

Duarte Nuno Martins Viegas

Avaliação de sistemas solares térmicos
combinados para aquecimento, arrefecimento e
produção de AQS



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2016

Duarte Nuno Martins Viegas

Avaliação de sistemas solares térmicos
combinados para aquecimento, arrefecimento e
produção de AQS

Mestrado em Energias Renováveis e
Gestão de Energia

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Armando Inverno



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2016

Avaliação de sistemas solares térmicos combinados para aquecimento, arrefecimento e produção de AQS

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright 2016 - Duarte Nuno Martins Viegas.

“A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos”.

Agradecimentos

Ao Professor Armando Inverno, pela sugestão do tema, e pela disponibilidade demonstrada para o esclarecimento de dúvidas e pelas sugestões e conhecimentos transmitidos ao longo de todo este trabalho.

Resumo

A grande maioria das habitações existentes em Portugal ainda utiliza combustíveis de natureza fóssil ou energia eléctrica para a produção de água quente sanitária. Este panorama tem sofrido algumas alterações nos últimos anos com a introdução de legislação relacionada não só com a eficiência energética, mas sobretudo orientada para a política das energias de fontes renováveis e vocacionada para independência energética, obrigando a que as novas edificações incorporassem esta nova filosofia no seu processo de construção.

O objetivo principal deste trabalho consiste na realização de uma simulação anual do desempenho de um sistema composto por colectores solares combinados de forma a produzirem água quente sanitária, e proporcionarem também o aquecimento e arrefecimento para climatização ambiental de uma habitação unifamiliar.

O trabalho desenvolve-se ao longo de dez capítulos, onde são abordados vários temas como o aproveitamento da energia solar e a área de colectores instalados; o tipo de tecnologias existentes para o aproveitamento da energia solar no sentido do fornecimento de calor e frio; a climatização e o conforto térmico no interior da habitação; a descrição e caracterização da moradia escolhida para a realização do estudo; a seleção e aplicação de sistemas de climatização na habitação; simulação energética da moradia recorrendo à aplicação do software *EnergyPlus*; custos associados e conclusões.

Palavras chave:

Colectores solares; Chiller de absorção; Pavimento radiante hidráulico; *EnergyPlus*

Abstract

The vast majority of existing homes in Portugal still uses fossil nature fuel or electricity for heating domestic hot water. This landscape has undergone some changes in recent years with the introduction of legislation related not only to energy efficiency, but above all oriented to the policy of energy from renewable sources and dedicated to energy independence by requiring that new buildings incorporate this new philosophy in its construction process.

The main objective of this work is to carry out an annual simulation of the performance of a system composed of solar collectors combined to produce domestic hot water, and also provide heating and cooling for environmental air conditioning of a single family dwelling.

The work develops over ten chapters, which addresses various issues such as the use of solar energy and the area of installed collectors; the type of existing technologies for the utilization of solar energy in the direction of supply of heat and cold; climate control and thermal comfort inside the dwelling; the description and characterization of the chosen housing for the study; the selection and application of air conditioning systems in the housing; energy simulation housing by applying the EnergyPlus software; Associated costs and conclusions.

Key words:

Solar collectors; Absorption chiller; hydraulic underfloor heating; EnergyPlus

Índice Geral

Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice Geral.....	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Gráficos	xi
Índice de Tabelas.....	xii
Abreviaturas, Siglas e Símbolos.....	xiii
Introdução.....	1
1 Motivação para o trabalho apresentado	3
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Enquadramento.....	3
1.1.2 Caracterização.....	4
1.2 Principais contribuições esperadas com este trabalho.....	4
2 Breve levantamento da situação energética atual.....	5
2.1 Políticas Energéticas	5
2.2 Eficiência energética em edifícios	7
2.3 Dependência Energética.....	8
2.3.1 Produção de energia eléctrica em Portugal	9
3 Aproveitamento da energia solar	11
3.1 Conceitos relevantes	13
3.1.1 Corpo negro	13
3.1.2 Emissividade.....	13
3.1.3 Absorção	13
3.1.4 Reflexão	14
3.1.5 Transmissão	14
3.2 Área instalada de colectores solares.....	14
3.2.1 Na União Europeia.....	14
3.2.2 Em Portugal.....	15
4 Tecnologias existentes.....	16
4.1 Sistemas de aquecimento de água.....	16
4.1.1 Colectores	16
4.1.2 Reservatórios Térmicos.....	27
4.1.3 Bombas de circulação	30

4.1.4	Válvula anti-retorno.....	31
4.1.5	Vaso de expansão.....	31
4.2	Sistemas de arrefecimento.....	32
4.2.1	Chiller de Absorção de água e brometo de lítio.....	34
4.2.2	Chiller de Adsorção.....	36
4.2.3	Torre de arrefecimento.....	38
5	Climatização e conforto térmico.....	38
5.1	Inércia Térmica.....	38
5.2	Calor sensível.....	39
5.3	Calor latente.....	40
5.4	Transmissão de calor.....	40
5.4.1	Por Condução.....	40
5.4.2	Por convecção.....	41
5.4.3	Por Radiação.....	41
5.5	Piso radiante.....	42
5.5.1	Piso radiante a ar.....	43
5.5.2	Piso radiante elétrico.....	43
5.5.3	Piso radiante hidráulico.....	44
5.6	Conforto Térmico.....	50
5.6.1	Variáveis que influenciam o conforto térmico.....	52
6	Descrição do Edifício.....	56
6.1	Arquitetura.....	56
6.2	Elementos Construtivos.....	62
6.2.1	Paredes.....	62
6.2.2	Cobertura.....	63
6.2.3	Pavimentos.....	63
6.2.4	LAJE E TECTO.....	64
6.2.5	Portas e janelas.....	64
6.2.6	Características dos materiais utilizados.....	65
7	Descrição dos Sistemas de Climatização.....	67
7.1	Circuito do lado do fornecimento.....	68
7.1.1	Fornecimento de calor.....	68
7.1.2	Fornecimento de arrefecimento.....	69
7.2	Circuito do lado do consumo.....	69
7.2.1	Pavimento radiante hidráulico.....	69
7.2.2	Instalação da tubagem no pavimento.....	70
8	Aplicação do Software EnergyPlus.....	71

8.1	Apresentação do Energyplus	71
8.2	Introdução de informação.....	75
8.2.1	EP-Launch.....	75
8.2.2	Idf Editor	76
8.2.3	Grupo "Simulation Parameters"	77
8.2.4	Grupo "Location And Climate"	79
8.2.5	Grupo "Schedules"	81
8.2.6	Grupo "Surface Construction Elements"	84
8.2.7	Grupo "Thermal Zones And Surfaces"	89
8.2.8	Grupo "Internal Gains"	96
8.2.9	Grupo "Zone Airflow"	98
8.2.10	Grupo "HVAC Design Objects"	99
8.2.11	Grupo "Zone Hvac Controls And Thermostats".....	101
8.2.12	Grupo "Zone Hvac Radiative/ Convective Units"	103
8.2.13	Grupo "Zone Hvac Equipment Connections"	104
8.2.14	Grupo "Node Branch Management"	105
8.2.15	Grupo "Pumps"	109
8.2.16	Grupo "Solar Collectores"	110
8.2.17	Grupo "Plant Heating And Cooling Equipment"	111
8.2.18	Condenser Equipment and Heat Exchangers	113
8.2.19	Water Heaters and Thermal Storage.....	114
8.2.20	Plant Condenser Loops	116
8.2.21	Grupo "Plant – Condenser Control"	118
8.2.22	Grupo "Setpoint Managers"	123
8.2.23	Grupo "Water Systems".....	125
8.2.24	Grupo "Fluid Properties"	126
8.2.25	Grupo "Output Reporting"	129
8.3	Simulação Energética.....	131
8.3.1	Carga térmica do edifício	131
8.3.2	Dimensionamento do sistema.....	143
9	Custos associados.....	159
9.1	Investimento inicial.....	159
9.1.1	Custos de fornecimento e montagem dos equipamentos.....	159
9.2	Custos de manutenção dos equipamentos	160
9.3	Custos de exploração dos equipamentos	161
10	Conclusões.....	162
11	Bibliografia.....	165

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Mapa da incidência da radiação solar na Europa (LNEG).....	12
Figura 3.2 – Radiação solar e horas de sol em Portugal – (Altas do Ambiente)	12
Figura 4.1 - Ângulos de incidência solar (Inverno)	17
Figura 4.2 - Sombreamentos entre filas de colectores (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)	18
Figura 4.3 - Corte num Coletor Plano (Adaptado de (ASHRAE, 2008)).....	20
Figura 4.4 - Pormenor de corte de Coletor CPC (AO-SOL, 2006).....	22
Figura 4.5 - Tubo de Vácuo adaptado (ASHRAE, 2008).....	24
Figura 4.6 - Modo de associação de colectores solares (ABRINSTAL, 2011)	26
Figura 4.7 - Tipos de reservatórios térmicos (ABRINSTAL, 2011).....	28
Figura 4.8 - Reservatório térmico de inercia	28
Figura 4.9 - Pormenor de vaso de expansão (ABRINSTAL, 2011)	31
Figura 4.10 - Diagrama de um chiller absorção de efeito simples (Johnson-Controls)	35
Figura 4.11 - Diagrama de um <i>chiller</i> absorção (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)	37
Figura 5.1 - Formas de transmissão de calor (LabCon)	40
Figura 5.2 - Climatização ideal; Pavimento radiante; Radiadores; Convectores; Climatização pelo teto; Climatização pela parede (Uponor, 2013).....	42
Figura 5.3 - Perfil de estratificação de temperaturas (Solarwaters, 2016)	43
Figura 5.4 - Exemplo de Piso radiante por circulação de ar (Larsen, 2007)	43
Figura 5.5 - Exemplo de Piso radiante por circulação de ar (Larsen, 2007)	44
Figura 5.6 - Pormenor de pavimento radiante hidráulico (Solarwaters, 2016).....	45
Figura 5.7 - Exemplos do modo de instalação das tubagens no pavimento (Brumbaugh, 2004) 46	
Figura 5.8 - Transmissão de aquecimento com radiadores e piso radiante (SolarCondicionado, 2016)	47
Figura 5.9 - Transmissão de calor ao corpo humano (SolarCondicionado, 2016).....	48
Figura 6.1 - Planta de implantação da Moradia-L6	56
Figura 6.2 - Planta de Apresentação da Moradia-L6	57
Figura 6.3 - Planta de Cobertura da Moradia-L6.....	58
Figura 6.4 - Alçado Principal da Moradia-L6	59
Figura 6.5 - Alçado Posterior da Moradia-L6	60
Figura 6.6 - Alçado Lateral Direito da Moradia-L6.....	60
Figura 6.7 - Alçado Lateral Esquerdo da Moradia-L6.....	61
Figura 6.8 - Corte Transversal na Moradia-L6.....	61
Figura 6.9 - Pormenor de corte da parede exterior	62
Figura 6.10 - Pormenor de corte da parede interior	63
Figura 6.11 - Pormenor de corte na cobertura	63
Figura 6.12 - Pormenor de corte no pavimento térreo	64
Figura 6.13 - Pormenor de corte laje do teto	64
Figura 6.14 - Pormenor do corte geral na fachada da moradia.....	65
Figura 7.1 - Circuito do lado do fornecimento (Supply Side)	67
Figura 7.2 - Circuito do lado do consumo (Demand Side).....	68
Figura 7.3 - Distribuição da tubagem de piso radiante hidráulico nos compartimentos	70
Figura 8.1 - Perspetivas tridimensionais das zonas térmicas da moradia.....	74
Figura 8.2 - Menu do EP-Launch	76

Figura 8.3 - Menu geral do Idf Editor	77
Figura 8.4 - Menu da Classe Building	78
Figura 8.5 - Menu da Classe Timestep.....	79
Figura 8.6 - Menu da Classe Sizing Period Design Days.....	80
Figura 8.7 - Menu da Classe Site Ground Temperature Building Surface.....	81
Figura 8.8 - Menu da Classe Site Schedules Type Limits.....	82
Figura 8.9 - Menu da Classe Schedule Compact	83
Figura 8.10 - Menu da Classe Material.....	85
Figura 8.11 - Menu da Classe Material No Mass	86
Figura 8.12 - Menu da Classe Window Material Simple Glazing System.....	87
Figura 8.13 - Menu da Classe Window Material Shade.....	87
Figura 8.14 - Menu da Classe Construction	88
Figura 8.15 - Menu da Classe Construction Internal Source.....	89
Figura 8.16 - Menu da Classe Global Geometry Rules.....	90
Figura 8.17 - Menu da Classe Zone	91
Figura 8.18 - Menu da Classe Zone List	91
Figura 8.19 - Menu da Classe Building Surface Detailed	92
Figura 8.20 - Menu da Classe Fenestration Surface Detailed.....	93
Figura 8.21 - Menu da Classe Window Property Shading Control.....	93
Figura 8.22 - Menu da Classe Shading Site Detailed.....	94
Figura 8.23 - Menu da Classe Shading Building Detailed	95
Figura 8.24 - Menu da Classe Shading Zone Detailed.....	96
Figura 8.25 - Menu da Classe People.....	97
Figura 8.26 - Menu da Classe Lights	97
Figura 8.27 - Menu da Classe Electric Equipament.....	98
Figura 8.28 - Menu da Classe Zone Infiltration Design Flow Rate.....	99
Figura 8.29 - Menu da Classe Sizing Zone	100
Figura 8.30 - Menu da Classe Sizing Plant	101
Figura 8.31 - Menu da Classe Zone Control Thermostat	102
Figura 8.32 - Menu da Classe Thermostat Setpoint Dual Setpoint.....	102
Figura 8.33 - Menu da Classe Zone HVAC Low Temperature Radiant: Constant Flow.....	104
Figura 8.34 - Menu da Classe Zone Hvac Equipment List	104
Figura 8.35 - Menu da Classe Zone Hvac Equipment Connections	105
Figura 8.36 - Menu da Classe Branch.....	106
Figura 8.37 - Menu da Classe Branch List	107
Figura 8.38 - Menu da Classe Connector Splitter.....	107
Figura 8.39 - Menu da Classe Connector Mixer.....	108
Figura 8.40 - Menu da Classe Connector List	108
Figura 8.41 - Menu da Classe Pipe Adiabatic	109
Figura 8.42 - Menu da Classe Pump Variable Speed.....	110
Figura 8.43 - Menu da Classe Solar Collector Performance Flat Plate.....	111
Figura 8.44 - Menu da Classe Solar Collector Flat Plate Water.....	111
Figura 8.45 - Menu da Classe Chiller Absorption	112
Figura 8.46 - Menu da Classe Cooling Tower Single Speed.....	113
Figura 8.47 - Menu da Classe Water Heater Mixed.....	115
Figura 8.48 - Menu da Classe Water Heater Sizing.....	116
Figura 8.49 - Menu da Classe Plant Loop.....	117
Figura 8.50 - Menu da Classe Condenser Loop.....	118

Figura 8.51 - Menu da Classe Plant Equipment List.....	119
Figura 8.52 - Menu da Classe Condenser Equipment List	120
Figura 8.53 - Menu da Classe Plant Equipment Operation Cooling Load	121
Figura 8.54 - Menu da Classe Plant Equipment Operation Heating Load.....	121
Figura 8.55 - Menu da Classe Plant Equipment Operation Schemes.....	122
Figura 8.56 - Menu da Classe Condenser Equipment Operation Schemes	122
Figura 8.57 - Menu da Classe Setpoint Manager Schedule.....	123
Figura 8.58 - Menu da Classe Setpoint Manager Schedule Dual Setpoint.....	124
Figura 8.59 - Menu da Classe Setpoint Manager Follow Outdoor Air Temperature.....	124
Figura 8.60 - Menu da Classe Water Use Equipment	125
Figura 8.61 - Menu da Classe Water Use Connections.....	126
Figura 8.62 - Menu da Classe <i>Fluid Properties Name</i>	127
Figura 8.63 - Menu da Classe <i>Fluid Properties Glycol Concentration</i>	127
Figura 8.64 - Menu da Classe <i>Fluid Properties Temperatures</i>	128
Figura 8.65 - Menu da Classe <i>Fluid Properties Concentration</i>	129
Figura 8.66 - Menu da Classe Output Table Monthly.....	130
Figura 8.67 - Menu da Classe Output Variable	130
Figura 8.68 - Menu da Classe HVAC Templates Thermostat.....	131
Figura 8.69 - Menu da Classe HVAC Templates Zone Ideal Loads Air System	132
Figura 8.70 - Localização das três cidades (DGT-CAOP, 2016).....	133

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 – Evolução das importações de produtos energéticos.....	9
Gráfico 2.2 – Contributo das energias renováveis (APISOLAR, 2014)	10
Gráfico 2.3 - Produção de energia eléctrica renovável em países da EU em 2014 (DGEG- Renovaveis, 2016)	10
Gráfico 3.1 – Evolução da instalação de painéis solares em Portugal (APISOLAR)	16
Gráfico 5.1 - Gráfico com Escala de sensações (FANGER, 1972)	52
Gráfico 8.1 - Temperaturas em Bragança	134
Gráfico 8.2 - Temperaturas em Coimbra.....	135
Gráfico 8.3 - Temperaturas em Faro.....	136
Gráfico 8.4 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Bragança	137
Gráfico 8.5 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Bragança	138
Gráfico 8.6 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Bragança.....	138
Gráfico 8.7 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Coimbra	139
Gráfico 8.8 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Coimbra	140
Gráfico 8.9 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Coimbra.....	141
Gráfico 8.10 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Faro.....	141
Gráfico 8.11 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Faro.....	142
Gráfico 8.12 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Faro	143
Gráfico 8.13 - Comparação da variação de caudal do piso radiante hidráulico nas três regiões de localização da moradia	144
Gráfico 8.14 - Comparação da variação de caudal dos circuitos de abastecimento nas três regiões de localização da moradia	145
Gráfico 8.15 - Variação de caudal no circuito de arrefecimento do condensador do <i>chiller</i> nas três regiões de localização da moradia	146

Gráfico 8.16 - Necessidade de armazenamento de água aquecida e caudais de consumos nas três cidades.....	147
Gráfico 8.17 - Produção de água a 60 °C dos 4 modelos de coletores solares utilizados.	150
Gráfico 8.18 - Produção de água a 70 °C dos 4 modelos de coletores solares utilizados	151
Gráfico 8.19 - Energia fornecida pelos dois modelos de coletores e pelo apoio em Bragança (60 °C).....	152
Gráfico 8.20 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Bragança (70 °C).....	153
Gráfico 8.21 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Coimbra (60 °C).....	154
Gráfico 8.22 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Coimbra (70 °C).....	154
Gráfico 8.23 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Faro (60 °C).....	155
Gráfico 8.24 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Faro (70 °C).....	156
Gráfico 8.25 - Rendimento geral dos coletores, do tipo tubos de vácuo, nas três cidades.	157

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Evolução da área de coletor solares instalada e a energia produzida na UE. (Eurobserv'Er-14, 2015) (Eurobserv'Er-15, 2016).....	15
Tabela 4.1 - Máquinas de arrefecimento ciclo fechado (Mendes J. , 2014)	38
Tabela 5.1 - Reação ao calor e frio (LabCon) (Lamberts).....	51
Tabela 5.2 - Escala de sensações (FANGER, 1972).....	51
Tabela 5.3 - Nível de metabolismo em função do tipo de atividade desenvolvida (ISO 7730)...	52
Tabela 5.4 - Resistência térmica relativamente ao vestuário (ISO 7730)	53
Tabela 6.1 - Áreas das divisões da Moradia-L6	57
Tabela 6.2 - Características dos materiais utilizados nos elementos construtivos	66
Tabela 8.2 - Afastamento entre filas de coletores	148
Tabela 8.3 - Características dos coletores ensaiados (Buderus, 2016) (Baxiroca, 2016).....	149
Tabela 8.4 - Relação entre a quantidade de coletores, área de abertura e potência	149
Tabela 8.1 – Potência térmica e caudais para o <i>chiller</i> nas três cidades	158
Tabela 9.1 - Custos de aquisição e instalação inicial do sistema com os dois tipos de coletores solares	160
Tabela 9.2 - Custos de manutenção do sistema com os dois tipos de coletores solares ao fim de 10 anos	161
Tabela 9.3 - Consumos energéticos associados à exploração dos equipamentos ao longo do ano	161
Tabela 9.4 - Custos energéticos associados à exploração dos equipamentos ao longo do ano..	162

Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ADENE - Agencia para a Energia

APISOLAR - Associação Portuguesa da Industria Solar

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

AQS - água quente sanitária

clo - Unidade de medida da resistência térmica do vestuário (clothing)

COP - Coeficiente de performance

Cp - Calor específico (J/kg.K)

CPC - Coletor Parabólico Composto

EPS - Poliestireno Expandido Moldado

HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning (Aquecimento, Ventilação e Ar – Condicionado)

IDF - Input Date File

LiBr - brometo de lítio

met - unidade de medida do nível de atividade metabólica

PMV - Predicted Mean Vote (Votação média previsível, de acordo com a norma ISO 7730)

PPD - Percentage of People Dissatisfied (Percentagem de ocupantes insatisfeitos, de acordo com a norma ISO 7730)

R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)

U - Coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2.K$)

XPS - Poliestireno Expandido Extrudido

ρ - Densidade (Kg/m³)

σ - Constante de Stefan-Boltzmann (W.m⁻².K⁻⁴)

ε - Emissividade da superfície

λ - Condutividade térmica (W/m.K)

η - Rendimento

α - Absorsividade

τ - Transmissibilidade

Introdução

O desenvolvimento tecnológico tem permitido ao longo dos tempos a melhoria das condições de vida das populações, sendo as condições de conforto habitacional das que mais beneficiaram com a evolução. Desde tempos remotos que o Homem teve a preocupação de arranjar um local de abrigo bem localizado, seguro, quente e seco. Para tal foi fundamental a descoberta do fogo, que lhe permitiu fazer fogueiras para se aquecer nos períodos mais frios, não menos importante foi a evolução das técnicas de caça, que lhe possibilitou capturar espécies de maior porte, sobretudo mamíferos dos quais aproveitou as suas peles para a execução de formas primitivas de vestuário, que permitiram que se pudesse agasalhar durante os períodos mais frios. Com o avanço dos tempos, outras carências foram surgindo, tal com necessidade de tomar banho e lavar os utensílios por si utilizados, se bem que ainda com utilização de água fria. Bem longe estavam ainda os conceitos de conforto térmico e de higiene pessoal, que viriam der aso ao desenvolvimento de sistemas de aquecimento de águas sanitárias e à climatização dos edifícios. A massificação da distribuição da energia eléctrica permitiu um novo salto na contínua busca de melhorias no conforto térmico que levaram ao desenvolvimento de sistemas de arrefecimento do ambiente, que em associação com sistemas de aquecimento levaram à criação de um novo conceito de climatização habitacional.

O aumento do poder económico das famílias tem permitido o crescimento da procura de equipamentos de climatização para instalação nas moradias, de forma a melhorar o conforto habitacional durante os períodos de frio no inverno e quentes de verão.

