244634139
	173	0,175	105340	-0,536651223	33679	0,027001319	139019	-0,509649903	18,71	1,081438	0,571788097
	397	0,088	105144	-0,596790525	33743	0,046638643	138887	-0,550151882	43,2	2,49696	1,946808118
650,00	0,055	105086	-0,614586849	33698	0,03283115	138784	-0,581755699	72,34	4,181252	3,599496301	
			$F(x) = -6E-15x^6 + 7E-12x^5 - 2E-09x^4 + 4E-09x^3 + 8E-05x^2 - 0,004x - 0,0294$								
			$F'(x) = -3,6E-14x^5 + 3,5E-11x^4 - 8E-09x^3 + 1,2E-08x^2 + 1,6E-04x + 0,004$								
			Espessura Ótima = 25,70 mm								
			U Ótimo = 0,575 W/m <sup>2</sup> .°C								

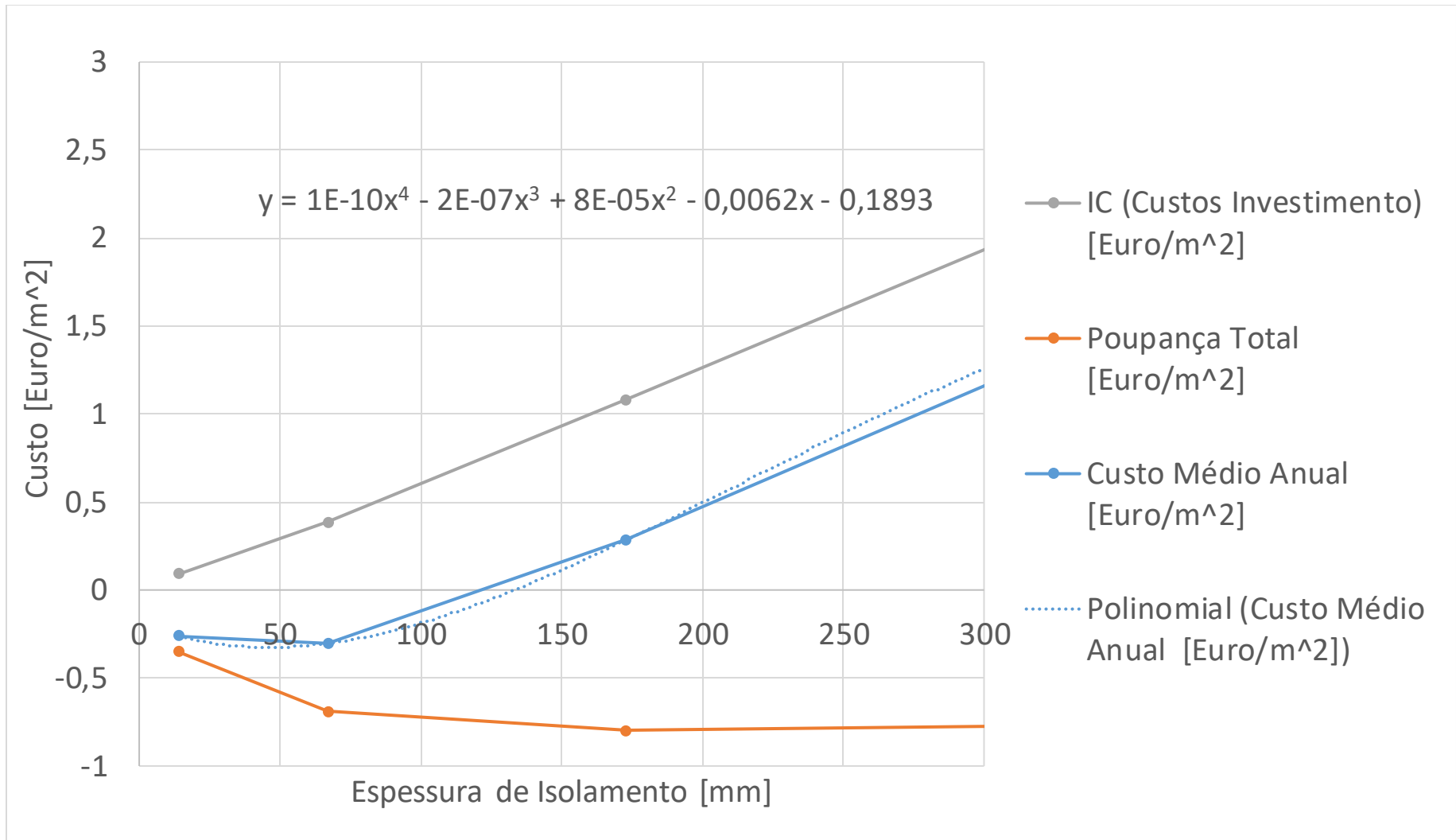


Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	107720	0	33325		141045	0	137	7,9186	
	5,4	107215	-0,154950753	33375	0,015341659	140590	-0,13960909	162	9,3636	9,223990905
	4,3	106728	-0,304378509	33475	0,046024976	140203	-0,25835353	163	9,4214	9,163046467
	3	106128	-0,488478414	33589	0,081003958	139717	-0,40747446	202	11,6756	11,26812554
	1,075	105167	-0,783345095	33876	0,169065079	139043	-0,61428002	288	16,6464	16,03211998
		$F(x) = 0,4136x^2 - 4,2864x + 20,206$ $F'(x) = 0,8272x - 4,2864$ U Ótimo = 5,182 W/m <sup>2</sup> .°C								