O aquecimento do ambiente é uma tendência existente há largos anos, sobretudo em países com invernos frios e longos, que consiste basicamente na instalação de uma caldeira a gás, ou gasóleo, que aquece a água e a faz circular em circuito fechado entre o depósito da caldeira e os radiadores existentes nas diversas divisões. Este sistema é, às vezes, também utilizado na produção de água quente para consumo sanitário. Em alguns locais mais remotos no lugar das caldeiras que consomem combustíveis fósseis utiliza-se uma lareira a lenha para aquecer a água, ou até caldeiras a biomassa. Atualmente em muitos desses locais queima-se gás natural e pellets como combustível para aquecer água.

Com o desenvolvimento da tecnologia solar permitiu que se pudesse instalar colectores solares para a produção de água quente sanitária, em locais onde existe radiação solar suficiente para o seu funcionamento. Este desenvolvimento também permitiu o aproveitamento da radiação solar para o aquecimento ambiental em edifícios, através da adaptação da ligação às redes de aquecimento já existentes, bem como ao desenvolvimento de novos sistemas, como do pavimento radiante, aquecido através do calor proveniente da radiação solar, acumulado ao longo do dia.

A massificação da instalação dos equipamentos de ar condicionado com tecnologia ativa, provocou um aumento do consumo de energia eléctrica durante os meses de verão, criando alguns constrangimentos na rede eléctrica devido aos picos de consumo, ainda para mais em período estival, em que a produção de origem hidroeléctrica é menos favorável devido ao menor volume dos caudais disponíveis nas barragens, logo imputando maior necessidade de recorrer a sistemas de produção de energia a partir de centrais termoeléctricas que consomem carvão, ou outros combustíveis fósseis, aumentando a dependência energética, mas sobretudo contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito de estufa, agravando mais ainda os problemas relacionados com as mudanças climáticas.

1 Motivação para o trabalho apresentado

1.1 Objetivos

1.1.1 Enquadramento

A grande maioria das habitações existentes em Portugal ainda utiliza combustíveis de natureza fóssil para o aquecimento de água quente sanitária, outras recorrem a eletricidade para o fazerem, sendo aquelas que utilizam a energia solar uma minoria. Este panorama tem sofrido algumas alterações nos últimos anos com a introdução de legislação relacionada não só com a eficiência energética, mas sobretudo orientada para a política das energias de fontes renováveis e vocacionada para independência energética, obrigando a que as novas edificações incorporassem esta nova filosofia no seu processo de construção.

No aquecimento das habitações, o problema não difere muito, o aquecimento do ambiente é efetuado com calor produzido em caldeiras a partir da queima de gás ou gasóleo, ou então recorrendo à utilização de equipamentos com resistências elétricas. Nas zonas rurais ainda é a lenha quem reina. Nos últimos tempos e também ao abrigo das energias de fontes renováveis tem sido feitos grandes investimentos na produção de pellets, produzindo-se cerca de 900 mil toneladas por ano, no entanto cerca de 775 mil toneladas são para exportação, o mercado interno consome apenas cerca de 14% do total produzido.

Para o arrefecimento do ambiente em habitações, o mercado é bem mais pequeno uma vez que as famílias investem menos neste tipo de equipamentos, sendo até há pouco tempo considerado um verdadeiro luxo, no entanto aqueles a quem se lhes tem permitido instalar, são na sua esmagadora maioria equipamentos denominados de convencionais, que recorrem à utilização de máquinas com ciclo de compressão, que como o nome indica utilizam compressores que são movidos a eletricidade.

Perante este cenário comprova-se que de um modo geral a população portuguesa é muito dependente da utilização de combustíveis de origem fóssil, o que cria três problemas clássicos que poderiam ser minimizados, e em alguns casos mesmo eliminados, como o da contribuição para a redução das emissões de gases com efeito de estufa, diminuir a dependência energética promovendo a autossuficiência, e reduzir a sua fatura energética anual.

1.1.2 Caracterização

Neste estudo pretende-se comprovar que é possível contribuir para minimizar os impactos dos três problemas referidos, com recurso à instalação de um conjunto de sistemas que utilizam a energia da radiação solar, para satisfazer as necessidades de conforto habitacional de uma moradia unifamiliar. Para tal será efetuada uma avaliação de natureza técnica e económica da capacidade de funcionamento de equipamentos desta natureza.

O objetivo principal deste trabalho consiste na realização de uma simulação anual do desempenho de um sistema composto por colectores solares combinados de forma a produzirem água quente sanitária, e proporcionarem também o aquecimento e arrefecimento para climatização ambiental de uma habitação unifamiliar.

Realizar-se-á um estudo de modo a poder quantificar o consumo de água quente sanitária, e as necessidades de aquecimento e arrefecimento do ambiente de um edifício de habitação unifamiliar ao longo do ano.

Para o aproveitamento energético do calor, será executada uma pesquisa dos diversos equipamentos existentes no mercado que usualmente são utilizados.

Para a realização deste estudo serão utilizados diferentes ferramentas de cálculo, de modo a auxiliar o desenvolvimento do trabalho. O desenho técnico que for necessário será efetuado em *Autocad e SketchUp*, para a simulação térmica dinâmica do edifício será utilizado o *software EnergyPlus*, e para a simulação dos sistemas solares térmicos será utilizado *SolTerm*.

1.2 Principais contribuições esperadas com este trabalho

Tal como referido anteriormente este trabalho irá tentar demonstrar que é possível suprir as necessidades de água quente sanitária, bem como proporcionar a instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento que utilizam equipamentos que recorrem à radiação da energia solar como principal fonte energética. A utilização da energia solar para os processos referidos de climatização e de produção de água quente sanitária poderá ser uma forma de contribuir para a aplicação efetiva do Plano Nacional para a Eficiência

Energética e Energias Renováveis, de 10 de Abril de 2013, no qual foram definidos os objetivos primordiais até 2016 de:

- Duplicação da poupança energética através do Sistema de Eficiência Energética dos Edifícios, com o objetivo de poupar 160.745 tep;
- Aumentar em 72% a poupança energética através da instalação de equipamento solar térmico ao abrigo do programa Renováveis na Hora, para produzir 73.607 tep.
- Instalação de 2.214.282 m² de sistemas solares térmicos até 2020.

2 Breve levantamento da situação energética atual

A escolha deste tema do trabalho reside no facto de que o consumo energético em Portugal é muito dependente da utilização de combustíveis de origem fóssil, incluindo a que é utilizada também na produção de energia eléctrica. Por sua vez a eletricidade é ainda muito utilizada para a produção de calor em equipamentos de uso doméstico. Sucede que muitas destas necessidades poderiam ser, quase na totalidade, supridas recorrendo à utilização de fontes de origem renovável, nomeadamente a partir do aproveitamento da radiação solar através de colectores solares, equipamento de baixo custo e de simples utilização.

2.1 Políticas Energéticas

Nos últimos anos a nível europeu várias foram as políticas aprovadas para melhorar a eficiência energética dos estados membros:

A Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, determinou que os Estados Membros adotassem, e procurassem atingir, até 2016, um objetivo global nacional indicativo de economia de energia de 9% através da promoção de serviços energéticos e da adoção de outras medidas de melhoria da eficiência energética.

•Estratégia Europa 2020 e iniciativa “Uma Europa eficiente em termos de recursos”. Neste âmbito, os Estados Membros comprometeram-se ainda a, até 2020, reduzir as

emissões de gases com efeitos de estufa em 20%, aumentar em igual percentagem a proporção de fontes de energia renováveis no cabaz energético da União Europeia (UE) e alcançar a meta de 20% estabelecida para a eficiência energética.

- Plano de Eficiência Energética de 2011;
- Roteiro de Transição para uma Economia Hipocarbónica Competitiva em 2050;
- Directiva 2010/31/UE – desempenho energético dos edifícios;
- Directiva 2012/27/UE - quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética na UE. Neste contexto, a Diretiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Outubro de 2012, transposta para o ordenamento jurídico nacional pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 30 de Abril, estabeleceu um novo enquadramento que promove a eficiência energética na UE e define ações que concretizem, por um lado, as propostas incluídas no Plano de Eficiência Energética de 2011 e, por outro, as metas identificadas no roteiro de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050.

Para além da transposição das políticas Europeias, em Portugal também foram implementadas políticas públicas para a eficiência energética:

- Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015);
- Estratégia para a Eficiência Energética (que revogou a Estratégia Nacional para a Energia - ENE 2020);
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016). A maioria das preocupações que justificaram a aprovação da referida Diretiva n.º 2012/27/UE já se encontram consagradas na legislação nacional, em particular no que respeita ao Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013 -2016 (Estratégia para a Eficiência Energética — PNAEE 2016), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de Abril, projetando novas ações e metas para 2016 no sentido de dar resposta às preocupações relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020.

Assim sendo, o PNAEE 2016 passou a abranger seis áreas específicas (incluindo as áreas integradas no PNAEE 2008): Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. Estas áreas incluem um total de 10 (dez) programas que

integram um leque de medidas de melhoria da eficiência energética orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos.

- Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020).

- Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) – RCM n°2/2011, de 12 de Janeiro e enquadrado na revisão do PNAEE (aprovada pela RCM n° 20/2013, de 10 de Abril);

- Planos Sectoriais de Baixo Carbono (RCM n° 93/2010, de 26 de Novembro).

Em alguns casos as políticas nacionais foram ainda mais ambiciosas que as próprias directivas da União Europeia, nomeadamente do que diz respeito à introdução de fontes de energia renovável no Consumo Final Bruto de Energia 31% contra os 20% propostos pela UE, a mesma situação aconteceu com Redução do Consumo de Energia Primária em 25% geral e 30% no caso específico da Administração Pública, relativamente aos 20% propostos pela União Europeia.

2.2 Eficiência energética em edifícios

Na Europa cerca de 40% da energia final é consumida pelo sector dos edifícios. Contudo se forem aplicadas de medidas eficiência energética, é possível reduzir esse consumo em 50%, o poderia significar também uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO2 emitidas para a atmosfera, indo em linha de conta com o compromisso da União Europeia no âmbito do acordo do Protocolo de Quioto.

Com o objetivo de implementar medidas que visem promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, tem sido desenvolvidas regras e legislação a aplicar nos Estados-Membros da EU. (ADENE)

Em Portugal foi implementado o Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) que veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da

envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impôs limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacte em termos de energia primária. Esta legislação estabeleceu a instalação de painéis solares térmicos e a valorização da utilização de outras fontes de energia renovável.

Posteriormente foi substituído pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, que estabeleceu o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). O REH define os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

O mesmo Decreto-Lei implementou o Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, e integrou o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Mais recentemente o Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de Junho, veio proceder à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, nomeadamente a transposição para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

2.3 Dependência Energética

A dependência energética de Portugal é da ordem do 77% muito acima da média da União Europeia a 27 que é de 54 %, recaindo sobretudo na importação de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão. Os maiores consumos realizam-se nos sectores dos transportes (37,5%) e da indústria (30,5%), aos quais se segue o sector doméstico (17,7%). (DGEG-Renovaveis, 2016)

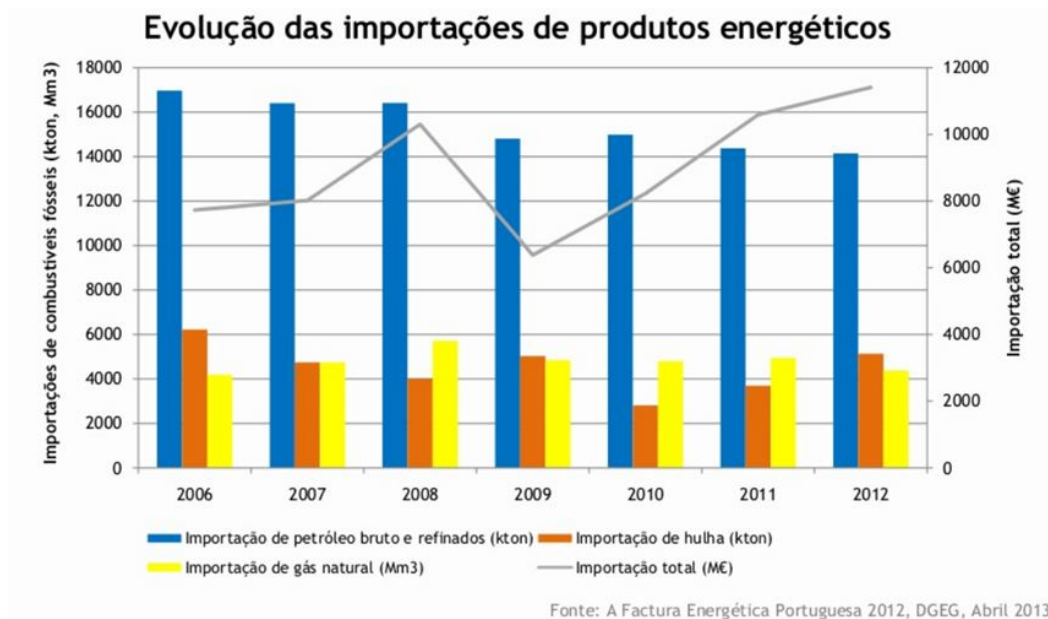
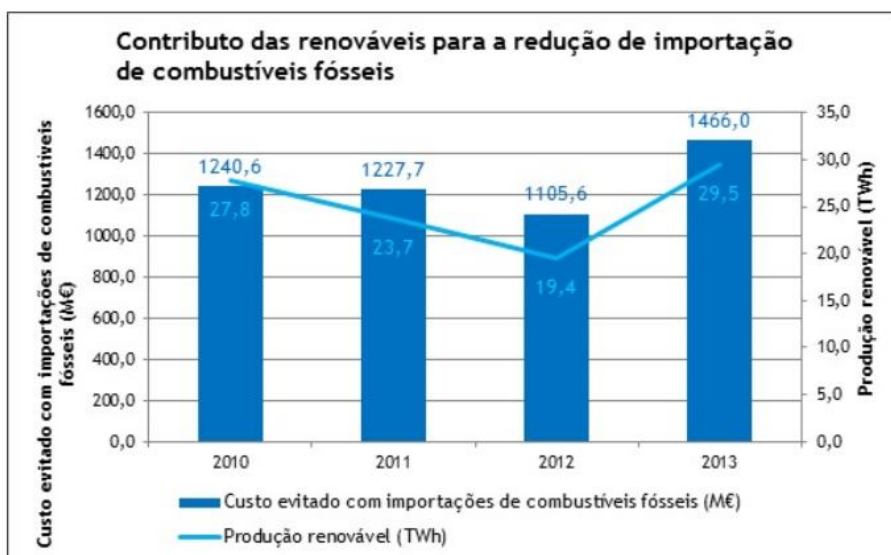


Gráfico 2.1 – Evolução das importações de produtos energéticos

2.3.1 Produção de energia eléctrica em Portugal

Em Portugal, no período entre Julho de 2015 e Junho de 2016, a energia eléctrica produzida a partir de fontes de origem renovável representou 61,4% do total da produção bruta mais o saldo do importador, a componente hídrica contribuiu com 49,03%, o sector das eólicas foi responsável por 38,26%, a biomassa produziu 7,03% e a fotovoltaica gerou 2,34%. No ano de 2014 o contributo das energias renováveis foi de 61,30% e em 2015 o valor foi de 47,60% do total. (DGEG-Renovaveis, 2016)

Quanto à energia produzida a partir de fontes não renováveis, as centrais a carvão foram responsáveis pela produção de 23% do consumo, as centrais a gás natural 13%, e foram importados 2% da energia eléctrica. (DGEG-Renovaveis, 2016)



Fonte: APREN

Gráfico 2.2 – Contributo das energias renováveis (APISOLAR, 2014)

Em 2014 a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, permitiu que Portugal ocupasse o terceiro lugar ao nível dos países da União Europeia, este facto deve-se sobretudo à contribuição da produção de origem hídrica e eólica. (DGEG-Renovaveis, 2016)

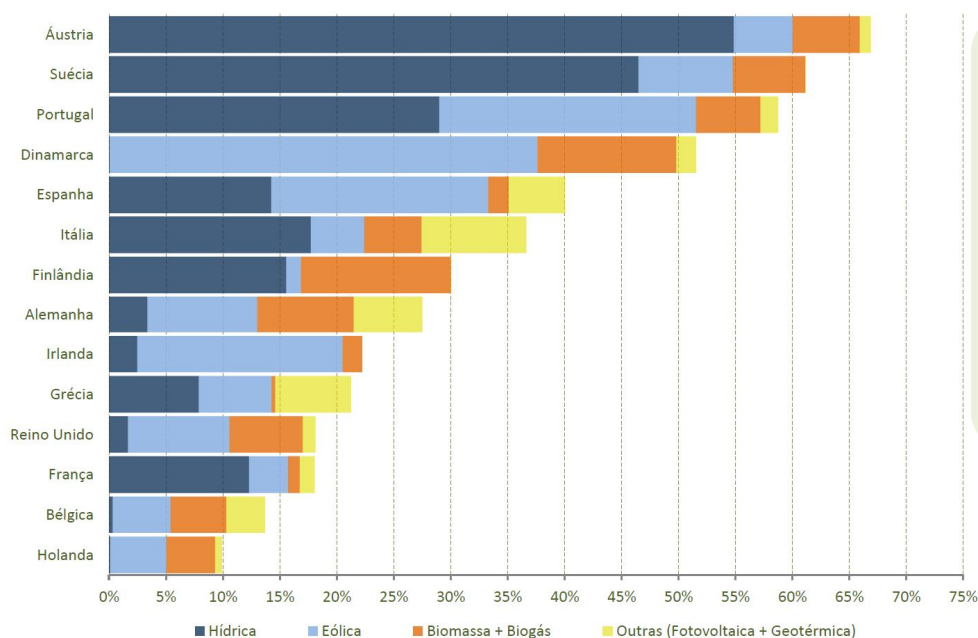


Gráfico 2.3 - Produção de energia eléctrica renovável em países da EU em 2014 (DGEG-Renovaveis, 2016)

3 Aproveitamento da energia solar

O sol é a maior fonte de energia disponível na Terra, e indispensável à existência da vida, estando na origem de quase todas as fontes de energia primária (energia eólica, biomassa, energia hidroelétrica e até combustíveis fósseis), é uma das energias mais amigas do ambiente, inesgotável numa perspetiva humana. A energia que é irradiada pelo sol, durante 15 minutos, é superior à energia utilizada a nível mundial, durante um ano. (ALTENER, 2004)

A energia que é irradiada pelo sol para a atmosfera terrestre é praticamente constante com um valor médio de 1.367 W/m^2 , correspondendo aproximadamente, à radiação emitida por um corpo negro a 5.762K (cerca de $5.500 \text{ }^\circ\text{C}$). (Cengel, 2001)

Toda a zona sul da Europa apresenta uma elevada incidência de radiação solar, cerca de 3 mil horas de sol por ano em algumas regiões, desta forma posiciona-se como a melhor região para a exploração da tecnologia solar, e Portugal tal como a Espanha, Itália e Grécia, é um desses países com maior potencial de aproveitamento da energia solar.

No entanto o país não tem aproveitado este recurso renovável de forma apropriada quando comparado com os outros países, inclusive até com alguns outros países do centro da Europa com potencial muito menor que o nosso, mas que têm feito investimentos muito maiores. Com a implementação de nova legislação com o objetivo de alterar esta situação, tem sido notório o aumento da instalação de sistemas de aproveitamento da energia solar, de natureza fotovoltaica e sobretudo para utilização do calor produzido no aquecimento de água quente sanitária, que tem crescido muito não apenas no diz respeito à sua instalação em novas construções, como também na aplicação em edifícios já existentes.

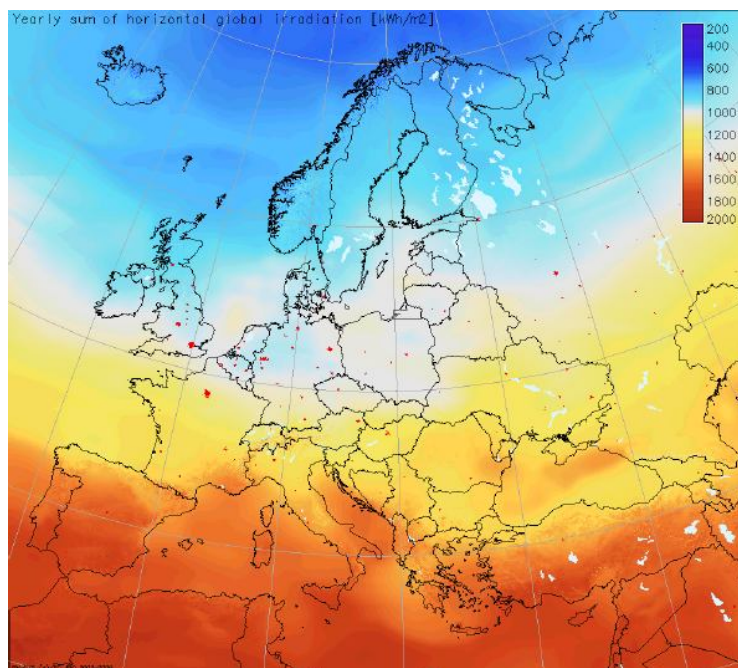


Figura 3.1 – Mapa da incidência da radiação solar na Europa (LNEG)

O valor do somatório da média anual da irradiação solar global, é aproximadamente 1.400 kWh/m² em Vila Real e 1.700 kWh/m² em Faro, esta variação da radiação solar não é muito significativa quando utilizada em sistema solares para aquecimento de água (LNEG).

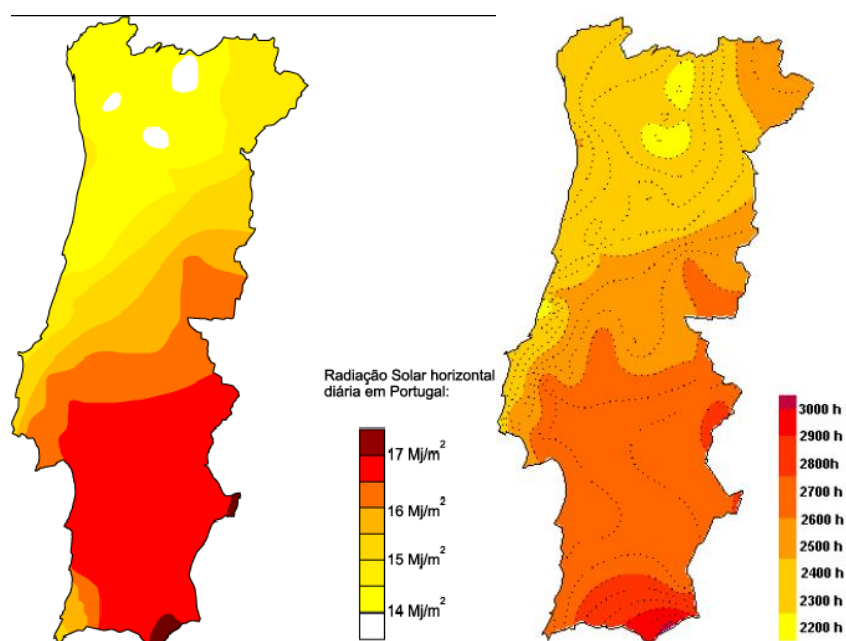


Figura 3.2 – Radiação solar e horas de sol em Portugal – (Altas do Ambiente)

3.1 Conceitos relevantes

3.1.1 Corpo negro

Um corpo negro é uma superfície ideal que emite um nível máximo de radiação. A radiação de corpo negro a uma temperatura absoluta T_s de um corpo com superfície A é dada pela lei de Stefan-Boltzmann. (Cengel, 2001)

$$Q_{\text{emit,máx}} = \sigma A T_s^4$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann.