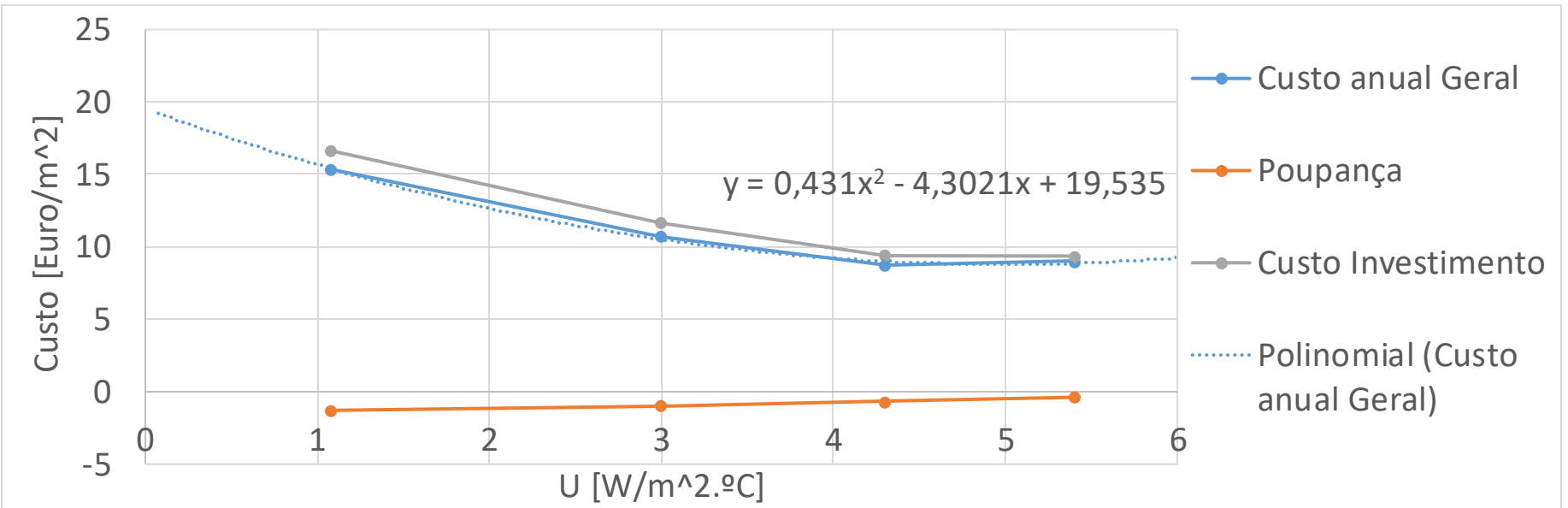


## Anexo 18 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Alemanha

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	117818	0	42474	0	160292	0	0	0	0
	14,2	0,7	116047	-0,543401553	43092	0,189622902	159139	-0,3537787	1,58	0,091324	-0,262454651
	67	0,35	113803	-1,231935197	44244	0,543094719	158047	-0,6888405	6,67	0,385526	-0,303314477
	173	0,175	112716	-1,565462858	44977	0,768003437	157693	-0,7974594	18,71	1,081438	0,283978579
	384	0,088	112138	-1,742812433	45682	0,984320825	157820	-0,7584916	43,2	2,49696	1,738468392
	650,00	0,055	112116	-1,749562763	45563	0,947807677	157679	-0,8017551	72,34	4,181252	3,379496914
			F(x) =		1E-10x <sup>4</sup> - 2E-07x <sup>3</sup> + 8E-05x <sup>2</sup> - 0,0062x - 0,1893						
			F'(x) =		4E-10x <sup>3</sup> - 6E-07x <sup>2</sup> - 0,00016x - 0,0062						
			Espessura Ótima =		46,7 mm						
			U Optimo =		0,434 W/m <sup>2</sup> .°C						

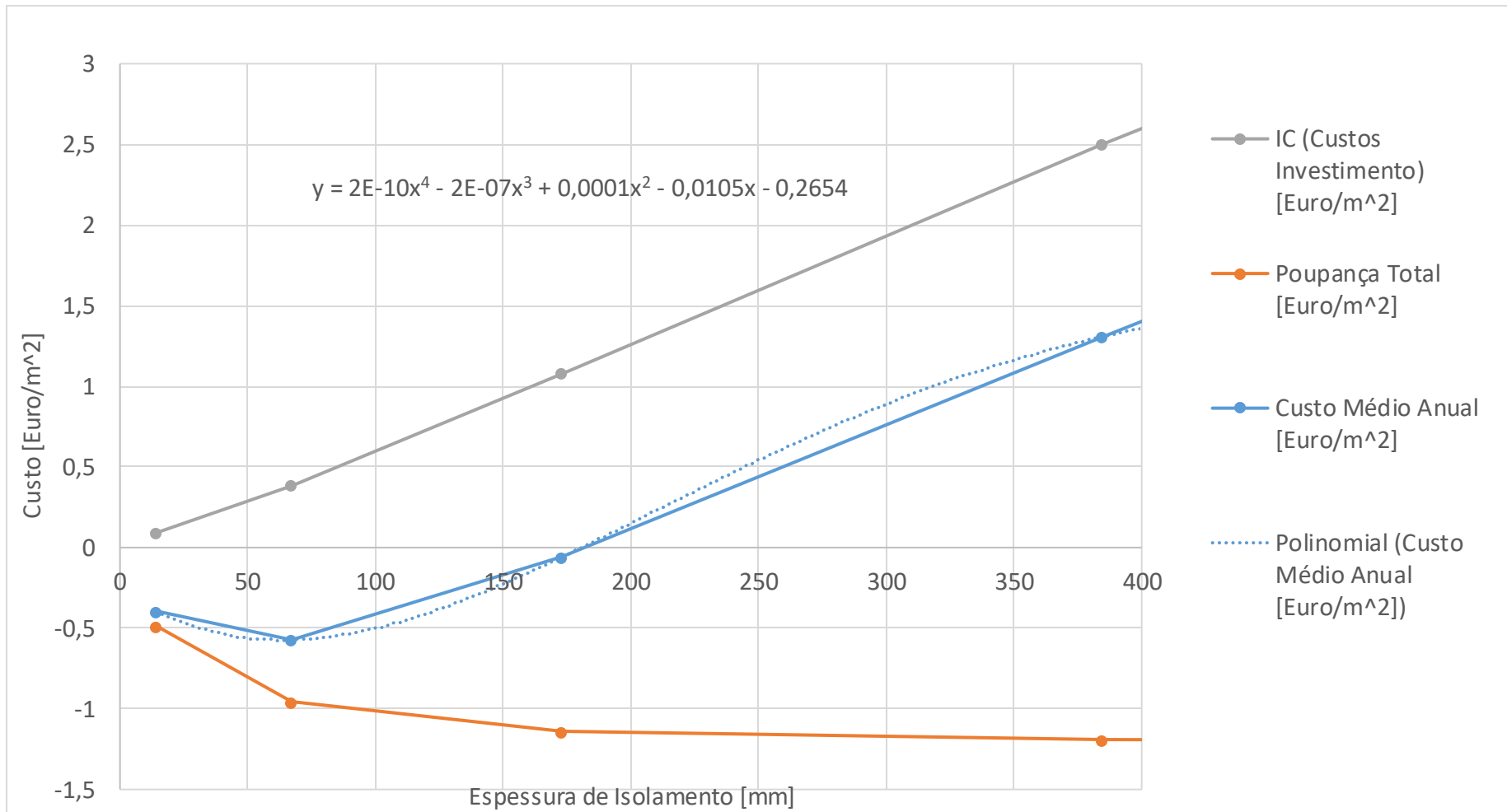


Janelas											
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]	
3259,1	6,5	119868	0	42109		161977	0	137	7,9186		
	5,4	118342	-0,468227425	42386	0,084992789	160728	-0,38323464	162	9,3636	8,980365365	
	4,3	116952	-0,894725538	42799	0,211714891	159751	-0,68301065	163	9,4214	8,738389353	
	3	115423	-1,363873462	43417	0,401337793	158840	-0,96253567	202	11,6756	10,71306433	
	1,075	113086	-2,080942592	44706	0,796845755	157792	-1,28409684	288	16,6464	15,36230316	
		$F(x) = 0,431x^2 - 4,3021x + 19,535$									
		$F'(x) = 0,862x - 4,3021$									
		U Optimo Máx. = 4,990 W/m <sup>2</sup> .°C									

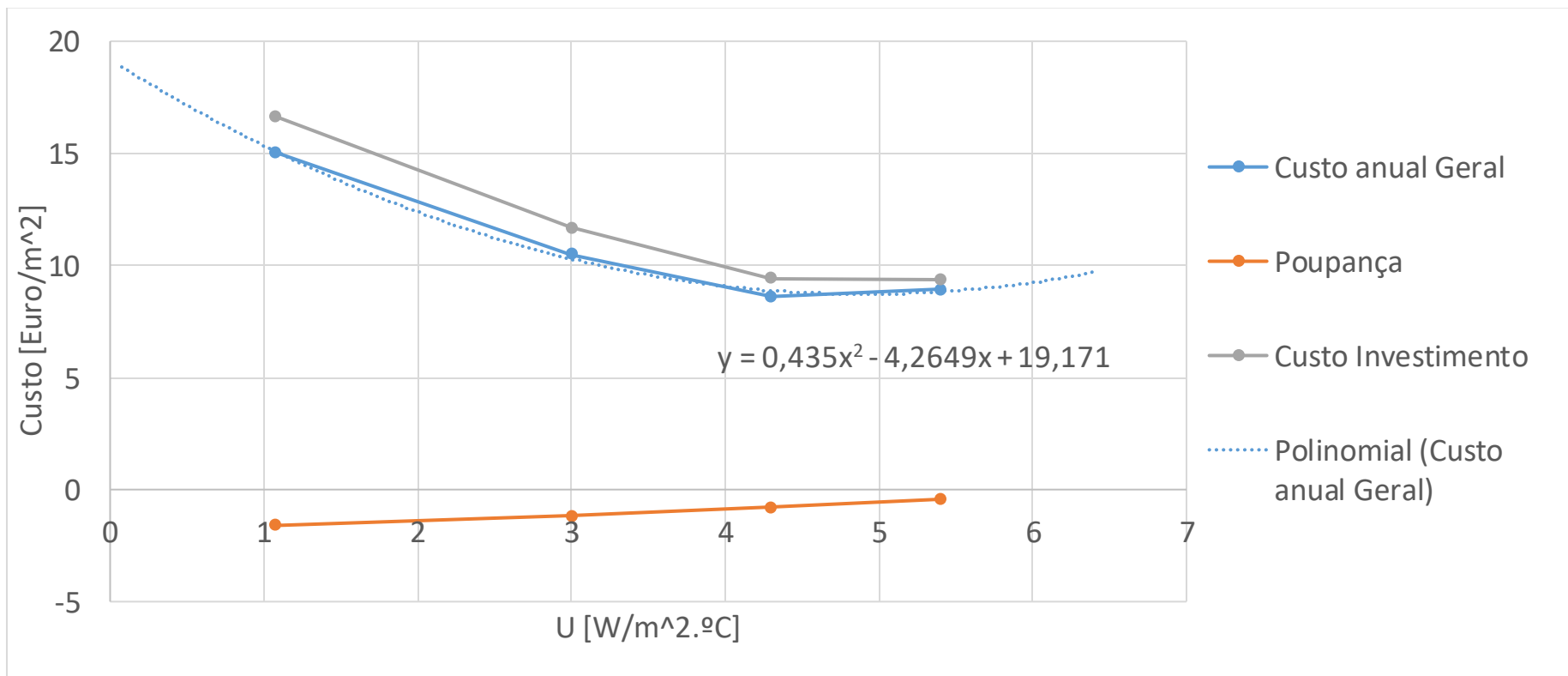


## Anexo 19 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de referência na Finlândia

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	87869	0	19850	0	107719	0	0	0	0
	14,2	0,7	85863	-0,615507349	20272	0,1294836	106135	-0,48602375	1,58	0,091324	-0,394699749
	67	0,35	83521	-1,334110644	21076	0,376177472	104597	-0,95793317	6,67	0,385526	-0,572407172
	173	0,175	82367	-1,688196128	21634	0,547390384	104001	-1,14080574	18,71	1,081438	-0,059367744
	384	0,088	81781	-1,868000368	22051	0,675339818	103832	-1,19266055	43,2	2,49696	1,30429945
	650,00	0,055	81717	-1,887637691	22072	0,681783314	103789	-1,20585438	72,34	4,181252	2,975397623
			$F(x) = 2E-10x^4 - 2E-07x^3 + 0,0001x^2 - 0,0105x - 0,2654$ $F'(x) = 8E-10x^3 - 6E-07x^2 - 0,0002x - 0,0105$								
			Espessura Ótima = 63,61 mm								
			U Ótimo = 0,362 W/m <sup>2</sup> .°C								