A radiação de corpo negro serve como referência na comparação à radiação emitida para avaliação das propriedades radiantes dos corpos reais, que é sempre inferior à primeira para a mesma temperatura. A radiação emitida por uma superfície real pode ser representada da seguinte forma: (Cengel, 2001)

$$Q_{\text{emit}} = \epsilon \sigma A T_s^4$$

Em que ϵ é a emissividade.

3.1.2 Emissividade

A emissividade é a razão entre a radiação emitida e a radiação absorvida por um corpo negro à mesma temperatura:

$$\epsilon = \frac{\text{Radiação emitida}}{\text{Radiação absorvida por um corpo negro à mesma temperatura}}$$

A emissividade é um fator de comparação entre uma superfície real e um corpo negro, e varia entre $0 \leq \epsilon \leq 1$ sendo que 1 é a emissividade de um corpo negro. (Cengel, 2001)(Chapman & Watson, 2004)

3.1.3 Absorção

A absorção é a capacidade de um corpo absorver radiação. O grau de absorção reflete a quantidade de radiação que é absorvida a partir de toda a radiação incidente e o seu valor varia entre $0 < \alpha < 1$. (Cengel, 2001)

$$\alpha = \frac{\text{Radiação absorvida}}{\text{Radiação incidente}}$$

Desta forma, caso uma placa de absorção se comportasse realmente como um corpo negro absorveria 100% da radiação incidente. (Kaltschmitt, Streicher, & Andreas, 2007) (Chapman & Watson, 2004)

3.1.4 Reflexão

O grau de reflexão é dado pela relação entre a radiação refletida e a radiação incidente:

$$\beta = \frac{\text{Radiação reflectida}}{\text{Radiação incidente}}$$

3.1.5 Transmissão

O grau de transmissão resulta da relação entre a radiação transmitida e a radiação incidente:

$$\tau = \frac{\text{Radiação transmitida}}{\text{Radiação incidente}}$$

Estas variáveis dependem do material e do comprimento de onda da radiação e a soma das variáveis β , α e τ , para determinado material é igual a 1. (Kaltschmitt, Streicher, & Andreas, 2007)

3.2 Área instalada de colectores solares

3.2.1 Na União Europeia

Ao nível da União Europeia a Alemanha é quem regista de longe a maior área de colectores solares instalados, fruto de uma política existente há largos anos, e pelo facto de ser também um país extenso, embora não disponha de tanta intensidade de radiação como os países do sul. O segundo país com maior área de colectores instalados é a Áustria, o que não deixa de ser surpreendente, uma vez que se trata de um país pequeno localizado numa zona com pouca disponibilidade de radiação. De salientar também a Polónia que apresenta características idênticas à Alemanha embora com uma área muito menor de colectores instalados.

	2013		2014		2015	
	m2	MWh	m2	MWh	m2	MWh
Alemanha	17 222 000	12 055	17 987 000	12 591	18 625 000	13 038
Austria	5 054 698	3 538	5 165 107	3 616	5 221 342	3 655
Grecia	4 164 025	2 915	4 287 775	3 001	4 390 375	3 073
Italia	3 700 000	2 590	3 781 739	2 647	4 012 327	2 809
Espanha	3 197 379	2 238	3 452 473	2 417	3 693 638	2 586
França	2 575 000	1 803	2 820 000	1 974	2 942 000	2 059
Polonia	1 485 000	1 040	1 741 497	1 219	2 018 497	1 413
Portugal	1 024 004	717	1 133 965	794	1 180 099	826
Dinamarca	786 000	550	943 761	661	1 128 761	790
Republica Checa	972 299	681	1 045 542	732	1 106 542	775
Reino Unido	678 897	475	683 101	478	703 342	492
Chípre	681 157	477	670 624	469	659 224	461
Holanda	879 423	616	643 832	451	647 397	453
Belgica	534 628	374	585 128	410	630 628	441
Suecia	488 000	342	470 022	329	467 333	327
Irlanda	280 379	196	299 141	209	322 638	226
Hungria	196 109	137	213 723	150	230 089	161
Eslovenia	211 574	148	215 199	151	218 824	153
Romenia	157 385	110	176 055	123	194 725	136
Croacia	140 600	98	167 092	117	188 619	132
Eslovaquia	161 050	113	164 420	115	171 420	120
Bulgaria	83 600	59	84 200	59	84 800	59
Luxembourgo	39 131	27	51 072	36	54 609	38
Finlandia	46 413	33	50 013	35	53 513	37
Malta	50 008	35	49 976	35	50 904	36
Letónia	17 350	12	19 010	13	21 370	15
Lituania	10 950	8	13 550	9	15 750	11
Estonia	7 920	6	10 120	7	12 120	8
Total EU 28	44 844 979	31 391	46 925 137	32 848	49 045 886	34 330

Tabela 3.1 - Evolução da área de coletor solares instalada e a energia produzida na UE.
(Euroserv'Er-14, 2015) (Euroserv'Er-15, 2016)

3.2.2 *Em Portugal*

A capacidade instalada em 2013 era de 1.024.004 m² (716.803 kWh), distribuída em termos de tipologia de sistemas: 16% dos sistemas são colectores individuais, 42% são sistemas em termossifão e 42% são sistemas forçados. Sendo que 85% dos colectores individuais destinam-se ao uso habitacional e 15% são aplicados no sector terciário (piscinas, hotéis, etc.) (APISOLAR).

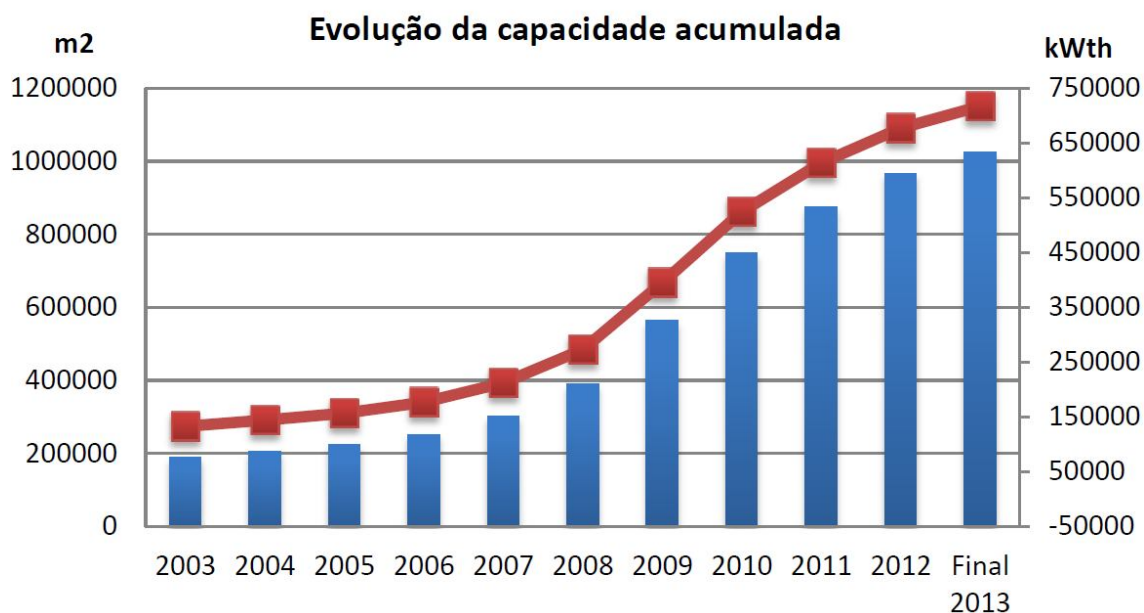


Gráfico 3.1 – Evolução da instalação de painéis solares em Portugal (APISOLAR)

4 Tecnologias existentes

4.1 Sistemas de aquecimento de água

4.1.1 Colectores

Os colectores solares são o equipamento principal de qualquer sistema de aproveitamento da radiação solar e na sua conversão em energia térmica.

Um coletor solar é um dispositivo que capta a radiação eletromagnética proveniente do Sol convertendo-a em energia térmica que é transferida a um fluido de trabalho, como água, ar ou fluido térmico.

Existem atualmente diversos fabricantes de painéis solares, que disponibilizam no mercado diferentes modelos e com tecnologias diferenciadas, que apesar de apresentarem características distintas permitem obter resultados muito parecidos, sendo que a sua escolha dependerá principalmente da temperatura de operação requerida. No entanto é de referir que para o sector habitacional o mercado assenta sobretudo em três tecnologias, Coletor Solar Plano, Coletor Concentrador Parabólico Composto (CPC) e o Coletor de tubos de vácuo.

4.1.1.1 Instalação de colectores

Quando se pretende implementar uma determinada área de colectores solares, para além da escolha acertada dos equipamentos e acessórios instalar, e do modo preciso como se procede à sua instalação, é extremamente importante também proceder á correta orientação dos colectores, de modo que se obtenha o maior rendimento possível da exposição solar.

Deverá ser tida em conta a localização onde se pretende instalar os colectores, de forma que a exposição solar seja a mais abrangente possível, e verificar a existência ou não de edifícios, vegetação ou outros objetos passivos de causar sombreamento de superfície dos colectores. Outra questão fundamental é conhecer as coordenadas geográficas do local, de modo a poder calcular a inclinação mais favorável para a montagem dos colectores.

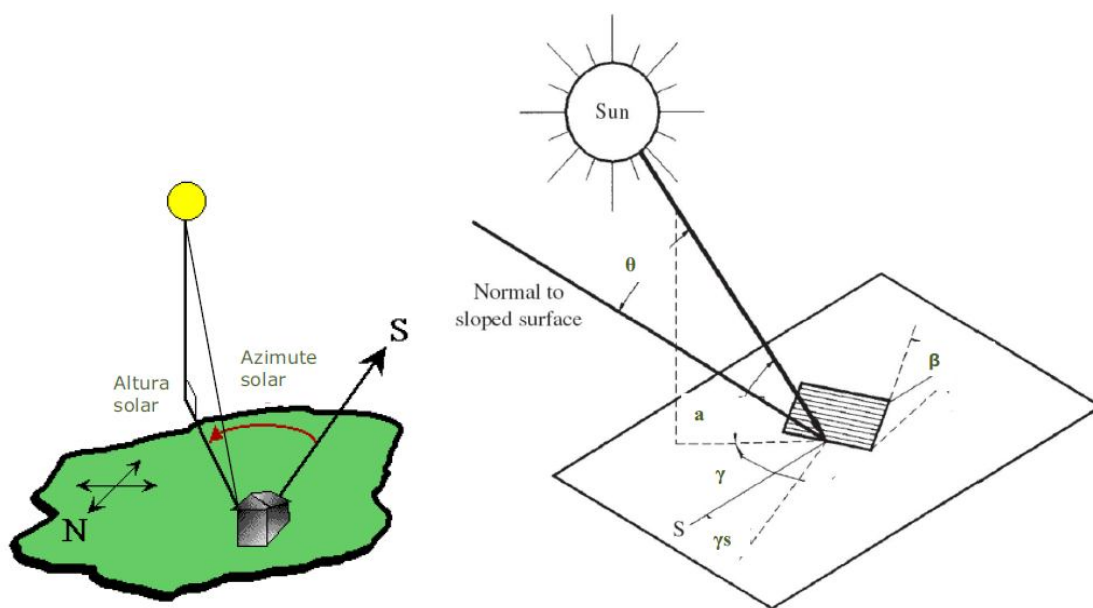


Figura 4.1 - Ângulos de incidência solar (Inverno)

Altura solar (α) – é o ângulo que a direção do raio solar faz com a direção do horizonte.

Azimute solar (γ_s) – é o ângulo entre a projeção horizontal do raio solar e a direção Sul, positivo para Oeste.

Inclinação da superfície do coletor (β), ou seja o ângulo entre a superfície e a horizontal; varia entre 0 e 180°. Quando for superior a 90° (superfície vertical) a superfície esta inclinada para baixo;

Azimute da superfície (γ), isto é, o desvio da projeção no plano horizontal da normal à superfície, desde o meridiano local, sendo zero para a direção Sul, positivo para Oeste e negativo para Este.

Para além dos fatores referidos anteriormente, outro cuidado a ter é também o sombreamento provocado pelos próprios colectores, quando os mesmos são dispostos em filas contíguas. Desta forma a separação entre filas de colectores deverá ser de tal forma que às 12 horas solares do dia mais desfavorável (altura solar mínima no solstício de 21 Dezembro) a sombra da aresta superior duma fila, só se poderá projetar no máximo sobre a aresta inferior da fila posterior. (Costa & Lebeña, 2008).

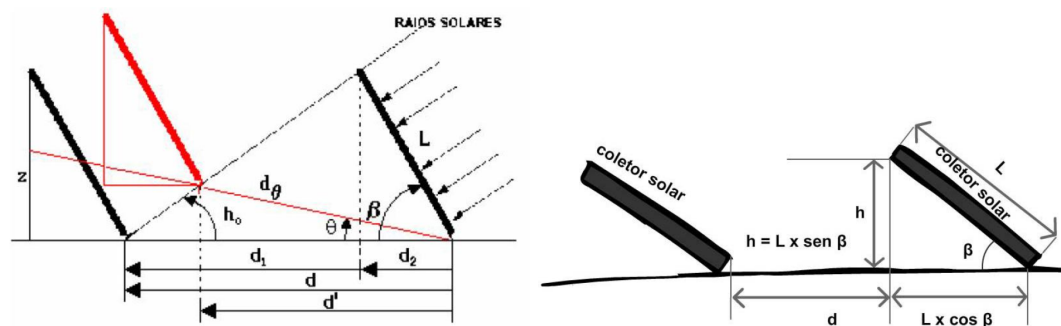


Figura 4.2 - Sombreamentos entre filas de colectores (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

Para calcular a distância correta “d” entre filas de colectores pode ser utilizada a seguinte equação:

$$d = L \cdot \left[\frac{\text{sen}(\beta)}{\tan(90^\circ - \text{lat} - 23,5^\circ)} + \cos(\beta) \right]$$

4.1.1.2 Sistemas com circulação natural

Nos sistemas com circulação natural, a movimentação do fluido térmico faz-se por convecção natural, quando a temperatura no coletor solar aquece suficientemente de forma a estabelecer uma diferença de densidades no fluido que percorre o coletor e o tanque. Enquanto existir radiação solar suficiente, este processo é contínuo, com o aumento dos ganhos a originar o aumento do caudal no circuito. No caso da radiação existente não ser suficiente ou a temperatura no coletor não for superior à do depósito, não existe circulação de fluido. Para os sistemas de termossifão, os colectores não podem ultrapassar uma determinada inclinação para garantir o seu correto funcionamento.

4.1.1.3 Sistemas com circulação forçada

Em sistemas com circulação forçada, a movimentação do fluido térmico que é aquecido no coletor solar, é efetuada com o auxílio de uma bomba de circulação até ao permutador de calor do depósito de armazenamento. Neste sistema é necessário a instalação de um vaso de expansão e uma válvula de segurança.

Nos sistemas de circulação forçada como o caudal é superior permite retirar maior rendimento do coletor.

4.1.1.4 Tipos de painel solar térmico

4.1.1.4.1 Coletor Solar Plano

Um coletor solar plano é composto basicamente por uma caixa retangular plana, isolada na parte inferior e nos lados, e com uma cobertura transparente na parte superior em vidro ou plástico acrílico, que contem no seu interior um placa absorvedora unida uma serpentina de tubos onde circula o fluido térmico.

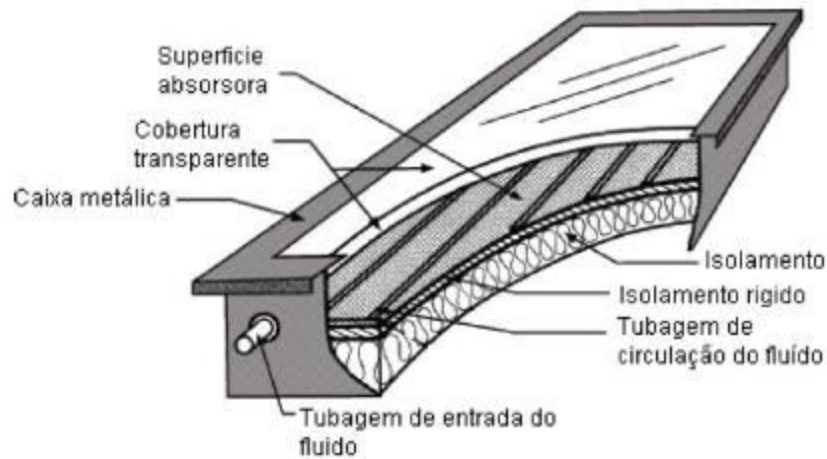


Figura 4.3 - Corte num Coletor Plano (Adaptado de (ASHRAE, 2008))

Principais componentes:

Caixa externa - Usualmente fabricada em perfil de alumínio, chapa dobrada ou material plástico, que tem como finalidade proteger os componentes do vento, da chuva, das poeiras e outros elementos prejudiciais ao seu bom funcionamento. (ALTENER, 2004)

Isolamento térmico - Para reduzir as perdas de calor para o ambiente, através de condução térmica, entre a caixa e a placa absorvedora existe uma camada isolante. Este isolamento deve resistir a temperaturas entre 150 a 200 °C (quando está parado), sem derreter, encolher ou libertar gases que possam dar origem a eventuais condensações no interior do coletor ou mesmo a corrosão das superfícies metálicas, sem que possam diminuir claramente a eficiência. Os materiais mais utilizados são: poliuretano, a lã de vidro, sendo a fibra mineral das mais indicadas para suportar estas temperaturas. (INETI, 2008)

Placa absorvedora – É o principal componente de um coletor plano, e consiste numa chapa metálica com uma elevada absorvância, fabricada em alumínio ou cobre com revestimento preto-baço ou com revestimento seletivo, à qual estão fixados tubos em cobre. De entre os principais tipos de placas é destacar: Absorvedor de alumínio roll-bond; Faixas absorvedoras de alumínio com tubos de cobre prensados; Absorvedor com sistema de tubos prensados entre duas chapas; Absorvedor com um sistema de tubos soldados numa chapa de metal; Absorvedor de aço inoxidável no qual o líquido absorvedor passa através de toda a superfície; Absorvedor de serpentina (superfície-total).

A partir da absorção da radiação é gerado calor, que é transferido da chapa metálica para os tubos de escoamento, nos quais circula o fluido de transferência térmica que transporta o calor para os tanques de armazenamento. (ALTENER, 2004)

Cobertura transparente - Para além de assegurar a estanquicidade do coletor, deve possuir também características que permitam uma elevada transmissão de luz e uma baixa reflexão durante a vida útil. Permite criar o efeito de estufa no interior da caixa, e minimizar as perdas de calor por convecção e radiação para o meio ambiente.

Sendo constituída normalmente por vidro, policarbonato ou acrílico. Como forma de atenuar as perdas por convecção, é aplicada geralmente uma película fina transparente entre a cobertura de vidro e o absorvedor. Sendo o teflon o melhor material para esse fim, uma vez que tem uma transmissividade alta e resiste bem termicamente. (IP-AQSPP, 2004)

Vantagens e desvantagens dos colectores planos

Vantagens:

Mais barato que um coletor de vácuo e parabólico composto;

Oferece múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre;

Tem uma boa taxa de preço/performance;

Permite montagem simples (kits de construção de coletor).

Desvantagens:

Apresenta menor eficiência em relação aos colectores de vácuo e colectores parabólicos compostos (CPCs) devido aos elevados valores de UL;

Não serve para gerar altas temperaturas, como geração de vapor, e fornecimento de calor para máquinas de refrigeração;

Exige mais espaço no telhado do que os colectores de vácuo.

4.1.1.4.2 Coletor Concentrador Parabólico Composto (CPC)

Quando comparados com os colectores planos, a grande diferença está na forma como é constituída a sua superfície absorvedora. Se no caso dos colectores planos existe uma área de absorção onde estão fixos os tubos de circulação, já para os CPC a superfície absorvedora é mais reduzida em comparação com a área de captação, tendo em conta que as perdas térmicas são proporcionais à área do absorvedor e não à área de captação, o que permite uma maior eficiência dos colectores CPC. (ALTENER, 2004) (IP-AQSPP, 2004)

A superfície absorvedora é composta por duas alhetas unidas ao tubo do fluido e colocadas sobre uma superfície refletora de elevado nível de refletividade e com um ângulo de abertura que capta a radiação solar incidente. Desta forma a radiação solar direta e difusa incide nos tubos e nas duas faces das alhetas. (ALTENER, 2004) (IP-AQSPP, 2004).



Figura 4.4 - Pormenor de corte de Coletor CPC (AO-SOL, 2006).

O processo de funcionamento consiste na concentração da radiação solar na placa absorvedora, de duas formas diferentes de absorção da radiação. A absorção direta dos raios solares que incidem na zona superior das alhetas, como se processa nos colectores planos, e outra acontece na parte inferior do absorvedor, em que os raios solares ao atingirem a superfície parabólica são refletidos para face inferior das alhetas ou diretamente para o tubo, permitindo desta forma o aumento da temperatura do fluido térmico. (ALTENER, 2004)

Uma vez que estes colectores tem uma área de absorção menor, composta apenas pelos tubos e pela superfície das alhetas, as suas perdas de calor também são menores. O que significa que o rendimento térmico também é superior aos planos.

Tal como nos colectores planos, o rendimento ótico é de aproximadamente 70%, contudo o coeficiente de perdas ($F'UL$), é inferior a 3,5 [W/m²K]. (ALTENER, 2004)

Vantagens e desvantagens de um CPC

Vantagens

Elevada eficiência mesmo com elevadas diferenças de temperaturas entre o absorsor e o meio envolvente (p. ex. no verão);

Elevada eficiência para baixa radiação (p. ex. Inverno);

Suporta utilizações de calor com maior eficiência comparativamente com os colectores planos;

Trabalha com temperaturas elevadas, p. ex. para condicionamento de ar.

Desvantagens

Custos mais elevados relativamente aos colectores planos.

4.1.1.4.3 *Coletor de tubos de vácuo*

Um coletor de tubo de vácuo é constituído por um conjunto de tubos ligados entre si pelo topo através de um distribuidor ou caixa coletora onde se situa o isolamento e as linhas de alimentação e retorno.

As placas absorsoras instaladas no interior dos tubos de vácuo podem ter o formato plano, convexo ou cilíndrico.