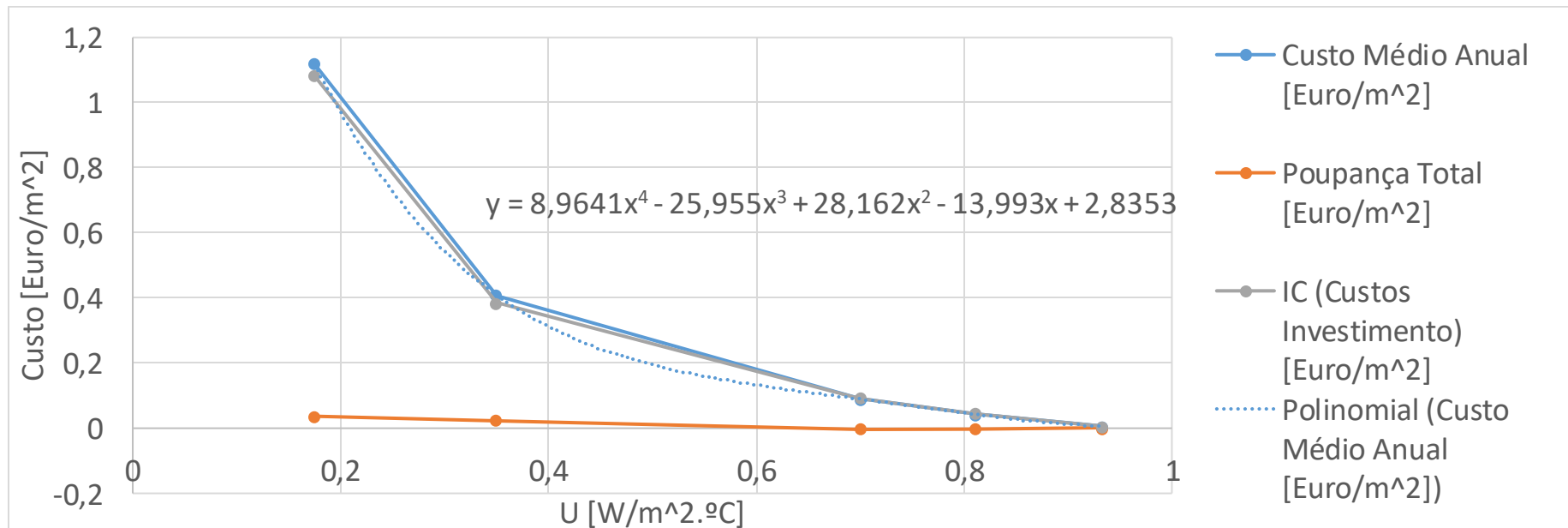


Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	6,5	89404	0	19832		109236	0	137	7,9186	
	5,4	87819	-0,48633058	20009	0,054309472	107828	-0,4320211	162	9,3636	8,93157889
	4,3	86326	-0,94443251	20271	0,134699764	106597	-0,8097327	163	9,4214	8,611667252
	3	84694	-1,44518425	20689	0,262956031	105383	-1,1822282	202	11,6756	10,49337178
	1,075	82408	-2,14660489	21604	0,543708386	104012	-1,6028965	288	16,6464	15,04350349
			$F(x) = 0,435 \cdot x^2 - 4,2649 \cdot x + 19,171$ $F'(x) = 0,87 \cdot x - 4,2649$ U Optimo Máx. = 4,90 W/m <sup>2</sup> .°C							



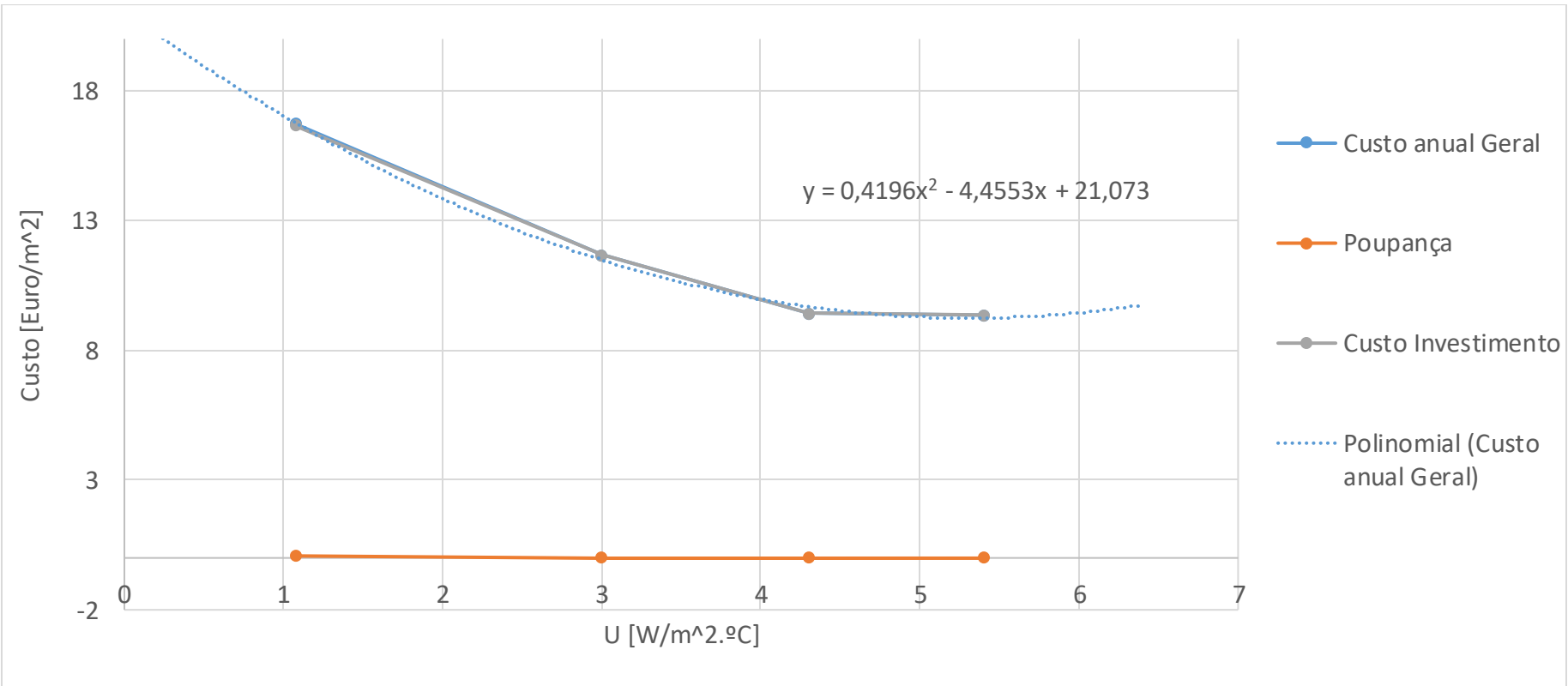
## Anexo 20 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade em Portugal

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	58698	0	28653	0	87351	0	0	0	0
	1	0,933	58679	-0,00582983	28673	0,006136663	87352	0,000306833	0,11	0,006358	0,006664833
	7	0,811	58579	-0,036513148	28763	0,033751649	87342	-0,002761499	0,78	0,045084	0,042322501
	14,3	0,7	58510	-0,057684637	28833	0,055229971	87343	-0,002454665	1,58	0,091324	0,088869335
	67	0,35	58286	-0,126415268	29142	0,150041422	87428	0,023626154	6,67	0,385526	0,409152154
	173	0,175	58150	-0,16814458	29321	0,204964561	87471	0,036819981	18,71	1,081438	1,118257981
			$F(x) = 8,9641x^4 - 25,955x^3 + 28,162x^2 - 13,993x + 2,8353$ $F'(x) = 35,8564x^3 - 77,865x^2 + 56,324x - 13,993$ <p>U Optimo Máx. = 0,952      W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>Espessura Ótima = 0,18 mm</p>								



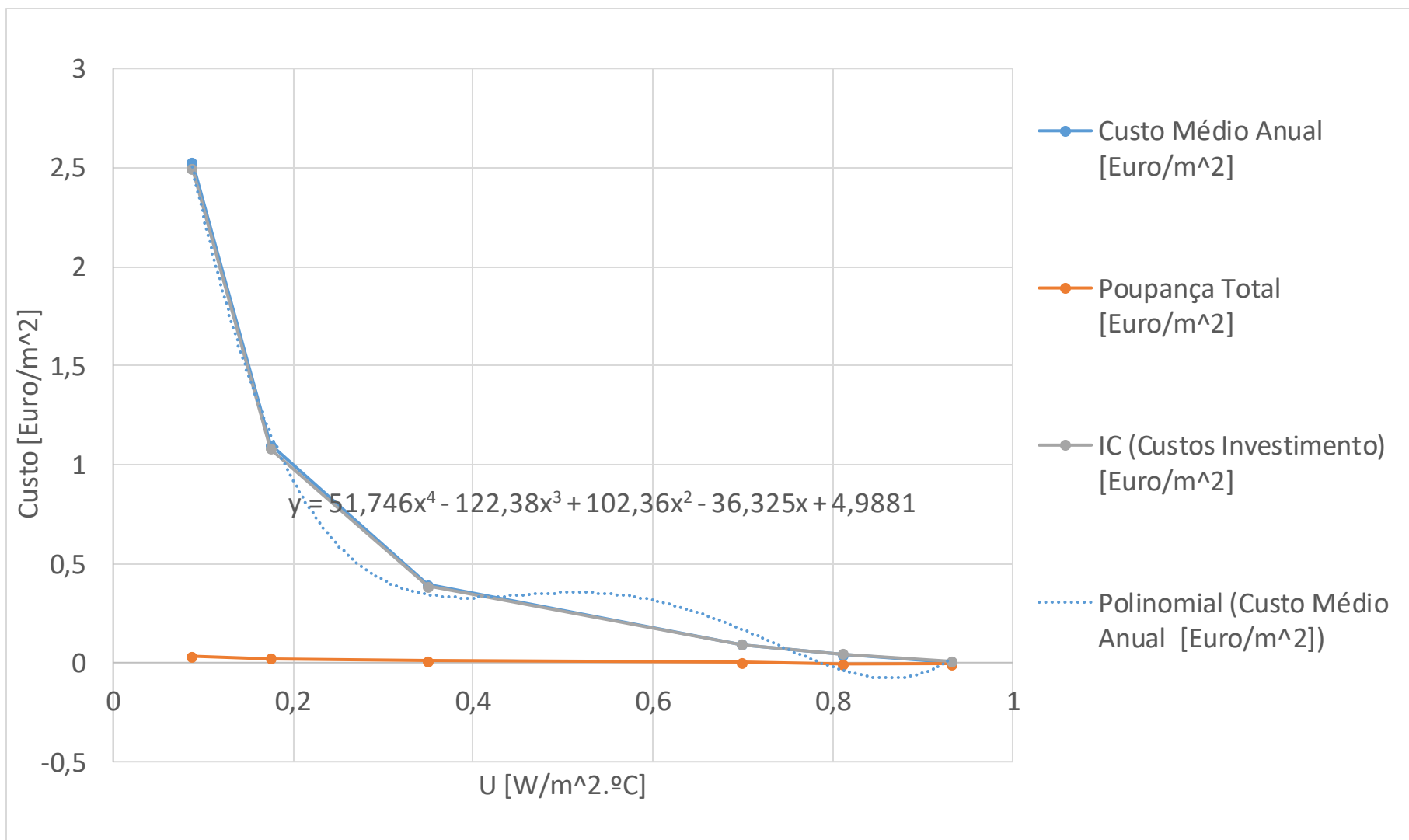
Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	58981	0	28385		87366	0	137	7,9186	
	5,4	58748	-0,07149213	28587	0,061980301	87335	-0,0095118	162	9,3636	9,35408817
	4,3	58510	-0,14451843	28833	0,137461262	87343	-0,0070572	163	9,4214	9,41434284
	3	58245	-0,22582922	29143	0,232579547	87388	0,00675033	202	11,6756	11,6823503
	1,075	57866	-0,34211899	29753	0,419747783	87619	0,07762879	288	16,6464	16,7240288

$F(x) = 0,4196 \cdot x^2 - 4,4553 \cdot x + 21,073$
$F'(x) = 0,8392 \cdot x - 4,4553$
U Optimo Máx. = 5,309
W/m <sup>2</sup> .°C