De modo a eliminar as perdas de calor por convecção, a pressão dentro dos tubos de vidro deve ser no mínimo de 10-2 bar, mas um valor superior de evacuação reduz as perdas por condução térmica, sendo usual os tubos de vácuo serem evacuados abaixo dos 10-5 bar. Desta forma as perdas de calor para a atmosfera são significativamente reduzidas, de

salientar que mesmo com uma temperatura de absorção de 120 °C, os tubos de vidro permanecem frios no seu exterior. (ALTENER, 2004)

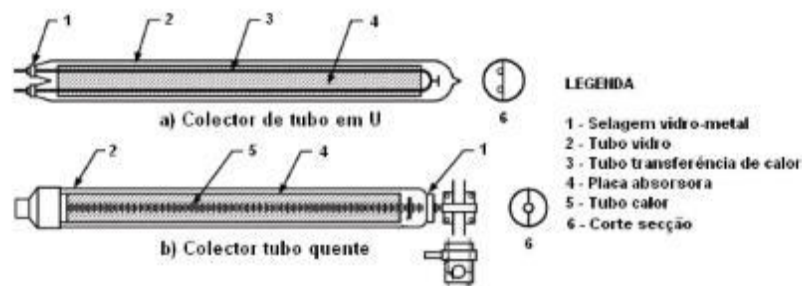


Figura 4.5 - Tubo de Vácuo adaptado (ASHRAE, 2008)

No que diz respeito eficiência ótica, deste tipo de coletor, os valores apresentados são inferiores aos dos coletores planos, sendo para os coletores de vácuo entre 0,6 a 0,8, devido à forma do tubo, contudo o seu melhor isolamento térmico diminui o valor global das perdas térmicas $UL < 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ALTENER, 2004).

Um sistema composto por coletores de vácuo apresenta uma eficiência anual média entre os 45 e 50%, o que proporciona uma produção de energia de 450 a 500 $[\text{kWh/m}^2]$ para uma radiação solar anual de 1000 $[\text{kWh/m}^2]$ (INETI, 2008)

São dois os tipos de coletores de tubos de vácuo existentes: de escoamento direto e tubo de aquecimento

Coletores de tubos de vácuo de fluxo direto

O fluido de transferência de calor é encaminhado através de um sistema de tubo-entretubo (tubos coaxiais ou em forma de U) para a base do absorvedor onde flui para a caixa coletora, aumentando a temperatura do fluido. Estes coletores podem ser orientados a sul ou montados horizontalmente numa cobertura plano.

Tubos colectores de calor

Dentro do tubo de vácuo é colocado um revestimento seletivo de metal com propriedades de condutor-térmico, ligado a um tubo de aquecimento. No tubo de aquecimento é colocado álcool ou com água em vácuo, que evapora a partir dos 25 °C. O vapor que é criado sobe, transferindo calor por condensação através do permutador de calor para o fluido de transferência de calor. O fluido condensado arrefece e volta a descer para ser novamente aquecido. (ALTENER, 2004)

Vantagens e desvantagens dos colectores

Vantagens

Atinge elevadas temperaturas, possibilitando a utilização em sistemas de ar condicionado e produção de vapor;

Apresenta baixas perdas térmicas;

Grande flexibilidade de integração arquitetónica (fachadas verticais);

Apresenta boa eficiência, mesmo com elevadas diferenças de temperatura entre o absorvedor e o meio envolvente (no verão); As cargas térmicas são suportadas com mais eficiência que nos colectores planos;

Apresenta boa eficiência com baixa radiação (no inverno);

Suporta utilizações de calor com maior eficiência comparativamente com os colectores planos;

Trabalha com temperaturas elevadas, p. ex. para condicionamento de ar.

Através da afinação das placas absorvedoras (na montagem, na fábrica ou durante a instalação) estas podem ser alinhadas em direcção ao sol (no caso de certos produtos);

Colectores de tubos de fluxo-direto podem ser montados horizontalmente num telhado plano, providenciando menores perdas térmicas, devido ao vento e menores custos de instalação evitando-se a remoção de material do telhado e mantendo a sua estrutura intacta. (ALTENER, 2004)

Desvantagens

Custo mais elevado em relação aos colectores planos;

Temperaturas elevadas de estagnação (podendo ultrapassar os 300°C), o que obriga a uma particular atenção relativamente aos materiais e acessórios empregados no circuito primário;

Não pode ser utilizado numa instalação no telhado;

Não pode ser usado para instalações horizontais no caso dos sistemas de tubos de aquecimento (inclinação no mínimo 25°).

Quando se pretende obter um maior volume de água quente, será necessário aumentar a área de colectores, para proceder à instalação de vários colectores no mesmo circuito, será necessário associa-los entre si de um dos três modos possíveis: em serie, paralelo ou mista.

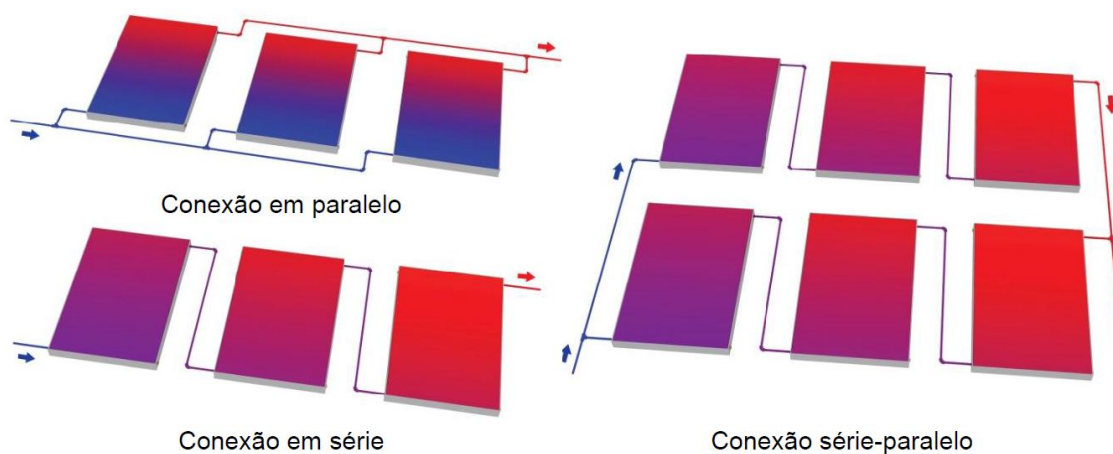


Figura 4.6 - Modo de associação de colectores solares (ABRINSTAL, 2011)

Rendimento instantâneo de um coletor solar

Eficiência térmica de um coletor solar, é definida como a razão entre a taxa de transferência de calor para a água, denominado calor útil, e a taxa de energia solar incidente no plano do coletor, podendo ser definida pela equação seguinte:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{A_{\text{Coletor}} \times G_{\text{Total}}}$$

Em que:

G_{Total} : irradiação solar global instantânea incidente no plano do coletor, expressa em W/m²;

A_{Coletor} : área da superfície do coletor, em m²;

$Q_{\text{útil}}$: calor útil absorvido pela água, em W.

4.1.2 Reservatórios Térmicos

A quantidade de radiação solar disponível é variável ao longo do ano, não permitindo o seu controlo, o que provoca desfasamento entre a disponibilidade e as necessidades de energia térmica. Este desfasamento ocorre diariamente em consequência do dia e da noite, mas sobretudo devido aos efeitos sazonais do verão e inverno. Pelo que é necessário armazenar o calor solar quando ele é gerado para poder ser utilizado nos períodos em que é necessário. De uma forma algo utópica, o idealmente seria mesmo armazenar a energia térmica gerada durante o verão, e utilizar posteriormente no período de inverno. Contudo já estão a ser feitas algumas experiências com protótipos de tanques de armazenamento de calor através de processos químicos.

O dimensionamento de um reservatório de armazenamento varia consoante a necessidade de água quente diária, e com a área de colectores existentes. No caso do sector doméstico, os tanques tem uma capacidade entre 300 a 500 litros, podendo ser superior dependendo do uso, contudo o volume de armazenado deve ser reduzido ao mínimo necessário.

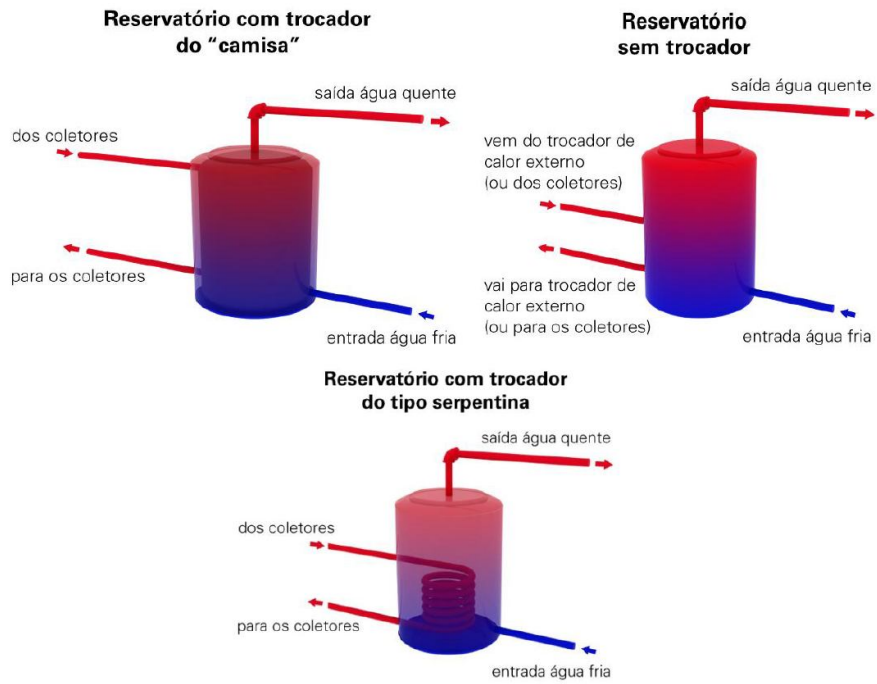


Figura 4.7 - Tipos de reservatórios térmicos (ABRINSTAL, 2011)

As temperaturas de funcionamento deveram permaneçam fora da faixa crítica de crescimento das bactérias, entre 20 e 50 °C. No caso da Legionella, a faixa ótima de crescimento está entre 35 e 46 °C, sendo instantaneamente destruída em temperaturas superiores a 70 °C. (ALTENER, 2004)



Figura 4.8 - Reservatório térmico de inercia

Um reservatório de armazenamento é composto por vários elementos.

Corpo interno - fica em contato direto com a água aquecida e, por isso, deve ser fabricado com materiais resistentes à corrosão, tais como:

Tanques de aço inoxidável - são mais leves e com menores necessidade de manutenção, mas mais caros em relação aos tanques de aço esmaltado. Contudo o aço inoxidável é mais sensível a águas com muito cloro.

Tanques esmaltados - tem que ser equipados com magnésio ou com um ânodo externo para proteção contra a corrosão.

Tanque de aço revestidos de plástico - são mais baratos, mas revestimento dos tanques apresentam sensibilidade a temperaturas superiores a 80 °C. (ALTENER, 2004)

Isolante térmico: minimiza as perdas de calor para o meio envolvente. Sendo colocado como revestimento da superfície externa do corpo interno.

Para garantir a eficiência dum tanque de armazenamento, é necessário ter um bom isolamento térmico, bem ajustado para evitar perdas por convecção, em materiais com condutividades térmicas de $\lambda < 0,035 \text{ W/mK}$, tais como lã de vidro ou espuma de poliuretano, devendo possuir uma espessura de 100 mm em toda a superfície lateral envolvente, e 150 mm na base e no topo do tanque. (ALTENER, 2004)

Proteção externa: funciona com proteção mecânica do isolante contra danos no transporte ou instalação, e evita exposição às intempéries, tais como humidade. Essa proteção é normalmente de alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado. (ALTENER, 2004)

Permutadores de calor internos

Os permutadores de calor internos podem ser em serpentina de tubos com alhetas ou tubos lisos de aço normal ou inox.

No permutador de calor de tubo liso, a energia é transmitida através da superfície do tubo ao meio envolvente, de modo mais uniforme porque as temperaturas da superfície do tubo e o fluido no seu interior são muito semelhantes.

No permutador de calor de tubos com alhetas a transmissão de calor para o meio envolvente é inferior devido à temperatura mais baixa nos terminais das alhetas.

Desta forma um metro quadrado de superfície no permutador de calor de tubo liso pode transmitir mais energia, do que um metro quadrado de superfície de um permutador de calor de tubo com alhetas. Contudo a área de superfície de um permutador de calor de tubo com alhetas aumenta significativamente, permitindo que um permutador de calor deste tipo com transmissão mais baixa por metro quadrado seja mais compacto do que um permutador de tubo liso, com o mesmo funcionamento, significando que troca mais calor por unidade de comprimento de permutador

Para o seu dimensionamento e para uma diferença de 10K na temperatura média logarítmica são válidas as seguintes fórmulas aproximadas:

Permutador de calor de tubo liso: 0,2 m² de superfície por m² do campo coletor.

Permutador de calor de tubo com alhetas: 0,3-0,4 m² de superfície por m² do campo coletor. (ALTENER, 2004)

4.1.3 Bombas de circulação

Sempre que as condições existentes não permitam fazer a circulação natural do fluido térmico entre o coletor solar e o depósito de armazenamento, é necessário recorrer à montagem uma bomba de circulação de fluido.

As bombas de circulação atuais são concebidas para elevados caudais volumétricos com baixas alturas manométricas, operando com baixa eficiência entre 2 a 7%. A sua instalação deve ser no sentido da linha de retorno, para que as cargas térmicas residuais sejam o mais pequenas possível. Para facilitar a sua substituição deverá ser montada entre duas válvulas de seccionamento. (ALTENER, 2004)

4.1.4 Válvula anti-retorno

Para precaver uma eventual circulação convectiva de fluido, quando a bomba de circulação não estiver em funcionamento, e evitar a saída de calor do tanque de armazenamento, é fundamental instalar uma válvula de anti-retorno, no fluxo de retorno entre a bomba e o coletor. (ALTENER, 2004)

4.1.5 Vaso de expansão

O vaso de expansão é um reservatório de metal fechado, que possui no seu interior uma membrana flexível que separa o nitrogénio a uma pressão pré-estabelecida, do fluido de transferência térmica que entra no vaso de expansão quando aquecido depois de aumentar a sua pressão. É instalado num ramal do circuito solar sem isolamento térmico, devendo ser ajustado para absorver o aumento de volume no fluido de transferência térmica quando este é aquecido e reencaminhá-lo novamente para o sistema depois de arrefecer, e deve de ter as dimensões suficientes para receber todo o volume de fluido existente no circuito. Na parte inferior do vaso existe uma válvula para controlo e definição da pressão de admissão. Existem disponíveis no mercado vasos de expansão com volume de 10, 12, 18, 25, 35 ... até aos 600 litros de capacidade. (ALTENER, 2004)



Figura 4.9 - Pormenor de vaso de expansão (ABRINSTAL, 2011)

Para determinar o volume de um vaso de expansão a colocar numa instalação de um circuito de abastecimento solar é utilizada a seguinte formula: (Caleffi, 2015)

$$V_n = \frac{e \times V_a}{1 - \frac{P_i}{P_f}}$$

Em que,

V_n - volume do vaso (l), a calcular

e - coeficiente de expansão da água, calculado com base na diferença máxima entre a temperatura da água com a instalação fria (T_1) e a máxima de funcionamento (T_2);

V_a - conteúdo total de água da instalação (l);

P_i - pressão absoluta inicial (bar), à cota a que é instalado o vaso, representada pela pressão hidrostática + 0,3 bar + pressão atmosférica (1 bar). Na prática é a pressão de pré-carga do vaso aumentada de 1 bar;

P_f - pressão absoluta final (bar) representada pela pressão máxima de exercício da instalação + pressão atmosférica (1 bar). Na prática é a regulação da válvula de segurança aumentada de 1 bar.

4.2 *Sistemas de arrefecimento*

Neste caso em que se disporá apenas da energia térmica acumulada a solução a que se recorrerá para o arrefecimento ambiente apenas se poderá basear em sistemas de absorção, ou adsorção

Num sistema de absorção, o calor retirado do permutador proveniente dos colectores solares, será utilizado para pôr em funcionamento, por exemplo um ciclo amoníaco/água ou um ciclo água/brometo de lítio, os quais são os mais utilizados

Este ciclo utiliza o calor como fonte de energia, ao contrário do ciclo por compressão, que utiliza a energia eléctrica para comprimir um gás.

Esse ciclo não utiliza um compressor nem tem partes móveis e é absolutamente silencioso.

Neste ciclo, se obtivermos uma fonte de calor a 85 °C já é suficiente para alimentar o ciclo por absorção, e dele se obter temperaturas de até 5 °C.

O consumo de energia eléctrica pode ser até 20 vezes inferior a um sistema clássico de compressão;

Os fluídos refrigerantes utilizados são inofensivos, utilizando-se normalmente água e soluções salinas;

Os sistemas de arrefecimento por energia solar permitem arrefecer os edifícios, praticamente sem impactes ambientais.

Neste contexto a utilização de energia solar para o arrefecimento é um conceito atrativo, pois as necessidades de arrefecimento coincidem, na maior parte do tempo, com a maior disponibilidade de radiação solar.

A Refrigeração utilizando o ciclo de absorção é produzida através da circulação de dois fluidos, o primário com fluido refrigerante, e o secundário ou absorvente utilizado para fazer circular o primeiro, aos quais é aplicada uma quantidade de calor, que pode ser proveniente do aproveitamento de calor residual ou de origem em fontes de energia renováveis, e com maiores benefícios ambientais.

No ciclo de compressão de vapor é utilizado um compressor mecânico para criar as diferenças pressão necessárias para fazer circular o fluido refrigerante. Seja no ciclo de absorção ou compressão de vapor, a remoção de calor é efetuada através da evaporação de um refrigerante a baixa pressão e a rejeição de calor através da condensação do refrigerante a uma pressão mais elevada. A grande diferença de funcionamento entre os dois ciclos está no método utilizado para produzir a diferença de pressão e de circulação do fluido refrigerante.

Os equipamentos de absorção atualmente disponíveis no mercado derivam basicamente duas configurações. Para utilizações com temperaturas abaixo de 0 °C, é utilizado o ciclo da água/amoníaco sendo aplicado o amoníaco como refrigerante e água como absorvente.

Para situações acima 0 °C, principalmente para equipamentos de ar condicionado, é empregado o ciclo que utiliza o brometo de lítio como o absorvente e água como fluido refrigerante.

Os chillers de absorção apenas necessitam de energia eléctrica para o funcionamento da bomba de circulação da solução, cuja potência eléctrica necessária é inferior a 1% da sua capacidade de refrigeração, enquanto nos sistemas por compressão a potência eléctrica representa entre 20% e 50% da capacidade de refrigeração. Pelo ao facto da bomba de circulação ser o único componente móvel de um chiller de absorção, permite reduzir os custos com a manutenção e prolongar a vida útil. (Benito, 2007) (CEEET)

Para descrever o desempenho de uma máquina de absorção, o parâmetro chave da eficiência e o Coeficiente de Performance (COP), definido como a razão entre o calor rejeitado do ciclo de arrefecimento de água e o calor requerido para o sistema funcionar: (Institute, 1998)

$$\text{COP}_{\text{térmico}} = \frac{Q_{\text{arrefecimento}}}{Q_{\text{aquecimento}}}$$

De salientar que quanto menor for o COP, maior quantidade de calor é exigida e também maior calor terá que ser rejeitado na torre de arrefecimento. No caso de um COP elevado a quantidade de calor a fornecer será menor bem como aquela que será rejeitada.

4.2.1 Chiller de Absorção de água e brometo de lítio

Na secção do gerador, é adicionada uma solução forte de água e brometo de lítio (LiBr+H₂O), que é aquecida por uma fonte de calor (vapor ou água quente), provocando a separação da solução em refrigerante (H₂O) e absorvente (LiBr). Como o fluido absorvente é a água que tem um ponto de ebulição mais baixo do que o absorvente (o brometo de lítio), com o calor do gerador a água passa ao estado gasoso, e o vapor resultante transita para o condensador, enquanto a solução de brometo de lítio altamente concentrada sai do gerador passa por uma válvula de expansão e vai para o absorvedor. (Deng, Wang, & Han, 2010) (CEEET)

No condensador, o vapor de água proveniente do gerador é condensado na superfície das serpentinas de arrefecimento, que extraem o calor da condensação através de um circuito de água de arrefecimento que circula entre o chiller e uma torre de arrefecimento. A água no estado líquido acumulada no condensador, passa e depois por uma válvula de

expansão, onde perde pressão e diminui ainda mais a temperatura por efeito Joule-Thomson até ao evaporador. (Deng, Wang, & Han, 2010) (CEEET)

No evaporador a pressão é muito próxima do vácuo, forçando a água a deslocar-se do condensador para o evaporador. Como a pressão é muito baixa quando a água entra em contacto com a superfície da serpentina da água gelada, evapora facilmente extraindo calor do ambiente envolvente. Esta evaporação remove o calor latente da água gelada, reduzindo a sua temperatura de 12 °C para 7 °C. O vapor de água existente é depois conduzido para o absorvedor. (Deng, Wang, & Han, 2010) (CEEET)

É no Absorvedor que se voltam a juntar o refrigerante (H₂O) e absorvente (LiBr), para voltarem a formar novamente a solução. Este vaso recebe solução de brometo de lítio altamente concentrada proveniente do gerador, e o vapor de água procedente do evaporador que se vai condensando na superfície da serpentina do circuito de arrefecimento do absorvedor. Pelo facto da solução de brometo de lítio ser altamente hidrófila, possibilita a absorção da água com facilidade. A solução de brometo de lítio e água acumulada no absorvedor é bombada para o gerador para voltar a ser aquecida novamente e o ciclo se repetir continuamente. (Deng, Wang, & Han, 2010) (CEEET)

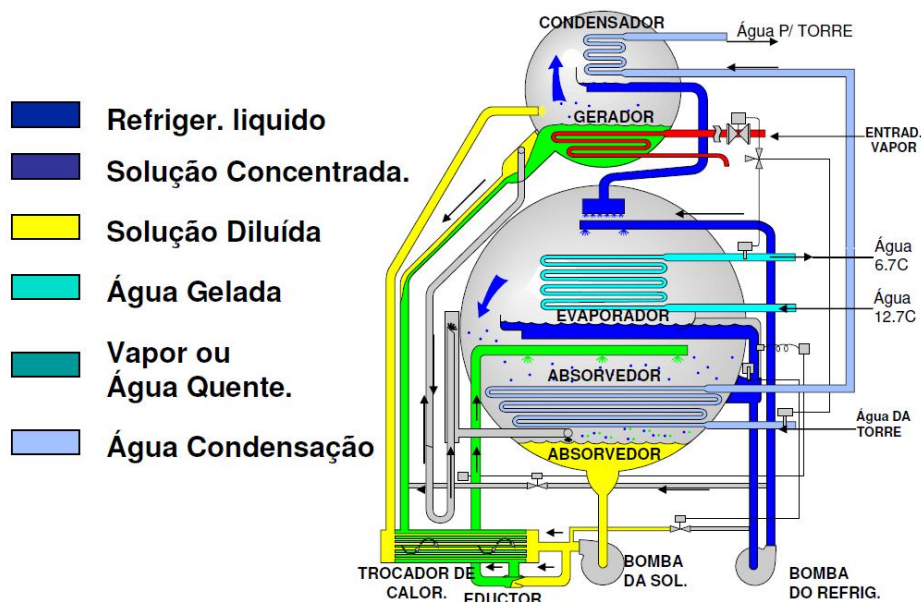


Figura 4.10 - Diagrama de um chiller absorção de efeito simples (Johnson-Controls)

No caso dos *chillers* de absorção de duplo efeito, com eficiências superiores. A grande diferença consiste sobretudo no gerador, uma vez que um *chiller* de absorção de duplo efeito funciona como se fosse constituído por dois geradores, onde o fluido refrigerante

ao sair do gerador principal vai servir de fonte térmica a um gerador secundário que separa a solução existente no permutador de calor. (Institute, 1998)

Para *chillers* de efeito simples, o calor necessário ao seu normal funcionamento deverá ser superior os 80°C, com um COP de 0,6 a 0,8. Os *chillers* de duplo efeito, com dois níveis de gerador, requerem temperaturas acima dos 140°C, com COP e atingem na ordem de 1,2.

A grande maioria dos *chillers* de absorção disponíveis no mercado apresentam uma capacidade inferior a 50 kW. Sendo muitas vezes instalados em sistemas de ar condicionado assistidos por energia solar. Mais recentemente tem sido desenvolvidos *chillers* de pequenas capacidades que permite o funcionamento em carga parcial com uma temperatura de 65 °C e com um COP de 0,7, vocacionado par a utilização de energia solar.

4.2.2 *Chiller de Adsorção*

Os *chillers* de adsorção não utilizam soluções líquidas, recorrendo ao uso de materiais adsorventes sólidos. Os equipamentos existentes no mercado usam a água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente.

Um *chiller* de adsorção é uma máquina composta um tanque de vácuo dividido em quatro câmaras, na parte superior o condensador, na base o evaporador, e na zona central estão as câmaras de adsorção compostas pelo gerador e pelo coletor, que se encontram ligados entre si por válvulas do tipo flap, que abrem e fecham automaticamente para o condensador colocado acima destes e para o evaporador localizado abaixo, como resultado das diferenças de pressão existentes.

Em cada câmara existe e um permutador de calor e o adsorvente, que pelo facto de estar no estado sólido, não permite a sua circulação pelo sistema, razão pela qual os *chillers* de adsorção funcionam descontinuamente, ao contrário dos *chillers* de absorção.

Na primeira câmara de adsorção, o adsorvente é regenerado por aquecimento fornecido por um fluido (água quente solar com uma temperatura de 50 a 90 °C), sendo o vapor de água (água desadsorvida) gerado enviado para o condensador onde se condensa. A água

no estado líquido, através de uma válvula de expansão, é injetada a baixa pressão no evaporador onde se evapora, e o calor é retirado do circuito de água fria (fase de "produção de frio" 5 a 12 °C de temperatura).

O adsorvente do coletor mantém a baixa pressão ao adsorver o vapor de água, processo cuja duração depende da saturação da sílica gel, sendo que este compartimento tem que ser arrefecido para permitir uma adsorção contínua. Quando se reduz a "produção de frio" (saturação do adsorvente no vapor de água), as funções de abertura e fecho de válvulas nos dois compartimentos ficam afetadas.

Uma característica especial do *chiller* de adsorção, é o facto do coletor e o gerador serem aquecidos e arrefecidos alternadamente, o que provoca o funcionamento descontínuo do *chiller*. (ALTENER, 2004) (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

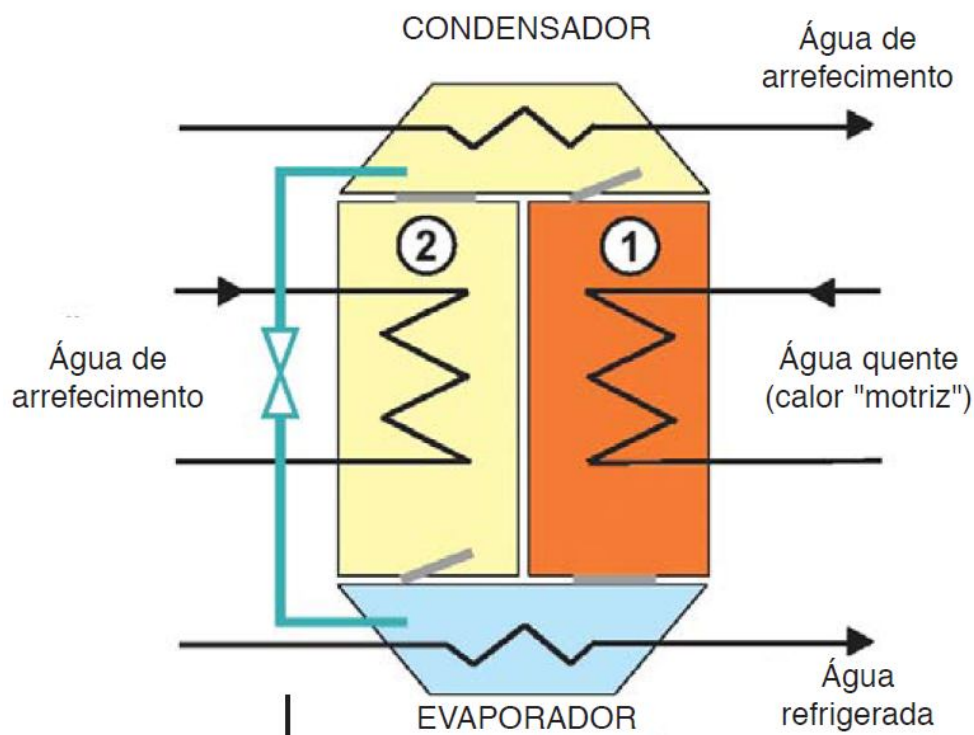


Figura 4.11 - Diagrama de um *chiller* adsorção (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

Com estes sistemas é possível atingir um COP de 0,6, a partir de água quente a uma temperatura de 80 °C, contudo também é possível o seu funcionamento a temperaturas inferiores, na ordem dos 50 °C. A sua capacidade arrefecimento varia entre 5kW e 500kW de potência.

Apresenta como vantagens: não existir perigo de cristalização, o que significa que não existem quaisquer constrangimentos em relação à temperatura média de arrefecimento;

Não necessita de bomba de circulação, por isso o consumo de eletricidade é reduzido.

As desvantagens:

Têm mais volume e um peso superior quando comparados com outros.

Devido ao reduzido número de unidades produzidas, o preço dos *chillers* de adsorção é, atualmente mais elevado. (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

Método	Chiller de absorção			Chiller de adsorção
Etapas	Efeito simples	Duplo efeito	Efeito simples	Efeito simples
Sorvente	Brometo de lítio		Água	Silica gel
Refrigerante	Água		Amoníaco	Água
Temperatura fonte quente	80 °C - 110 °C	140 °C - 160 °C	80 °C - 120 °C	60 °C - 95 °C
Fluido da fonte quente	Água quente, Vapor possível (aquecido directamente)	Água quente, vapor, aquecido directamente	Água quente, vapor, aquecido directamente	Água quente
COP	0,6 - 0,8	0,9 - 1,2	0,3 - 0,7	0,4 - 0,7
Capacidade, mercado disponível	Poucos fabricantes >20kW (água quente). Muitos fabricantes >100 kW	Poucos fabricantes > 50kW Vários fabricantes >100 kW	Baixa capacidade apenas para aquecido directamente. Elevada capacidade feito por medida.	50 - 350 (Mayekawa), 250 - 500 (Nishyodo)
Fabricante	York, Yazaki, EAW, Trane, Carrier, Broad, Ebara, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Sulzer-Escher, Wyss, Enropie, Century		Aquecido directamente: Robur, Colibri, Mattes; Água quente, vapor: Colibri, Mattes	Mayekawa, Nishyodo

Tabela 4.1 - Máquinas de arrefecimento ciclo fechado (Mendes J. , 2014)

4.2.3 Torre de arrefecimento

Para o correto funcionamento de um ciclo de absorção, é necessário proceder à constante extração de calor existente no condensador e no absorvedor do chiller. Sendo por isso necessário a existência de um circuito de arrefecimento é feito através de água fria, que absorve calor destas camaras do *chiller* e as transporte até uma torre de arrefecimento onde se processa o arrefecimento evaporativo.

5 Climatização e conforto térmico

5.1 Inércia Térmica

A inércia térmica é a capacidade que massa tem de preservar a energia térmica recebida e a ir libertando de forma gradual. A inércia térmica ou capacidade de armazenar energia de um material depende da sua massa, densidade e calor específico.

Edifícios de elevada inércia térmica têm variações térmicas mais estáveis porque o calor acumulado durante o dia é liberado lentamente durante a noite, isso significa que uma

maior inércia térmica apresenta uma maior estabilidade térmica. Exigindo menores necessidades de climatização.

A inércia térmica é um conceito-chave nas técnicas bioclimáticas já que a capacidade de armazenamento térmico das soluções que compõem os elementos arquitetônicos é essencial para obter o nível adequado de conforto e continuidade na climatização.

A inércia térmica envolve dois fenômenos, um deles é o amortecimento na variação de temperatura e outro é o atraso na alteração da temperatura interna em relação ao exterior. Um exemplo de elevada inércia térmica é o solo, cujo efeito climático pode ser usado uma vez que amortece e retarda a variação de temperatura que ocorre entre o dia e a noite. O semi-enterramento edifício pode ser uma forma de aproveitar a capacidade calorífica de acumulação no solo. (Uponor, 2013)

Nos edifícios modernos ocorrem grandes variações na temperatura interior devido à influência de fatores externos, como por exemplo radiação solar, frio radiante e ar frio, ar quente. A principal causa deste problema é o baixo nível de isolamento térmico (incluindo portas e janelas) e o alto nível de infiltração de ar no edifício. Uma maneira de minimizar este efeito é a utilização dos elementos construtivos no edifício (piso, teto e paredes) como elementos de armazenamento de energia (inércia térmica). Quanto mais energia for acumular nesses elementos, menor é o efeito exterior negativo, mantendo as temperaturas interiores muito estáveis ao longo do dia e do ano. Por esta mesma razão, os sistemas de climatização radiante requerem menos energia que outros sistemas para manter condições de conforto, especialmente durante as horas de consumo máximo de energia no inverno e verão. (Uponor, 2013)

5.2 Calor sensível

O Calor sensível é o somatório do calor resultante do aumento da temperatura, proveniente do exterior com origem na radiação solar e na diferença de temperatura entre o exterior e o interior de um edifício (transmissão de calor por condução através da envolvente). É resultante também das cargas internas, como as pessoas e todas as fontes de calor (iluminação, equipamento informático, máquinas, etc.). (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

5.3 Calor latente

O Calor latente é a soma do calor que conduz ao aumento da quantidade de vapor de água no ar, com origem na humidade emitida pelas pessoas através da respiração e transpiração e por todas as fontes geradoras de vapor. Quando um compartimento é ventilado, se a temperatura interior for inferior à temperatura exterior, o ar que entra oriundo do exterior traz consigo calor sensível e calor latente em função do teor de vapor de água. (Delorme, Six, Oliveira, & Barroso)

5.4 Transmissão de calor

A transmissão de calor entre locais diferentes, situados no mesmo meio ou não, é um dos fenómenos físicos mais comuns que ocorre de três formas diferentes.

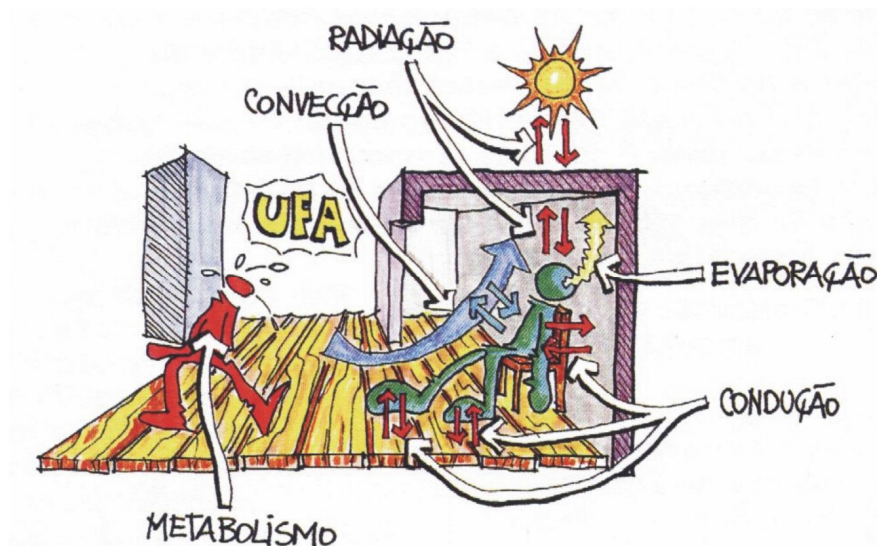


Figura 5.1 - Formas de transmissão de calor (LabCon)

5.4.1 Por Condução

A transmissão de calor por condução, ocorre quando existe troca de calor entre dois sólidos em contacto entre si, ou partes deste solido que apresentem diferença de temperatura. Através da aplicação da Lei de Fourier é possível determinar o fluxo de calor transmitido unidireccionalmente, através de um elemento, tendo em conta a condutividade térmica e o gradiente de temperaturas desse elemento. Podendo ser expressa pela seguinte equação: (ESTT)

$$Q_{\text{cond}} = - \lambda dTdt$$

Em que,

Q_{cond} – o fluxo de calor transmitido por condução [W.m-2]

λ – a condutividade térmica do elemento [W.m-1.K-1]

dT/dt – o gradiente de temperatura [K.m-1]

5.4.2 Por convecção

A convecção é um mecanismo de transmissão de calor, que ocorre quando existe contacto entre um sólido e um fluido líquido ou gasosos. A Convecção natural é provocada pelo movimento causado pela diferença de temperatura entre partículas. A convecção forçada é devido ao movimento é provocado pela ação de agentes externos como um ventilador. É possível determinar o fluxo de calor, por convecção, entre uma superfície sólida e um fluido, utilizando a lei do arrefecimento de Newton, pela seguinte equação: (ESTT)

$$Q_{conv} = hc.(T_s - T_{\infty})$$

Em que,

Q_{conv} – o fluxo de calor transmitido por convecção [W.m-2]

hc – coeficiente de transferência de calor por convecção [W.m-2.K-1]

T_s – temperatura da superfície [K]

T_{∞} – temperatura do fluido [K]

5.4.3 Por Radiação

Radiação é a energia emitida por um sólido que se encontre a uma certa distância de um outro e a uma temperatura superior a zero absoluto. A transmissão ocorre por meio de ondas eletromagnéticas de comprimentos de onda na faixa de 0,75 a 400 micron. O fluxo de calor pode ser expresso pela seguinte equação: (ESTT)

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma T_s^4$$

Em que,

Q_{rad} – o fluxo de calor transmitido por radiação [W.m-2]

ϵ – emissividade da superfície

σ – constante de Stefan-Boltzmann [W.m-2.K-4]

T_s – temperatura da superfície [K]

5.5 *Piso radiante*

De entre todos os sistemas de climatização existentes, o sistema de aquecimento utilizando um piso radiante é um dos métodos mais confortáveis e saudáveis de cobrir completamente as necessidades de aquecimento ou arrefecimento de qualquer edifício, oferecendo um conforto perfeito resultante de uma distribuição completamente homogénea do calor, podendo ser instalados em qualquer pavimento.

Enquanto os equipamentos aquecimento ou arrefecimento tradicionais, a origem do foco está num radiador ou num ventilador de ar condicionado, com os sistemas de pavimento radiante o espaço de uma habitação é aquecido ou arrefecido a partir chão até ao teto de uma forma uniforme, sendo por isso a forma que melhor se ajusta á emissão ótima de calor para o corpo humano, através da radiação, convecção, transmissão e evaporação.

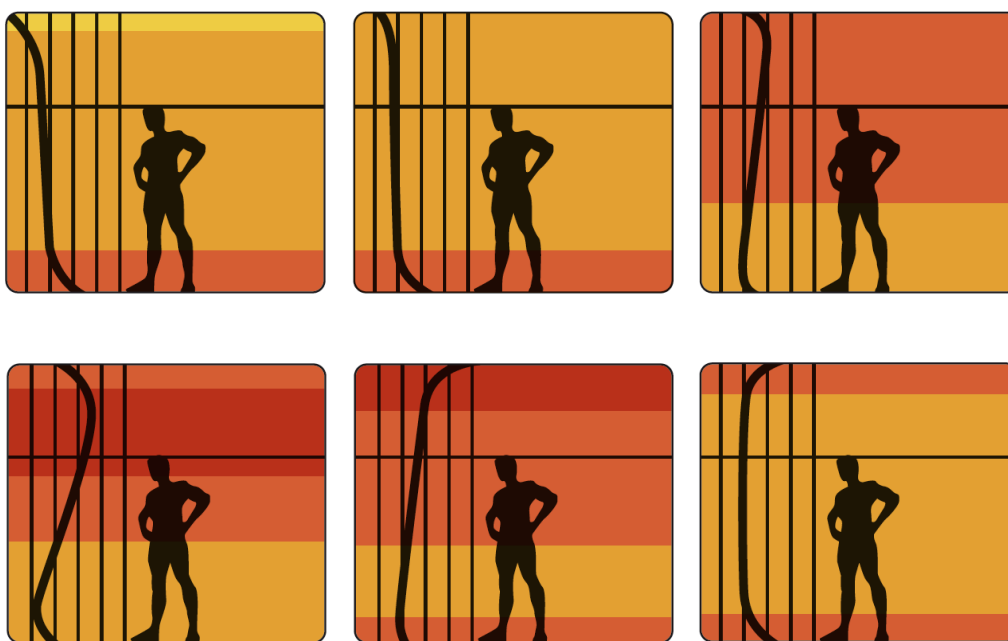


Figura 5.2 - Climatização ideal; Pavimento radiante; Radiadores; Convectores;
Climatização pelo teto; Climatização pela parede (Uponor, 2013)

Para que o ambiente térmico no interior de uma habitação seja considerado confortável para os seus habitantes, a sua temperatura ambiente deve rondar entre os 20 °C e os 24 °C. (Solarwaters, 2016)

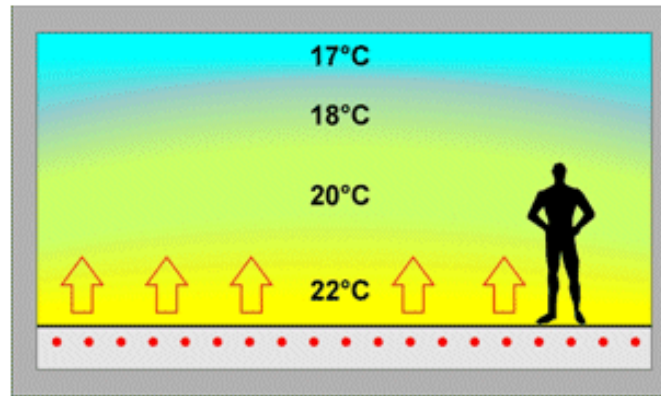


Figura 5.3 - Perfil de estratificação de temperaturas (Solarwaters, 2016)

Existem no mercado três tipos diferentes de piso radiante, o piso radiante de ar quente, o elétrico e o hidráulico. E em termos de montagem podem ser de “instalação molhada” quando a tubagem é embebida na argamassa de recobrimento, ou de “instalação seca” quando não existe recobrimento direto na envolvente dos tubos como no caso das camadas de um pavimento de soalho de madeira.

5.5.1 *Piso radiante a ar*

O piso radiante a ar é um sistema constituído por uma rede de tubos distribuída de forma uniforme debaixo do pavimento, onde circula ar aquecido. Não é um sistema muito eficiente pelo facto de que o ar não conseguir manter grandes quantidades de calor.

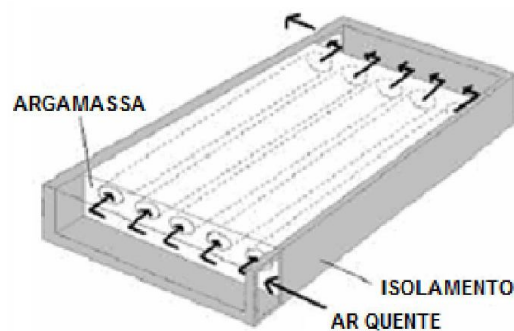


Figura 5.4 - Exemplo de Piso radiante por circulação de ar (Larsen, 2007)

5.5.2 *Piso radiante elétrico*

O piso radiante elétrico consiste na instalação de um cabo fino constituído por um conjunto de resistências elétricas instalado ao longo do pavimento de um compartimento.

Tem a vantagem de poder ser instalado facilmente em pavimentos já existentes, pelo facto de ter uma secção menor e necessitar de menor espessura de recobrimento. Contudo apesar de ser mais eficiente que os sistemas tradicionais, ficará sempre dependente do preço da energia eléctrica.

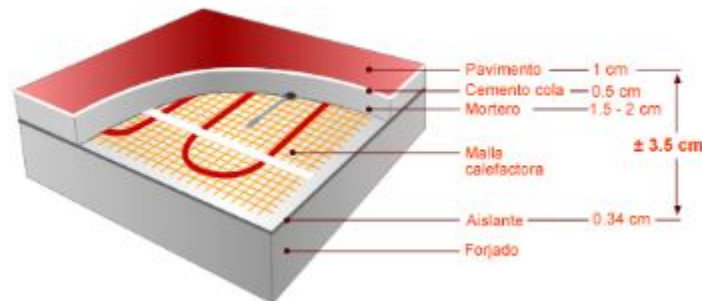


Figura 5.5 - Exemplo de Piso radiante por circulação de ar (Larsen, 2007)

5.5.3 *Piso radiante hidráulico*

O sistema de piso radiante hidráulico é constituído por uma rede de tubos distribuída de forma uniforme debaixo do pavimento de um determinado compartimento a climatizar, na qual circula a água ou fluido, permitindo a manutenção da uma temperatura ambiente homogénea e confortável.

5.5.3.1 Materiais utilizados

Existem atualmente disponíveis no mercado diversos tipos de soluções distintas de sistemas de piso radiante hidráulico, isto apesar do princípio ser idêntico e os materiais utilizados serem muito semelhantes.

Painel de assentamento e fixação dos tubos – existem diferentes tipos de bases de assentamento da tubagem, formados por painéis lisos de poliestireno (EPS) com fixadores, ou por painel sandwich de poliestireno com lâmina de polietileno termoconformado pitonado para fixação dos tubos. (Uponor, 2013)

Filme de polietileno – esta película de polietileno é aplicada de forma a produzir uma barreira anti humidade entre o solo e piso radiante.

Fita perimetral – esta banda de espuma de poliestireno, é colocada no perímetro envolvente das placas de assentamento em contacto com as parede, pilares e todos os

elemento verticais, para colmatar as dilatações que ocorrem entre a argamassa e os tubos, evitando fissuras no pavimento. (Sanitop)

Os tipos de tubo mais utilizados são:

Tubo de polietileno de alta densidade reticulado LK Pex-a com barreira à difusão do oxigénio norma DIN 16892 Diâmetro de 17 x 2.0 e 16 x 2.0. (Sanitop)

Tubo multicamada Pe-xc/alumínio/Pe-xc e Rixc com 0,2 e 0,4 mm de espessura, polietileno reticulado alta densidade com barreira à difusão do oxigénio com diâmetros de 20x2.0, normas DIN 4726/4729, homologação LNEC, DVGW. (Sanitop)

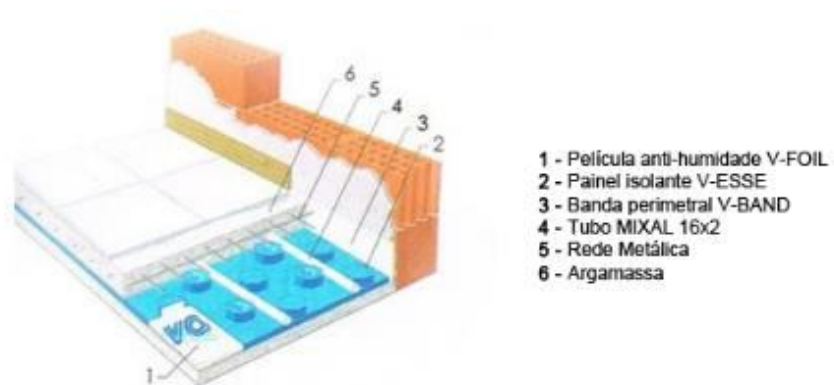


Figura 5.6 - Pormenor de pavimento radiante hidráulico (Solarwaters, 2016)

A tubagem do piso radiante hidráulico pode ser disposta no pavimento de diversas formas possíveis, dependendo das características do compartimento a climatizar, de modo a aumentar a eficiência na transmissão de calor ou na sua remoção.