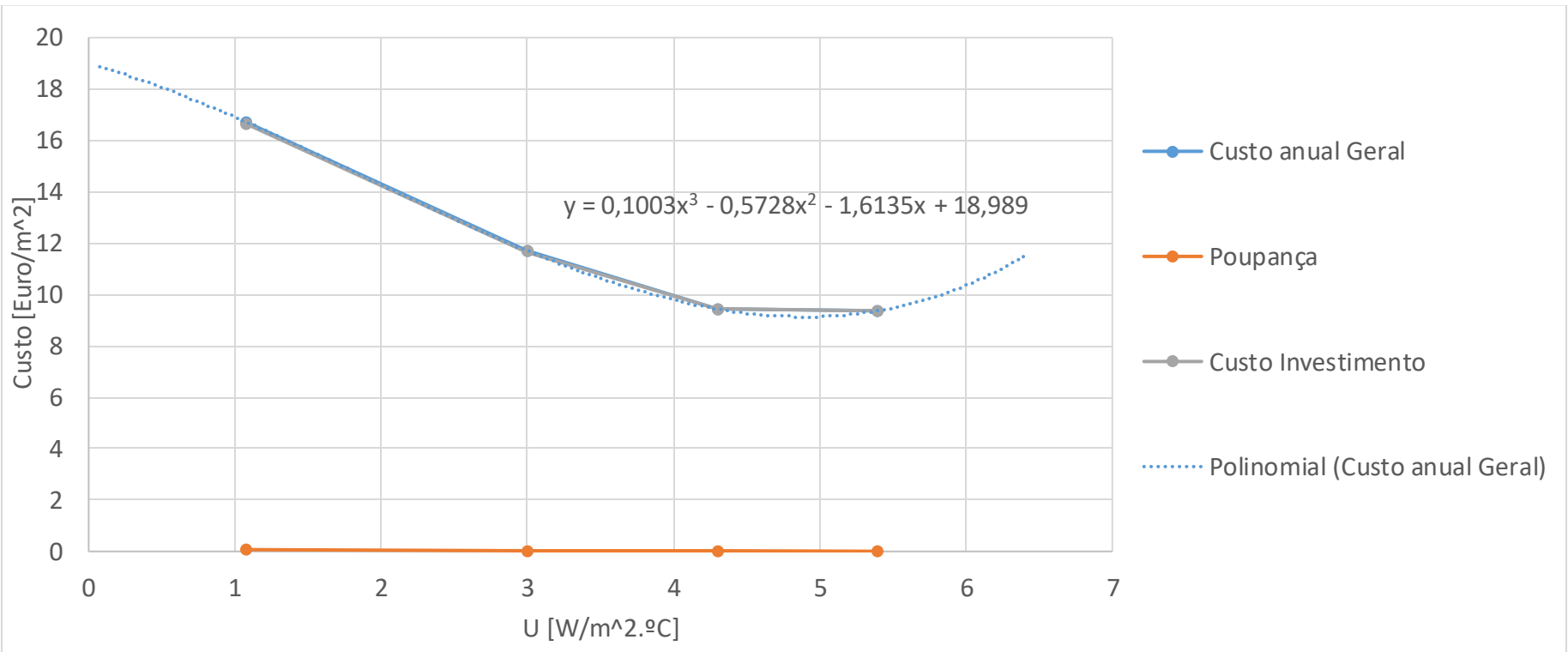


## Anexo 21 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Grécia

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	47019	0	25393	0	72412	0	0	0	0
	1	0,933	47005	-0,004295664	25389	-0,001227333	72394	-0,005523	0,11	0,006358	0,000835003
	7	0,811	47053	0,010432328	25338	-0,016875825	72391	-0,006443	0,78	0,045084	0,038640503
	14,3	0,7	47114	0,029149152	25296	-0,029762818	72410	-0,000614	1,58	0,091324	0,090710334
	67	0,35	47216	0,060446135	25225	-0,051547973	72441	0,0088982	6,67	0,385526	0,394424162
	173	0,175	47249	0,07057163	25228	-0,050627474	72477	0,0199442	18,71	1,081438	1,101382156
	397	0,088	47279	0,079776625	25240	-0,046945476	72519	0,0328311	43,2	2,49696	2,52979115
	650,00	0,055		-14,42698905		-7,791414808	0	-22,21840385	72,34	4,181252	-18,03715185
				F(x) =	51,746x <sup>4</sup> - 122,38x <sup>3</sup> + 102,36x <sup>2</sup> - 36,325x + 4,9881						
				F'(x) =	-1,5 * 10 <sup>4</sup> (-10)*x <sup>4</sup> + 8*10 <sup>4</sup> (-8)*x <sup>3</sup> + 0,000012*x <sup>2</sup> - 0,0004*x - 0,0017						
				U =	0,864 W/m <sup>2</sup> .°C						
				Espessura Ótima =	4,200 mm						