O espaçamento entre tubos também varia em função das necessidades de aquecimento, o diâmetro do tubo a aplicar, a temperatura de circulação do fluido, e os caudais utilizados. Sendo que de um modo geral, o pavimento deverá conseguir obter uma emissão no Verão de 35-40 W/m², no Inverno a correspondente deve situar-se entre 90 e 100W/m². Os afastamentos entre tubos mais utilizados são de: (Giacomini, 2004)

Com espaçamento de 30 cm entre os tubos, uma serpentina abrange cerca de 36 m².

Com espaçamento de 25 cm entre os tubos, uma serpentina abrange cerca de 30 m².

Com espaçamento de 20 cm entre os tubos, uma serpentina abrange cerca de 24 m².

Com espaçamento de 15 cm entre os tubos, uma serpentina abrange cerca de 18 m².

O comprimento máximo de um circuito deve não deve exceder os 200m, sendo aconselhável limitar os circuitos a um máximo de 120m. (Giacomini, 2004)

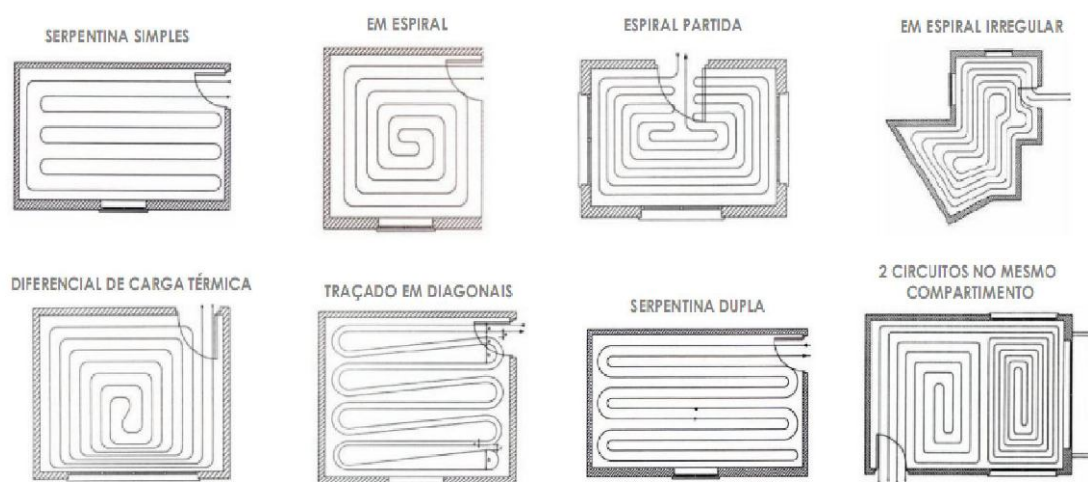


Figura 5.7 - Exemplos do modo de instalação das tubagens no pavimento (Brumbaugh, 2004)

5.5.3.2 Funcionamento em aquecimento

Ao contrário dos sistemas tradicionais de radiadores que utilizam água quente a alta temperatura na ordem dos 80 °C, no sistema de piso radiante hidráulico, a água que alimenta o circuito circula a temperaturas relativamente baixas entre os 35 e os 45 °C, transferindo o calor por efeito de radiação para o pavimento, aquecendo-o até aos 25 a 29 °C, variando consoante o tipo de materiais que compõem as camadas do pavimento. Devido á forma da disposição da tubagem no compartimento, o calor distribuir-se pelo chão de um modo suave e uniforme, conseguindo-se uma estratificação da temperatura ideal para o corpo humano, ao mesmo tempo também lhe confere uma grande vantagem

relativamente aos outros sistemas de aquecimento, uma vez que a temperatura exigida é menor, menor é também consumo de energia. (Solarwaters, 2016) (Warmup, 2016)

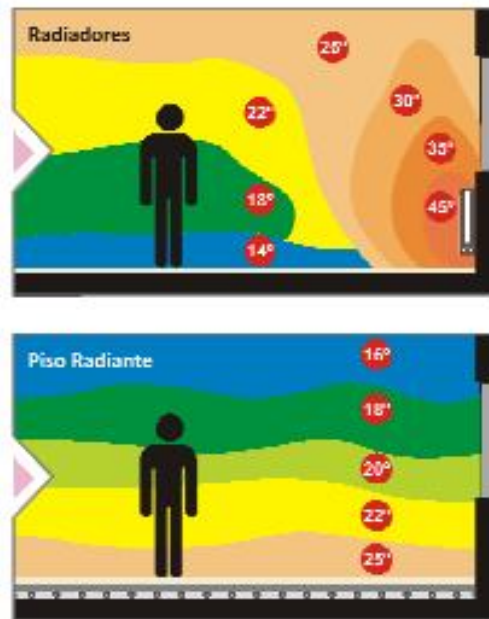


Figura 5.8 - Transmissão de aquecimento com radiadores e piso radiante
(SolarCondicionado, 2016)

Para controlar a temperatura de uma forma mais eficaz, são utilizados termostatos nas diferentes zonas de aquecimento, uma vez que o controlo por zona é o método de controlo mais preciso.

5.5.3.3 Funcionamento em arrefecimento

Sempre que a temperatura ambiente excede a temperatura superficial do corpo humano (aproximadamente 29 °C), este não consegue transferir o calor para o ambiente, começa a transpirar na tentativa de arrefecer por efeito da evaporação, criando uma sensação de desconforto. Se o pavimento for arrefecido para cerca de 20°C, permite que por efeito de radiação que este absorva o calor emitido pelas outras superfícies, diminuindo a temperatura ambiente, o que permite ao corpo humano, condições suficientes para que possa transferir o calor por radiação, evitando a transpiração permitindo uma sensação de frescura e conforto. (SolarCondicionado, 2016)

Assim nas estações mais quentes, o pavimento pode ser utilizado para reduzir o calor existente no ambiente, uma vez que na mesma instalação de piso radiante hidráulico utilizada para aquecimento nos períodos frios, pode ser também efetuando o arrefecimento do ambiente, fazendo circular da água arrefecida a uma temperatura próxima de 17 °C, que absorverá o excesso de calor da habitação, dando assim uma sensação de frescura e bem-estar aos utilizadores da habitação.

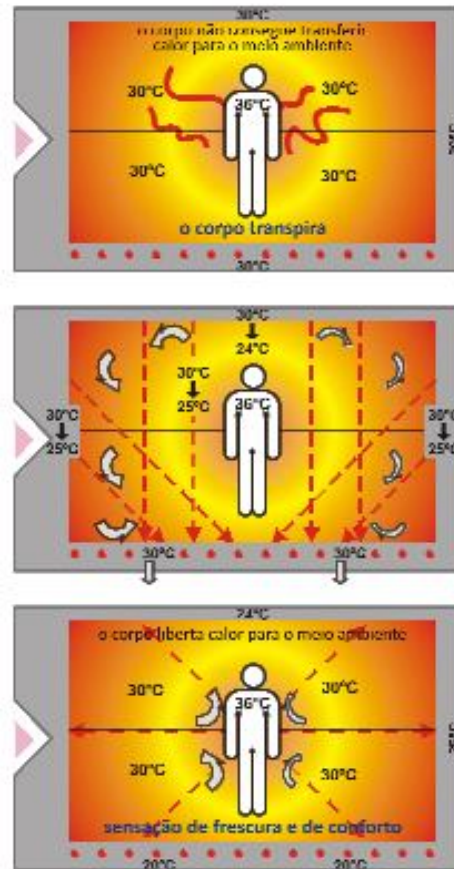


Figura 5.9 - Transmissão de calor ao corpo humano (SolarCondicionado, 2016)

Os sistemas de piso radiante hidráulico podem ser complementados através da combinação de equipamentos distintos, que utilizam diferentes fontes de combustível com capacidade para produzir fluido quente ou frio, que posteriormente será distribuído pelas zonas climatizadas:

Bombas de Calor – Devido às suas características de funcionamento excepcionais, a bomba de calor aproveita a energia do ambiente para aquecer a água que será utilizada no circuito de aquecimento por piso radiante. Com a vantagem de estar sempre disponível ou contrário dos sistemas solares.

Caldeiras de Biomassa – este equipamento tem dos custos de exploração mais baixos do mercado, apresenta disponibilidade constante, e tem a vantagem de poder ser utilizada em paralelo com a produção de Águas Quentes Sanitárias.

Caldeira de Condensação – utilizam normalmente como combustível o gás natural, o que lhe conferem uma poupança de cerca de 30% em comparação com as caldeiras convencionais. Apresenta também disponibilidade constante, e tem a vantagem de poder ser utilizada em paralelo com a produção de Águas Quentes Sanitárias. (Solarwaters, 2016)

Colectores solares térmicos – a utilização de colectores do tipo CPC ou de tubos de vácuo, permitem o fornecimento de energia térmica em alguns períodos, suficiente para a utilização em sistemas de piso radiante. O que permite poupanças significativas ao nível de combustível e naturalmente nos custos de exploração.

Chiller – a utilização de um *chiller* para produção de água arrefecida, combinado como um piso radiante hidráulico permite arrefecer ambiente da mesma forma eficaz como na situação do modo de aquecimento, e se for utilizado um *chiller* de absorção ou de adsorção combinado com colectores solares, o sistema ficará mais ainda mais sustentável em termos económicos e ecológicos.

Sondas Geotérmicas – o aproveitamento do calor geotérmico também pode ser utilizado na alimentação de um piso radiante hidráulico.

5.5.3.4 Principais características do piso radiante

Dupla funcionalidade: este sistema permite a possibilidade de fornecer aquecimento ou arrefecimento a um determinado compartimento com a utilização do mesmo circuito de tubagem.

Economico: com este sistema consegue-se poupanças energéticas entre os 25% - 30% em comparação com os sistemas tradicionais de aquecimento por radiadores, podendo atingir ainda percentagens superiores especialmente quando em associação a sistemas de energias renováveis. (Warmup, 2016)

Confortável: Este sistema permite a distribuição da temperatura de uma forma mais uniforme em cada compartimento, evitando assim as zonas quentes e frias que são

características dos sistemas convencionais durante os períodos de aquecimento ou arrefecimento, tornando o ambiente mais agradável ao corpo humano e proporcionando um maior conforto aos seus utilizadores tanto no Inverno como no Verão.

Saudável: Como o sistema funciona a baixas temperaturas não provoca correntes de ar quente, nem secam o ar mantendo a humidade natural, e evitam também a circulação do pó e outros microrganismos, sendo o ideal para as pessoas que sofram de alergia ou de problemas respiratórios.

Invisível: como a instalação deste sistema é totalmente embebido no pavimento, não são visíveis tubagens nem equipamentos, facilitando a decoração dos compartimentos.

Seguro: Devido a sua baixa temperatura não existe risco de provocar queimaduras nas crianças, transmitindo uma maior segurança aos pais.

5.6 Conforto Térmico

O conforto térmico é uma condição fundamental para o bem-estar dos ocupantes de um determinado edifício. Podendo ser descrito como um estado de satisfação de um indivíduo relativamente às condições térmicas do ambiente onde se encontra. Condições essas que podem resultar de fatores físicos, fisiológicos, psicológicos entre outros. Contudo a noção exata de conforto térmico é bastante subjetiva, podendo variar para além de pessoa para pessoa, ao longo de um dia ou de uma noite, e mesmo durante um período de vários dias. (LabCon) (Lamberts)

O Homem é um ser homeotérmico, cuja temperatura interna do corpo humano oscila em torno dos 35 a 37 °C, podendo esta temperatura permanecer constante independentemente das condições climáticas existentes. As calorias dos alimentos ingeridos pelo organismo são queimadas com auxílio do oxigénio, produzindo energia metabólica. (LabCon) (Lamberts)

O corpo humano efetua trocas constantes de energia com meio envolvente, e quando ocorrem diferenças de temperatura entre o calor gerado pelo organismo e o calor perdido para o ambiente, o balanço térmico fica desequilibrado originando desconforto térmico.

Este desequilíbrio provocado pelo calor ou pelo frio ativa os mecanismos termorreguladores do corpo reagindo. (Lamberts)

	Reação	
	Calor	Frio
Efeitos no corpo humano	Dificuldade para reduzir o calor do corpo devido ao aumento da temperatura envolvente.	Arrepio e dificuldade para manter o calor do corpo devido a baixa temperatura envolvente.
	Ocorrência de vasodilatação periférica para permitir perdas de calor por radiação e convecção.	Ocorrência de vasoconstrição causando perdas de calor por radiação e convecção.
	Aumento do volume do sangue e aceleração o ritmo cardíaco,	Diminuição do volume do sangue e redução do ritmo cardíaco.
	Ocorrência de transpiração	Diminuindo a temperatura da pele aproximando-a da temperatura do ambiente.
Medidas a Implementar	Afastar-se de fontes de calor e procurar sombras.	Aproximar-se de fontes de calor ou expostas ao sol.
	Procurar zonas com melhor ventilação	Aumentar as camadas de roupa.
	Reduzir a actividade física	Aumentar a actividade física.
	Reduzir o metabolismo	Aumentar o metabolismo.

Tabela 5.1 - Reação ao calor e frio (LabCon) (Lamberts)

Com base nos estudos desenvolvidos por Fanger, acerca do conforto térmico, foi criada a norma internacional ISSO 7730, onde é referido que as condições ambientais só são consideradas favoráveis se satisfizerem em simultâneo 80% ou mais dos ocupantes de um determinado compartimento. Na mesma norma foi estabelecido o índice PMV (*Predicted Mean Vote* - Votação média previsível), que classifica o nível de insatisfação relativamente ao conforto térmico dos ocupantes. Foi também criado o índice PPD (*Percentage of People Dissatisfied*), que estabelece a percentagem ocupantes insatisfeitos termicamente correlacionado com o índice PMV. (FANGER, 1972)

O índice PMV representa o valor médio de voto de um grupo significativo de pessoas, que expressam a sensação de conforto térmico da maioria dos ocupantes de um edifício, em determinadas condições térmicas. Sendo a resposta dos ocupantes registada numa escala de sensações de 7 pontos simétricos variáveis entre -3 e 3. (FANGER, 1972)

Valor de PMV	Nível de satisfação térmica
3	Muito quente
2	Quente
1	Ligeiramente quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Tabela 5.2 - Escala de sensações (FANGER, 1972)

O índice PPD determina a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas termicamente com as condições do ambiente. Valor percentual da amostragem efetuada a um grupo expressivo de pessoas insatisfeitas com a temperatura existente, e que gostariam de mais quente ou mais frio na escala +3, +2 ou -3 e -2. (FANGER, 1972)

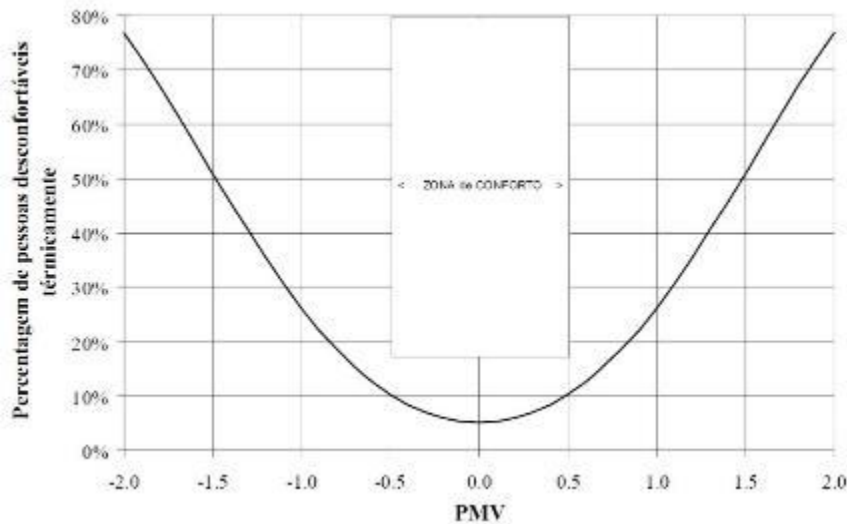


Gráfico 5.1 - Gráfico com Escala de sensações (FANGER, 1972)

5.6.1 Variáveis que influenciam o conforto térmico

5.6.1.1 Variáveis humanas

Metabolismo

O metabolismo é taxa de energia produzida pelo corpo humano, que pode ser dividida entre metabolismo basal referente à taxa durante o período de repouso absoluto, e metabolismo de atividade quando é efetuado esforço físico. O metabolismo varia consoante a estatura de cada indivíduo e a intensidade do esforço por si desenvolvido. (LabCon)

Actividade	Nível de metabolismo		
	W	met	W/m ²
Repouso	80 - 100	0,8 - 1,0	45,7 - 58,2
Actividade sedentária	100 - 120	1,0 - 1,2	58,2 - 68,6
Trabalho leve	140 - 180	1,4 - 1,8	80,0 - 102,8
Trabalho oficial medio	200 - 300	2,0 - 3,0	114,3 - 171,4
Ginástica	300 - 400	3,0 - 4,0	171,4 - 228,6
Desporto de competição	400 - 600	4,0 - 6,0	228,6 - 342,9

Tabela 5.3 - Nível de metabolismo em função do tipo de atividade desenvolvida (ISO 7730)

O nível de atividade metabólica pode ser expresso em “met” (metabolismo), sendo que um met corresponde a 58,15 Watts produzidos por metro quadrado ($1\text{met} = 58,15\text{ W/m}^2$); e a superfície média do corporal de um adulto é de $1,8\text{ m}^2$, o que significa que um humano em repouso pode produzir aproximadamente 100 W de calor. (LabCon)

5.6.1.2 Vestuário

O nível do vestuário é caracterizado através da sua resistência térmica (Icl), sendo o valor da resistência igual à de uma camada, ou a resultante da soma várias camadas sobrepostas, o que correspondente a uma ou mais peças de roupa combinadas. O vestuário apresenta como unidade de medida o “clo” (clothing), sendo que 1 clo corresponde à resistência térmica de $0,155\text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$. (LabCon) (ISO 7730)

Vestuário	Resistência Térmica	
	Icl (clo)	Icl ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$)
Nú	0	0
Calções	0,1	0,016
Vestuário Tropical	0,3	0,047
Vestuário leve de verão	0,5	0,078
Vestuário de Trabalho	0,7	0,124
Vestuário de Inverno para ambiente interior	1	0,155
Fato Completo	1,5	0,233
Vestuário de Inverno para ambiente exterior	4	0,310

Tabela 5.4 - Resistência térmica relativamente ao vestuário (ISO 7730)

5.6.1.3 Variáveis ambientais

5.6.1.3.1 Temperatura média do ar

A temperatura do ar que rodeia o corpo de um determinado indivíduo, afeta diretamente nos processos de transmissão de calor, seja por convecção natural ou por de evaporação. (Lamberts)

5.6.1.3.2 Temperatura média radiante

A temperatura média radiante provoca efeitos na troca de calor sob forma de radiação entre o corpo humano e as superfícies que o rodeiam. A radiação depende da quarta

potência da temperatura absoluta, da forma geométrica do compartimento e da localização do indivíduo no seu interior. (Lamberts)

5.6.1.3.3 Velocidade média do ar

A velocidade média do ar tem impacto direto nos processos de troca de calor por parte de um corpo, especialmente na forma de transmissão de calor por convecção forçada e por efeito de evaporação, que retiram com maior eficiência o ar quente e a água em contato com a pele. (Lamberts)

5.6.1.3.4 Humidade relativa do ar

A humidade relativa do ar tem implicação direta nos processos de perda de calor por evaporação, uma vez que quanto maior for o seu teor menor é eficiência da evaporação na remoção de calor. (Lamberts)

5.6.1.4 Outras variáveis

5.6.1.4.1 Idade

A idade de um modo geral é um fator que influencia a sensação de conforto térmico, uma vez que a medida que vamos envelhecendo vamos sentindo maior suscetibilidade às variações de temperatura.

5.6.1.4.2 Altura

Como é natural a variação de altura afeta o modo de exposição de um corpo ao ambiente em que se encontra, uma vez que quanto maior for a altura de uma pessoa, maior será nível estratos térmicos que o corpo transpõe.

5.6.1.4.3 Sexo

O corpo humano de um homem e de uma mulher diferem muito para além da anatomia visível, apresentam algumas diferenças fisiológicas marcantes entre sexos, que se repercutem em diferenças metabólicas, hormonais e psicológicas, que se podem refletir na sensibilidade às variações de temperatura.

5.6.1.4.4 Raça/etnia

As diferenças fisiológicas entre grupos de Raça/etnia distintos podem não ser muito significativas, contudo podem ser suficientes para poder fazer variar a sensação de conforto térmico entre pessoas no mesmo compartimento.

5.6.1.4.5 Hábitos alimentares

O tipo de alimentação pode ser um fator plausível no efeito de sensação de conforto, que para além da quantidade de alimentos ingeridos pelo organismo, é de realçar também o tipo de alimentos eleitos, especialmente o nível calórico dos mesmos, que podem influenciar o metabolismo calórico durante o processo de digestivo.

6 Descrição do Edifício

6.1 Arquitetura

Para o presente estudo foi considerada uma moradia destinada a habitação unifamiliar, composta por um edifício de tipologia T3 constituído por um único piso de rés-do-chão que inclui no exterior uma marquise, um alpendre e uma garagem em anexo. O edifício está localizado num loteamento com uma orientação geográfica muito aproximada dos eixos principais.

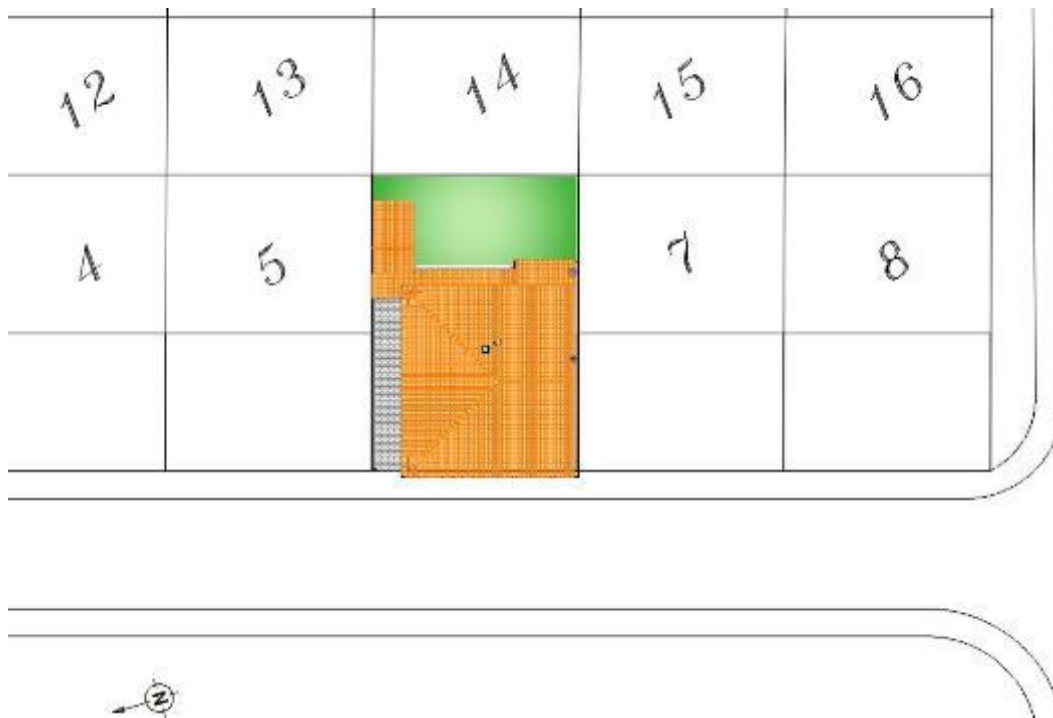


Figura 6.1 - Planta de implantação da Moradia-L6

No interior o edifício encontra-se uma zona central de circulação que dá acesso aos compartimentos, sala comum com zona uma de estar e outra de jantar; uma cozinha com despensa, dois quartos, instalações sanitárias, quarto grande com vestiário e instalações sanitárias privativas.



Figura 6.2 - Planta de Apresentação da Moradia-L6

	Divisão	Área (m2)
1	Circulação	13,23
2	Sala de Estar	18,30
3	Sala de Jantar	15,58
4	Cozinha	8,88
5	Despensa	2,40
6	Quarto 1	14,18
7	Quarto 2	15,07
8	Instalação Sanitária	4,94
9	Quarto Grande	15,28
10	Vestiário	5,05
11	Inst. Sanit. Quarto Grande	4,58
12	Garagem	12,06

Tabela 6.1 - Áreas das divisões da Moradia-L6

Na planta de cobertura do edifício, é possível verificar que o telhado da moradia apresenta três águas, sendo que sob a água do lado quintal existe também um alpendre que faz ligação com o anexo da garagem

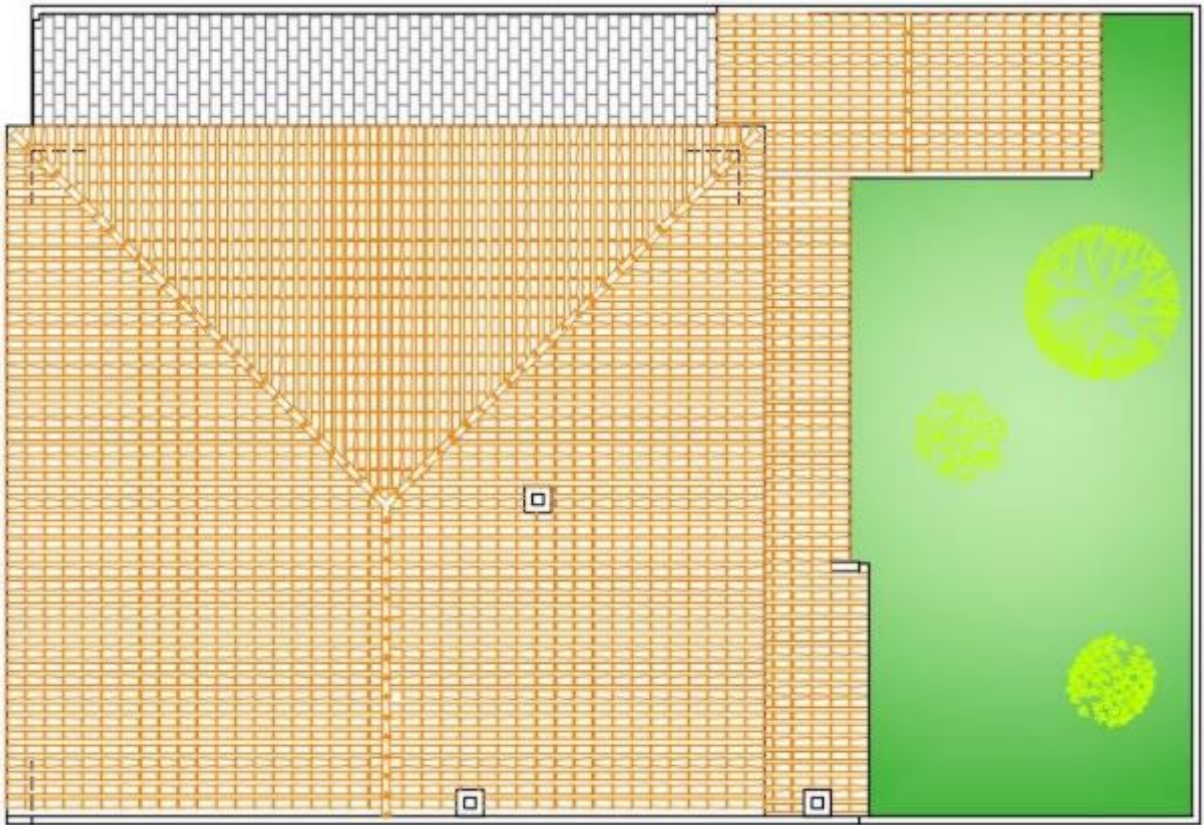


Figura 6.3 - Planta de Cobertura da Moradia-L6

O alçado principal da moradia encontra-se orientado para Poente, o alçado posterior está direcionado para Nascente, o alçado lateral direito orientado a Norte, sendo que o alçado lateral direito direcionado a Sul.

No alçado principal é possível observar a existência de alpendre de ensombramento ao longo da extensão de toda a fachada, de assinalar para além da porta de entrada principal, também a existência de janelas de sacada com persianas de abrir, pertencentes aos quartos e sala de estar.



Figura 6.4 - Alçado Principal da Moradia-L6

Também no alçado posterior de realçar a existência de um alpendre, bem como a presença de janelas de sacada pertencentes ao quarto grande e sala de jantar, e janelas normais pertencentes á cozinha e instalação sanitária do quarto grande, que em qualquer dos casos contam também elas com persianas de proteção.



Figura 6.5 - Alçado Posterior da Moradia-L6

No alçado lateral direito apenas de notar a existência de uma janela com persiana que neste caso pertence à instalação sanitária.



Figura 6.6 - Alçado Lateral Direito da Moradia-L6

O alçado lateral esquerdo como é visível, apresenta-se completamente desprovido de qualquer vão, devido ao facto de o mesmo coincidir com o limite de propriedade.

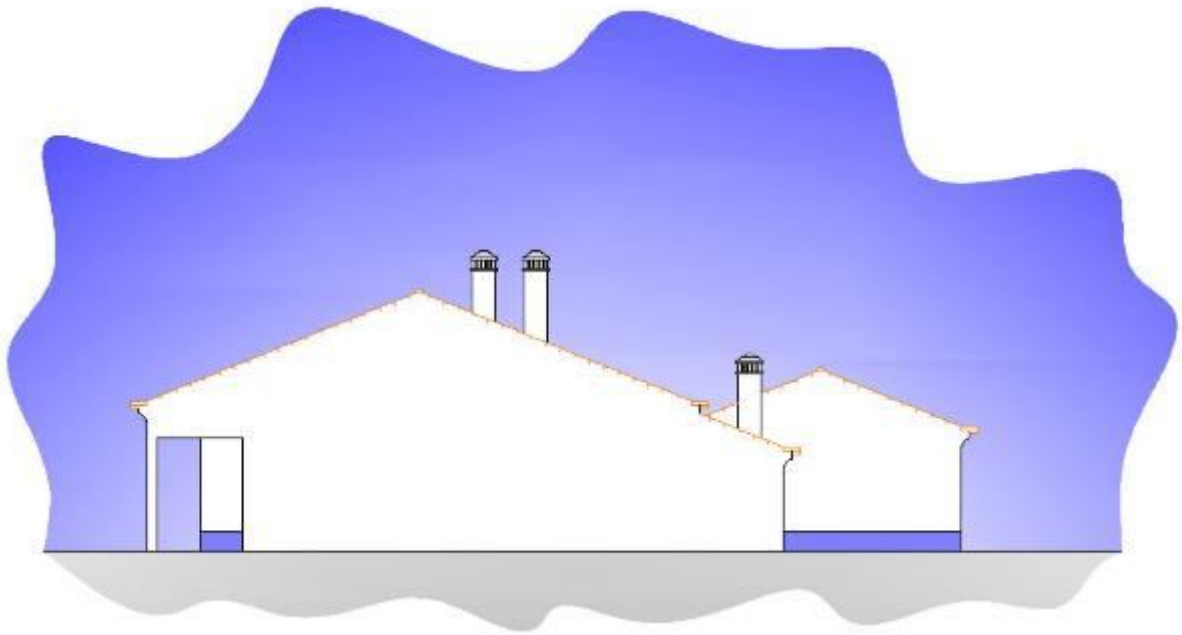


Figura 6.7 - Alçado Lateral Esquerdo da Moradia-L6

No corte efetuado no edifício é possível verificar, que a moradia fica 0,15 m mais elevada que o terreno envolvente, o pé direito é de 2,70 m, e que a altura total desde o chão até á cumeeira é de 6,25 m.

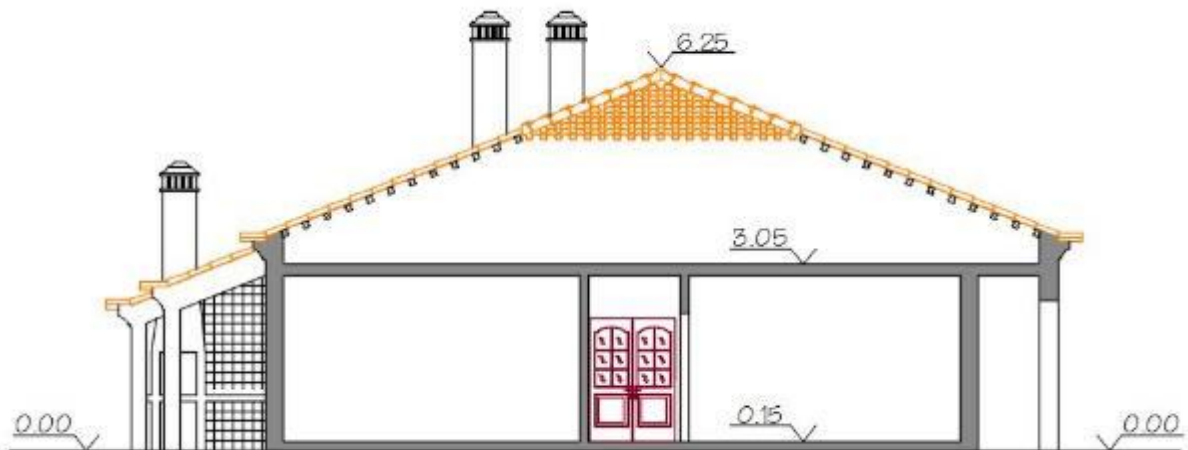


Figura 6.8 - Corte Transversal na Moradia-L6

6.2 Elementos Construtivos

Neste capítulo serão descritos como são constituídos os elementos construtivos da moradia em estudo, bem como algumas características técnicas específicas dos materiais utilizados, nomeadamente as suas dimensões, a densidade, rugosidade, condutibilidade térmica, e o seu calor específico.

Em termos estruturais o edifício é suportado por uma estrutura de betão armado, compostas por sapatas, pilares, vigas de fundação, vigas estruturais e lajes em betão armado.

6.2.1 Paredes

As paredes exteriores são constituídas por dois panos, em alvenaria de tijolo furado de 30x20x15 e 30x20x11 assentes com argamassa de cimento e areia, formado caixa ar preenchida com Poliestireno XPS 30 mm. O revestimento final com reboco de argamassa hidráulica com acabamento areado em ambas as faces e posteriormente pintadas com tintas texturadas de cores tradicionais. Nas fachadas de realçar a existência de barras e socos na envolvente das portas e janelas.

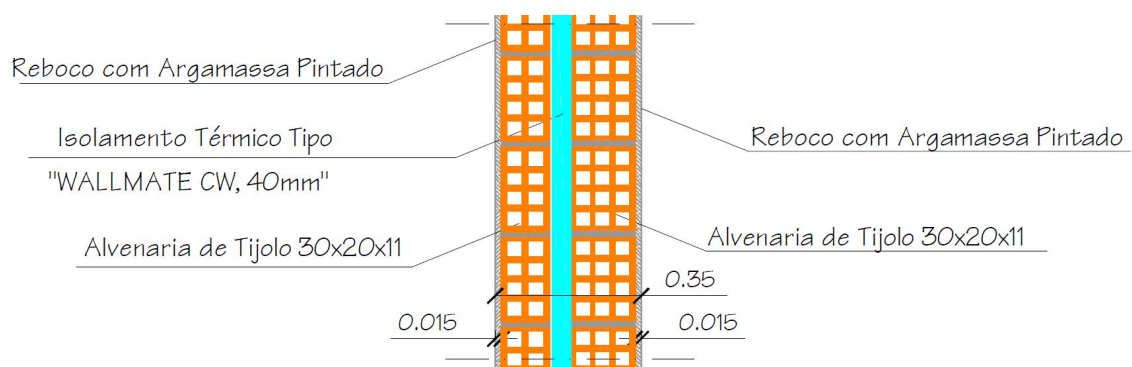


Figura 6.9 - Pormenor de corte da parede exterior

As paredes interiores são compostas por um pano de alvenaria de tijolo furado de (30x20x11) assente com argamassa de cimento e areia, rebocadas com argamassa hidráulica e com acabamento areado e pintadas com tinta de água em ambas as faces.

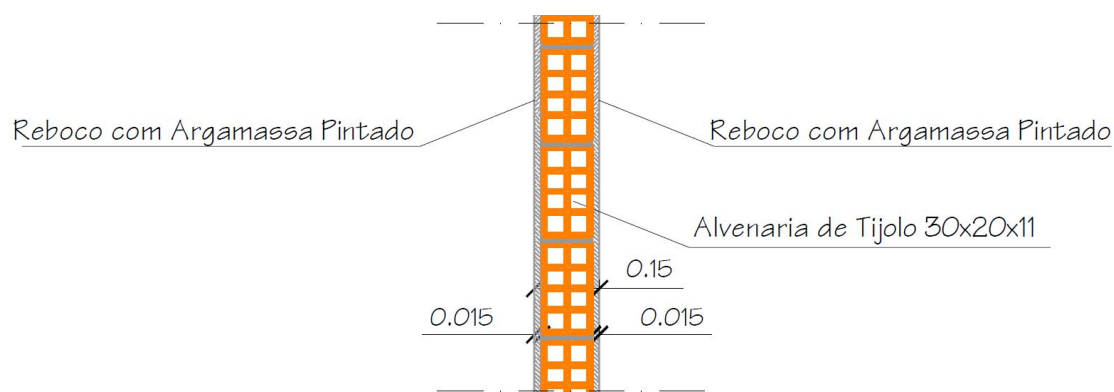


Figura 6.10 - Pormenor de corte da parede interior

6.2.2 Cobertura

A cobertura é composta por telha de aba e canudo em barro vermelho tipo "lusa", suportada por ripado pré-esforçado assente em muretes de alvenaria de tijolo amaciçado. Na face inferior do ripado foi colocada um revestimento em tela refletora.

Os beirados são executados com telhas de canudo e argamassa, do tipo “Beirado à Portuguesa” assente sobre cimalha.

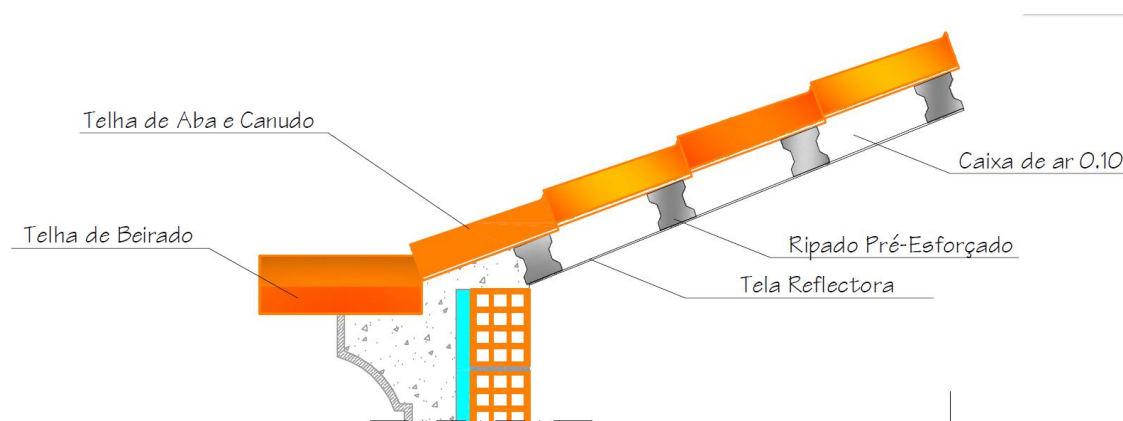


Figura 6.11 - Pormenor de corte na cobertura

6.2.3 Pavimentos

Sobre o terreno natural compactado, assenta uma camada de enrocamento de pedra sobre a qual foi colocada uma membrana drenante, que por sua vez foi coberta por massame de betão armado, onde foi instalada a placa de assentamento isolante da tubagem do piso radiante hidráulico, que é embebido em betão leve, que por sua vez é revestido por

betonilha de regularização de forma a receber o pavimento final em mosaico cerâmico assente com cimento cola.

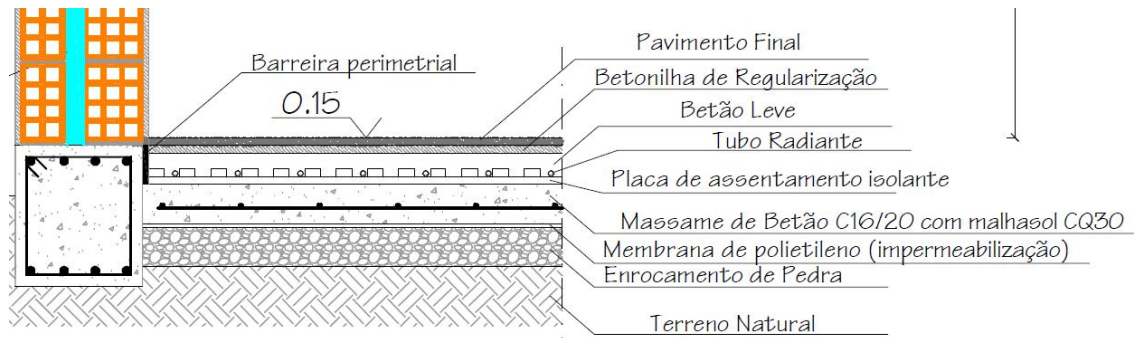


Figura 6.12 - Pormenor de corte no pavimento térreo

6.2.4 LAJE E TECTO

A laje de esteira é construída em betão armado pré-esforçado com 0,20 m de espessura, tendo na sua face superior a aplicação de placas de Poliestireno XPS 40 mm, na face inferior revestimento com reboco de argamassa hidráulica pintado com tinta de água.

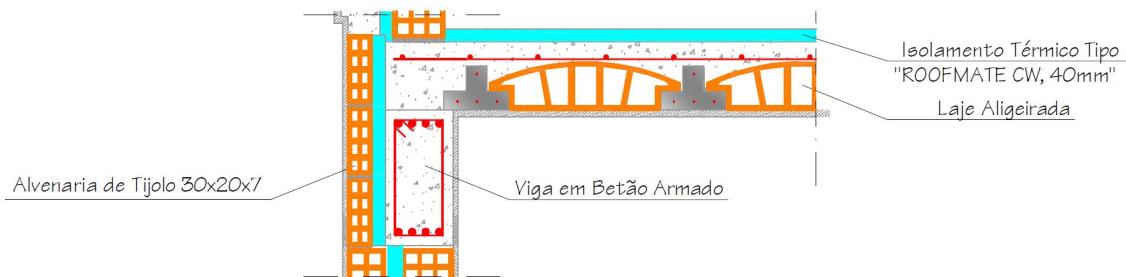


Figura 6.13 - Pormenor de corte laje do teto

6.2.5 Portas e janelas

As portas exteriores são constituídas por perfis em alumínio termolacado com rutura térmica almofadadas.

Todas as janelas são construídas com grade em perfis de alumínio termolacado com rutura térmica, preenchida com vidro duplo. A face exterior das janelas é guarnecida com portadas também em alumínio termolacado.

6.2.6 Características dos materiais utilizados

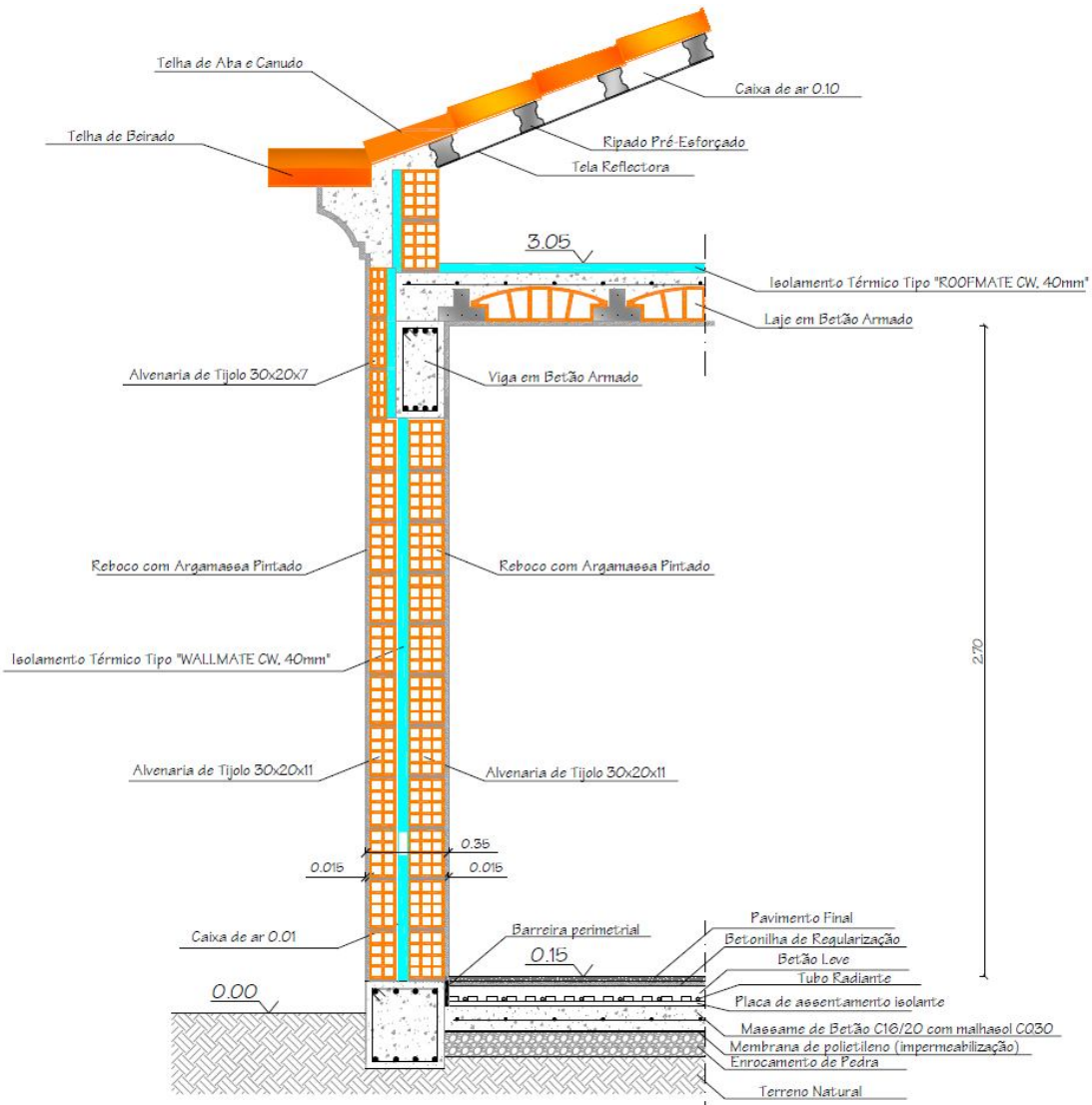


Figura 6.14 - Pormenor do corte geral na fachada da moradia

Todos os materiais que compõem os elementos construtivos da moradia apresentam características técnicas próprias que diferem bastante em alguns parâmetros, nomeadamente na sua resistência mecânica, densidade, e no comportamento térmico.