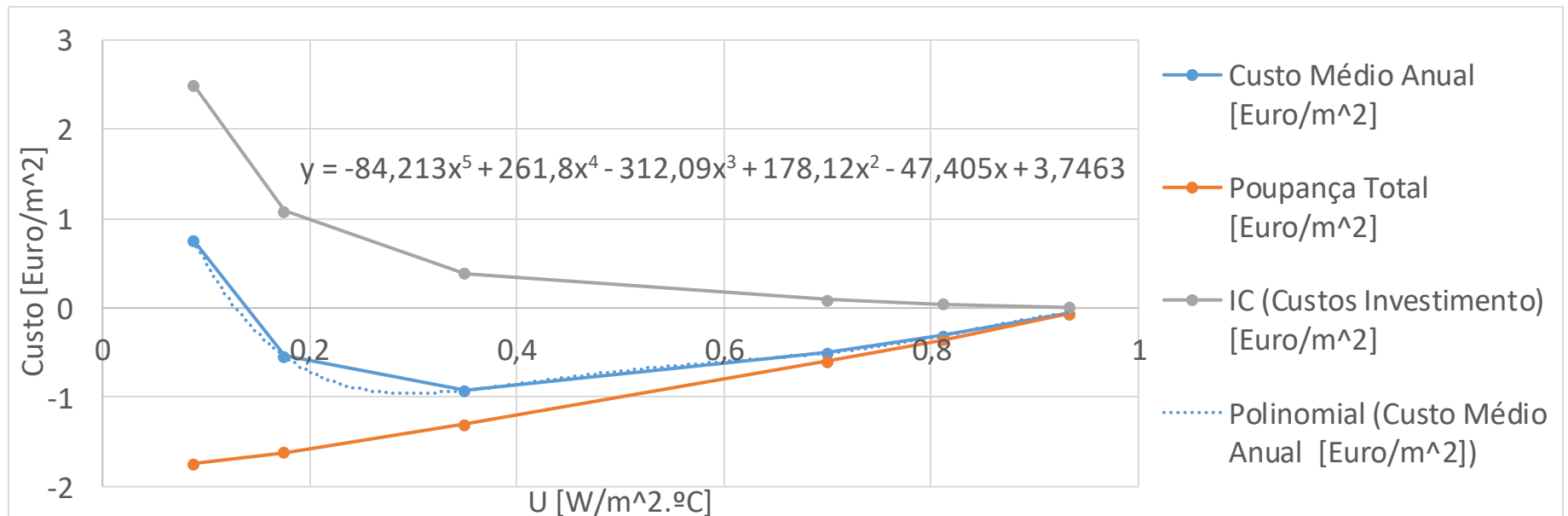


Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	47181	0	25143		72324	0	137	7,9186	
	5,4	47178	-0,0009205	25160	0,005216164	72338	0,0042957	162	9,3636	9,36789566
	4,3	47165	-0,00490933	25202	0,018103157	72367	0,0131938	163	9,4214	9,43459383
	3	47145	-0,01104599	25262	0,036513148	72407	0,0254672	202	11,6756	11,7010672
	1,075	47109	-0,02209199	25444	0,092356786	72553	0,0702648	288	16,6464	16,7166648
			$F(x) = 0,1003x^3 - 0,5728x^2 - 1,6135x + 18,989$ $F'(x) = 0,3009x^2 - 1,1456x - 1,6135$ U Ótimo Máx. = 4,90 W/m <sup>2</sup> .°C							

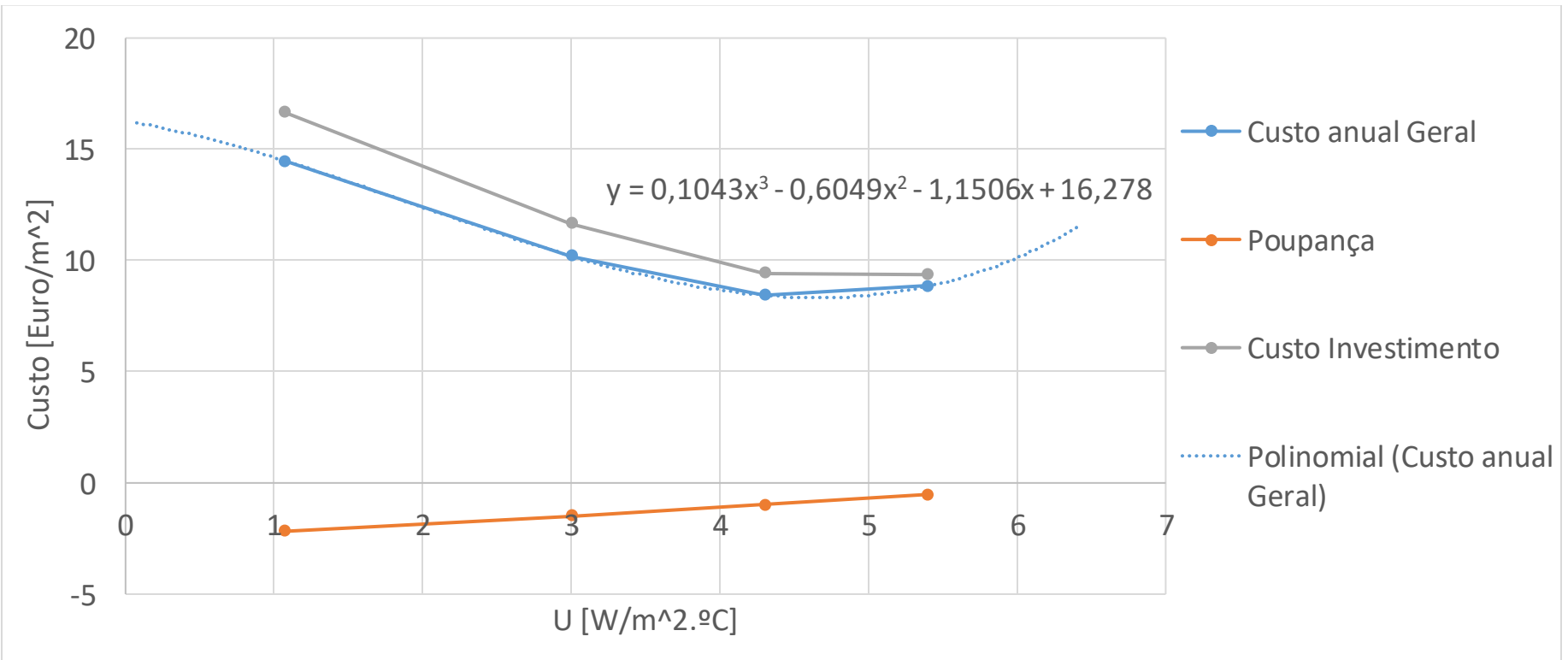


## Anexo 22 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Alemanha

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	0	0,958	96043	0	21144	0	117187	0	0	0	0
	1	0,933	95822	-0,067810132	21162	0,005522997	116984	-0,062287	0,11	0,006358	-0,055929134
	7	0,811	94759	-0,393973796	21276	0,040501979	116035	-0,353472	0,78	0,045084	-0,308387817
	14,3	0,7	93848	-0,673498819	21411	0,081924458	115259	-0,591574	1,58	0,091324	-0,500250361
	67	0,35	90989	-1,550734865	21942	0,244852873	112931	-1,305882	6,67	0,385526	-0,920355992
	173	0,175	89621	-1,970482649	22296	0,353471817	111917	-1,617011	18,71	1,081438	-0,535572831
	380	0,088	88852	-2,20643736	22663	0,466079593	111515	-1,740358	43,2	2,49696	0,756602233
	650,00	0,055	88770	-2,23159768	22598	0,446135436	111368	-1,785462	72,34	4,181252	2,395789756
			$F(x) = -84,213x^5 + 261,8x^4 - 312,09x^3 + 178,12x^2 - 47,405x + 3,7463$ $F'(x) = -421,065x^4 + 1047,2x^3 - 936,27x^2 + 356,2x - 47,405$ $U = 0,298 \text{ W/m}^2.\text{°C}$								

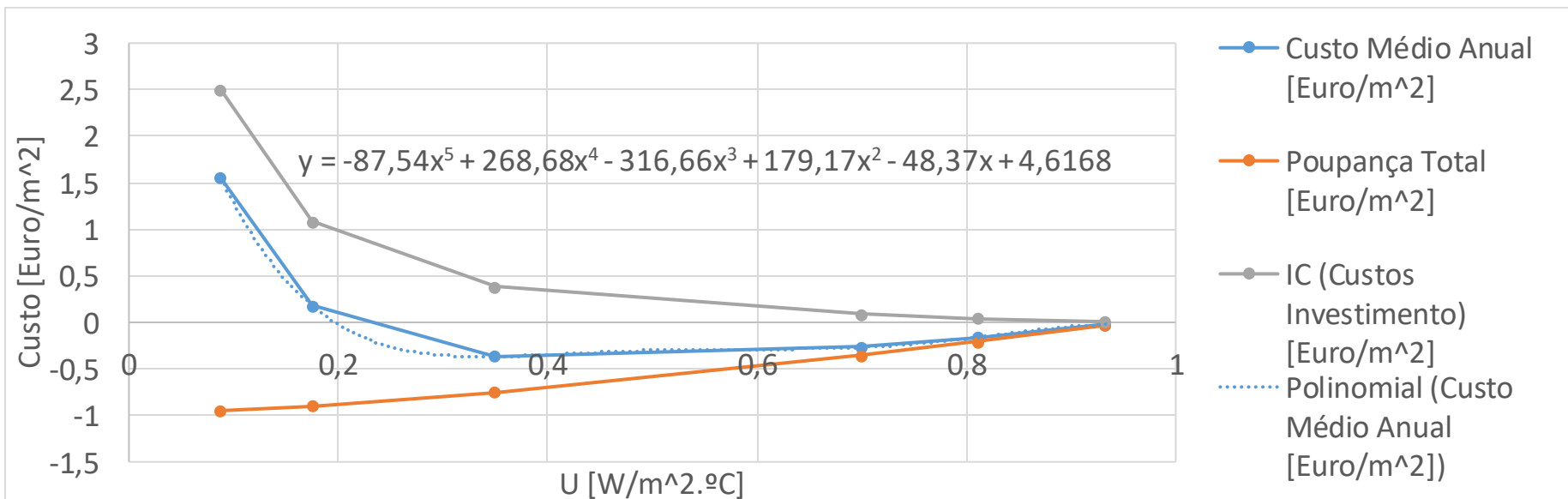


Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259	6,5	98427	0	20941		119368	0	137	7,9186	
	5,4	96642	-0,547697217	21039	0,030069651	117681	-0,51762757	162	9,3636	8,84597243
	4,3	94945	-1,068393115	21213	0,083458624	116158	-0,98493449	163	9,4214	8,43646551
	3	93015	-1,660581142	21535	0,182258906	114550	-1,47832224	202	11,6756	10,1972778
	1,075	90108	-2,552545181	22171	0,377404805	112279	-2,17514038	288	16,6464	14,4712596
		$F(x) = 0,1043x^3 - 0,6049x^2 - 1,1506x + 16,278$ $F'(x) = 0,3129x^2 - 1,2098x - 1,1506$ U Optimo Máx. = 4,656 W/m <sup>2</sup> .°C								



## Anexo 23 – Determinação dos Coeficientes globais de transferência de calor para o sistema de maior rentabilidade na Finlândia

Paredes Exteriores											
Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	0	0,958	54021	0	10599	0	64620	0	0	0	0
	1	0,933	53903	-0,036206315	10610	0,003375165	64513	-0,0328311	0,11	0,006358	-0,02647315
	7	0,811	53273	-0,229511215	10674	0,023012488	63947	-0,2064987	0,78	0,045084	-0,161414727
	14,3	0,7	52718	-0,399803627	10733	0,041115645	63451	-0,358688	1,58	0,091324	-0,267363981
	67	0,35	51105	-0,894725538	11055	0,139915928	62160	-0,7548096	6,67	0,385526	-0,36928361
	173	0,175	50379	-1,117486423	11302	0,215703722	61681	-0,9017827	18,71	1,081438	0,179655299
	397	0,088	50087	-1,20708171	11439	0,257739867	61526	-0,9493418	43,2	2,49696	1,547618157
	650,00	0,055	49987	-1,237765027	11493	0,274308858	61480	-0,9634562	72,34	4,181252	3,217795831
			F(x) =	-87,54x <sup>5</sup> + 268,68x <sup>4</sup> - 316,66x <sup>3</sup> + 179,17x <sup>2</sup> - 48,37x + 4,6168							
			F'(x) =	-437,7*x <sup>4</sup> + 1074,72*x <sup>3</sup> - 949,98*x <sup>2</sup> + 358,34*x - 48,37							
			U =	0,338 W/m <sup>2</sup> .°C							
			Espessura Óptima =	71,000 mm							



Janelas										
Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Custo Aquecimento [Euro]	Poupança Aquecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Arrefecimento [Euro]	Poupança Arrefecimento [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Total [Euro]	Poupança Total [Euro/m <sup>2</sup> ]	Preço Isolamento [Euro/m <sup>2</sup> ]	IC (Custos Investimento) [Euro/m <sup>2</sup> ]	Custo Médio Anual [Euro/m <sup>2</sup> ]
3259,1	6,5	55192	0	10613		65805	0	137	7,9186	
	5,4	54119	-0,329232	10636	0,007057163	64755	-0,32217483	162	9,3636	9,04142517
	4,3	53100	-0,641895	10704	0,027921819	63804	-0,61397318	163	9,4214	8,80742682
	3	51966	-0,98984382	10881	0,082231291	62847	-0,90761253	202	11,6756	10,7679875
	1,075	50404	-1,46911724	11294	0,208953392	61698	-1,26016385	288	16,6464	15,3862362
			$F(x) = 0,1019x^3 - 0,5772x^2 - 1,4106x + 17,443$ $F'(x) = 0,1092x^3 - 0,5062x^2 + 0,0289x + 3,2364$ U Optimo Máx. = 4,748 W/m <sup>2</sup> .°C							