6.2.6.1 Comportamento térmico dos materiais

Tratando-se o presente estudo de uma análise de um sistema de climatização de um edifício, é de extrema importância conhecer as características de comportamento térmico dos materiais utilizados na construção.

6.2.6.1.1 Coeficiente de condutibilidade térmica

O coeficiente de condutibilidade térmica de um material, quantifica a facilidade com que o calor se propaga ou transmite através de um determinado material, ou seja consiste na quantidade de calor que passa durante uma hora por 1 m² de uma parede com 1 m de espessura constituída pelo material em causa, quando a diferença de temperatura entre as suas faces é de 1 °C. A condutibilidade térmica (λ) é expressa em W/m.K ou W/m. °C.

6.2.6.1.2 Coeficiente de transmissão térmica

O coeficiente de transmissão térmica de um material (K) encontra-se definido pela expressão que permite calcular o fluxo de calor (Q) produzido, e que relaciona o produto da área S (m²) do elemento material que separa dois locais pela diferença de temperatura em eles t1 e t2 (em °C), e o fluxo de calor Q.

6.2.6.2 Coeficientes necessários para simulação

Para a presente simulação é necessário fornecer ao *Software*, informação sobre os materiais utilizados e a forma como são associados entre si. Para tal será necessário definir a composição das diversas camadas e introduzir alguns coeficientes dos materiais utilizados, especialmente a sua espessura, densidade, condutibilidade e calor específico, entre outras. Na tabela seguinte são apresentadas algumas características e coeficientes dos materiais utilizados na execução do edifício.

Material		Rugosidade	Espessura m	Condutividade l=W/mK	Densidade Kg/m3	Calor Específico J/KgK	Absortância Térmica	Absortância Solar
Argamassa	Reboco	Media Lisa	0,02	1,300	1900	900	0,90	0,30
	Betonilha	Media Lisa	0,08	1,300	1900	900	0,90	0,30
Betão	Armado Laje	Rugosa Media	0,2	2	2450	840	0,90	0,65
	Massame	Rugosa Media	0,2	2	2400	840	0,90	0,65
	600kg/m3	Rugosa Media	0,1	0,46	1050	960	0,90	0,65
Inertes	Grav., brit.	Muito Rugosa	0,1	2	1690	830	0,77	0,77
	Seixo rolado	Muito Rugosa	0,1	2	1700	830		
Laje aligeirada	Abob.+Vig.	Rugosa	0,15	1,154	1800	795,49	0,70	0,69
Membrana Drenante	PEAD	Rugosa	0,008	0,25	81,25	1900	0,70	0,50
Mosaico/Azulejo	Cerâmico	Lisa	0,01	1,3	2300	800	0,90	0,65
Telha	Lusa	Rugosa	0,01	1,2	2125	879,228	0,40	0,64
Tijolo	30x20x7	Rugosa	7	1,3	818	795,49	0,50	0,69
	30x20x11	Rugosa	0,11	0,379	670	795,49	0,50	0,69
	30x20x15	Rugosa	0,15	0,357	650	795,49	0,50	0,69
Poliestireno Extrudido XPS	30 mm	Lisa	0,03	0,035	35	1210	0,90	0,50
	40 mm	Lisa	0,04	0,035	35	1210	0,90	0,50
Tela Reflectora	EPOLI	Muito Rugosa	0,005	0,038	32	1500	0,70	0,50

Tabela 6.2 - Características dos materiais utilizados nos elementos construtivos

7 Descrição dos Sistemas de Climatização

Para poder proporcionar aquecimento, arrefecimento e abastecimento de água quente sanitária à moradia em estudo, foi elaborado um esquema geral contendo os circuitos onde estão representados todos os equipamentos e circuitos de ligação. No esquema foi dividido em duas partes, o lado do fornecimento onde é efetuada a produção (*Supply Side*), e o lado da procura (*Demand Side*) onde é realizado consumo. Por sua vez no lado do fornecimento, também existem outros sub-setores do circuito onde para cada componente do sistema existe sempre um lado de fornecimento e outro de procura.

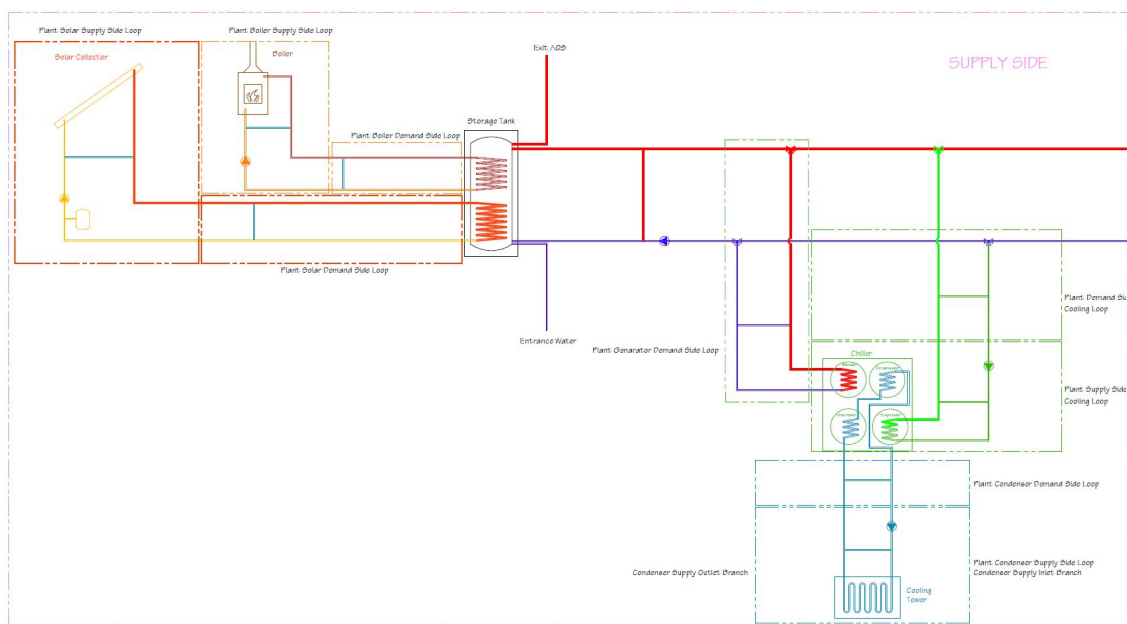


Figura 7.1 - Circuito do lado do fornecimento (Supply Side)

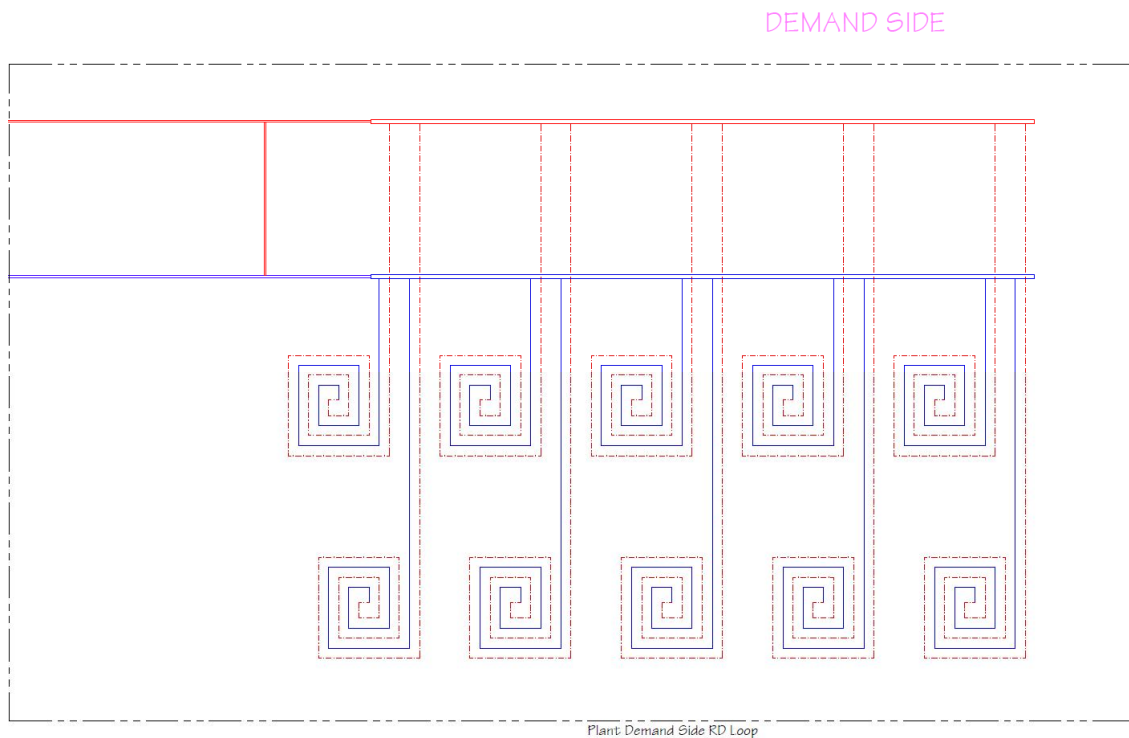


Figura 7.2 - Circuito do lado do consumo (Demand Side)

7.1 Circuito do lado do fornecimento

7.1.1 Fornecimento de calor

7.1.1.1 Circuito dos Colectores

Para a produção de água quente necessária para alimentar os sistemas instalados na moradia, decidiu-se pela instalação uma área de colectores solares, composta por uma bateria de colectores solares ligados em paralelo.

O angulo de inclinação dos colectores é muito importante uma vez que pode afetar a quantidade de energia captada durante o ano, pelo que deve ser tido em conta uma vez que o objetivo deste estudo é efetuar uma simulação que maximize o aproveitamento da energia solar durante todo o ano. Contudo é de realçar que durante este período, as necessidades de aquecimento são substancialmente superiores às de arrefecimento, pelo que a escolha da inclinação recaiu naquela que favorece mais o período de aquecimento.

7.1.1.2 Depósito de inércia térmica

Para poder maximizar o aproveitamento do volume de água quente produzida nos colectores solares e rentabilizar a sua eficiência térmica, a instalação tem um depósito de acumulação de água quente, que a disponibilizará posteriormente consoante as necessidades do sistema, nos períodos em que não existe radiação solar.

7.1.1.3 Caldeira de apoio

Nos períodos em que a água quente produzida nos colectores solares não é suficiente para abastecer as necessidades de funcionamento do sistema, entrará em atividade uma caldeira de apoio que funcionará através da queima de biomassa, no sentido de suprir as necessidades de água quente para uso sanitário, e do sistema de aquecimento e de arrefecimento do edifício.

7.1.2 *Fornecimento de arrefecimento*

7.1.2.1 Circuito do Chiller de Absorção

Durante o processo de funcionamento do *chiller* de absorção para a produção de água arrefecida, é necessário alimentar continuamente o gerador com água quente armazenada no depósito de inercia térmica (*Storage Tank*), que é produzida nos colectores solares.

7.1.2.2 Circuito da Torre de arrefecimento

Será instalada uma torre de arrefecimento destinada a dissipar o calor em excesso existente no condensador e no absorvedor durante o processo de funcionamento do *chiller* de absorção. O fluido térmico circulará continuamente dentro do circuito de refrigeração através do auxílio de uma bomba entre o *chiller* a torre de arrefecimento.

7.2 *Circuito do lado do consumo*

7.2.1 *Pavimento radiante hidráulico*

O método escolhido para climatizar a moradia foi através da instalação de um sistema de piso radiante hidráulico embebido numa das camadas do pavimento, tendo sido criado um circuito independente para cada um dos compartimentos existentes, que foram ligados através de uma caixa de colectores à rede principal de abastecimento. A rede principal de abastecimento por sua vez será ligada a dois nós de fornecimento, um ao depósito de

inércia (*Storage Tank*) de modo a fornecer o circuito com água quente, e outro ao *Chiller* de absorção para fornecer água arrefecida ao piso.

7.2.2 Instalação da tubagem no pavimento

Existem diversas formas de instalação e distribuição da tubagem no pavimento, variando consoante as características do compartimento a climatizar, com o tipo de materiais utilizados na construção, e com o próprio sistema de piso radiante.

Na instalação da tubagem deve ser tida em conta o seu posicionamento no eixo vertical, ou seja a sua localização entre as camadas que compõem o pavimento, e também no eixo horizontal pela forma como é efetuada a distribuição da tubagem ao longo da superfície da camada sobre a qual ela assenta.

No caso da moradia do estudo, a tubagem ficou assente sobre a placa de assentamento com a superfície pitonada, e recoberta pela camada de betão leve, conforme é visível no pormenor de pavimento térreo.

A distribuição da tubagem ao longo da camada de assentamento encontra-se efetuada de modo a beneficiar termicamente as zonas mais sujeitas a perdas de calor, nomeadamente as zonas de janelas e de paredes exteriores.

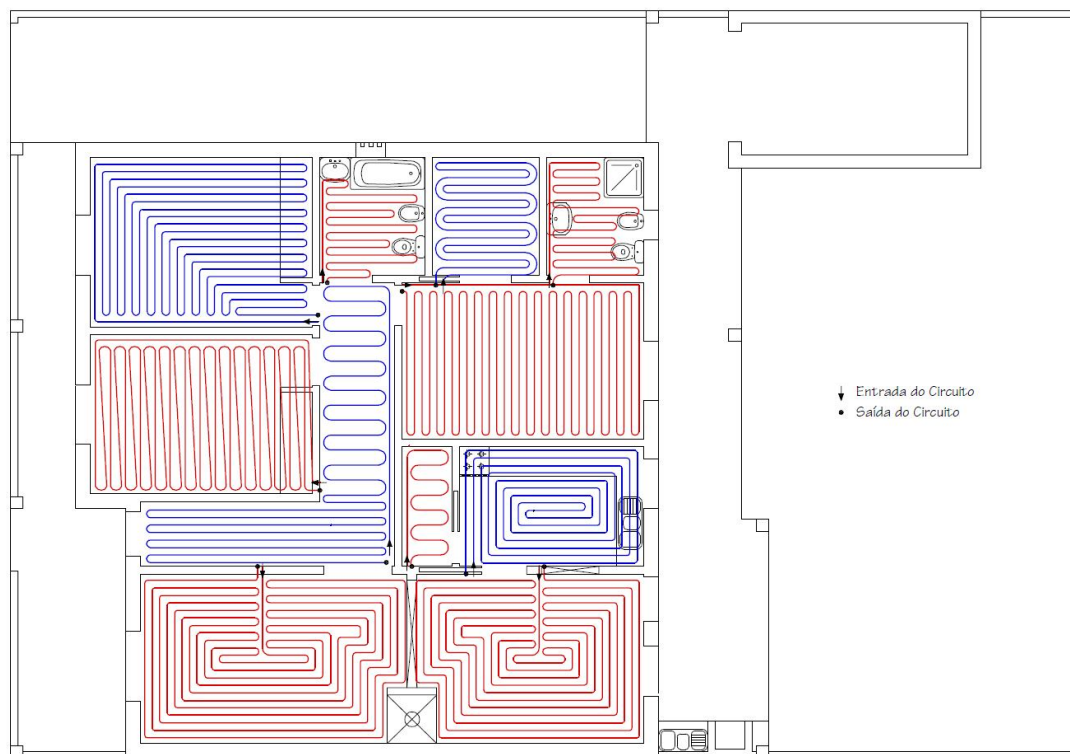


Figura 7.3 - Distribuição da tubagem de piso radiante hidráulico nos compartimentos

8 Aplicação do Software EnergyPlus

8.1 Apresentação do Energyplus

O *EnergyPlus* é um *software* modular de simulação numérica e dinâmica permite fazer uma avaliação energética dos edifícios e dos seus sistemas. O *EnergyPlus* que resulta da fusão de dois programas já existentes como o DOE-2 e o BLAST (*Bluind Loads Analysis and System Thermodynamics*), efetuada nos Estados Unidos pelo Departamento de Energia (*US Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy*) em colaboração com o *Lawrence Berkley National Laboratory*. (University-of-Illinois, 2010) (Wray & Sherman, 2010)

Dentro das potencialidades do programa, é possível encontrar módulos de cálculo integrados com a capacidade para resolução de diversos problemas, entre os mais significativos é de destacar:

- Solução simultânea e integrada de resposta entre edifício e os sistemas primário e secundário acoplados (iteração realizada quando necessário);
- Definição de Intervalos de tempos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variável para interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);
- Utilização de ficheiros (ASCII) de entrada, saída e climáticos que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até 1/4 hora) e relatórios padrão reajustáveis pelo usuário;
- Soluções técnicas de equilíbrio para cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiantes e convectivos na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos de construção como paredes, telhados, pisos, etc, usando funções de condução de transferência;
- Modo de transferência de calor do solo através de links para modelos tridimensionais, diferença finita entre solo e o modelo, e técnicas analíticas simplificadas

- Modelo combinado de transferência de calor e massa, e incorporação de humidade de adsorção/dessorção, com integração de camada por camada, para as funções de transferência de condução ou como efetiva penetração de humidade na profundidade do modelo (EMPD)

- Modelos de conforto térmico com base na atividade, dentro do bulbo seco, humidade, etc.

Modelo de céu anisotrópico para melhorar os cálculos da radiação solar difusa sobre superfícies inclinadas;

Cálculo avançado de vãos incluindo controlo de estores, envidraçados electrocrómicos, balanço térmico camada por camada que permite a determinar da energia solar absorvida pelos vidros;

Controlo de iluminação natural, incluindo cálculos de iluminância interior, simulação e controlo de brilho, controles de luminárias, e o efeito da redução da iluminação artificial no aquecimento e arrefecimento

Sistemas de HVAC configuráveis em circuitos (convencionais e radiantes), que permitem ao usuário simular sistemas típicos e sistemas poucos modificados, sem ter que recompilar o código fonte do programa;

Cálculo de poluição atmosférica que avaliam CO₂, SO_x, NO_x, CO, partículas de matéria, e a produção de hidrocarbonetos para ambos os lados e a conversão de energia remota.

A combinação dos vários módulos do *EnergyPlus* permite calcular a energia necessária para aquecer e arrefecer um edifício, através da utilização de diversos equipamentos e fontes de energia de origem variada, associado às condições climáticas da região onde se pretende efetuar a simulação.

Os compartimentos existentes num edifício são compreendidos pelo programa como zonas térmicas, em que os limites da cada uma das zonas é definido através da introdução das coordenadas dos vértices de cada elemento que as constitui, podendo o processo ser realizado através da introdução direta no editor de texto do *Energyplus* em formato IDF (*Input Date File*) o que implica a necessidade de implantar o edifício num sistema de coordenadas xyz e atribuir previamente os valores para cada vértice, ou então de forma mais simples e rápida recorrendo ao *SketchUp* da *Google* com a instalação do *plug-in*

(Legacy OpenStudio Plug-in for Google SketchUp) que possibilita a criação gráfica de um modelo tridimensional das zonas térmicas do edifício, cujo formato do ficheiro resultante tem a mesma extensão “.idf”, permitindo posteriormente no editor do *EnergyPlus*, a introdução dos dados necessários para a caracterização do edifício, nomeadamente a determinação da envolvente, sombreamentos, a definição dos materiais utilizados, a ocupação e dos ganhos internos ou sistemas arrefecimento e aquecimento.

Partindo de um projeto de arquitetura elaborado em “*AutoCad*”, foi exportado um ficheiro em formato DXF contendo uma planta de apresentação, que serviu de base para o desenvolvimento do modelo tridimensional utilizado o “*Sketchup*” diretamente associado ao *Plug-in Legacy OpenStudio do EnergyPlus*, que permitiu criar as 12 zonas térmicas que compõe a análise energética do edifício.

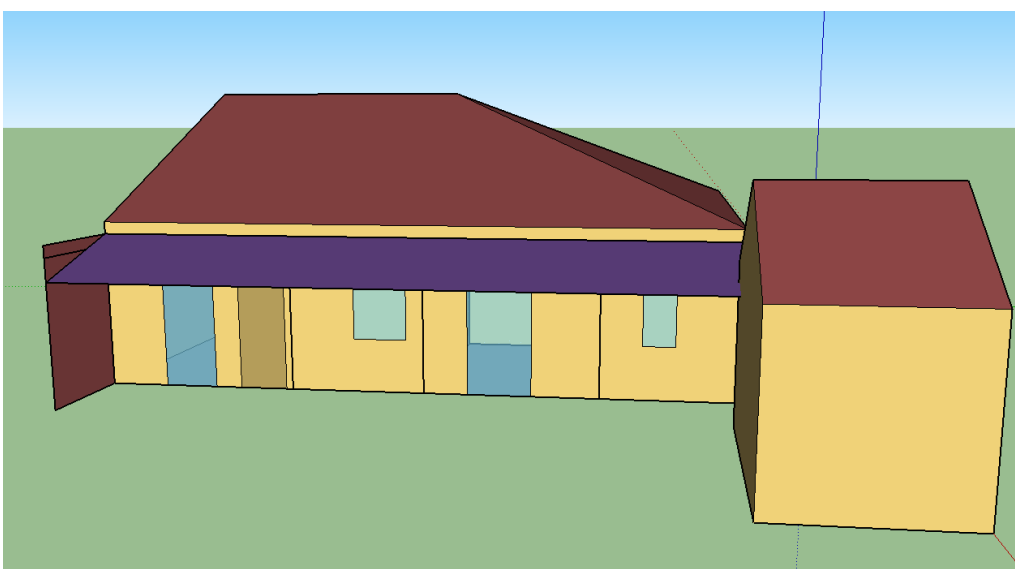
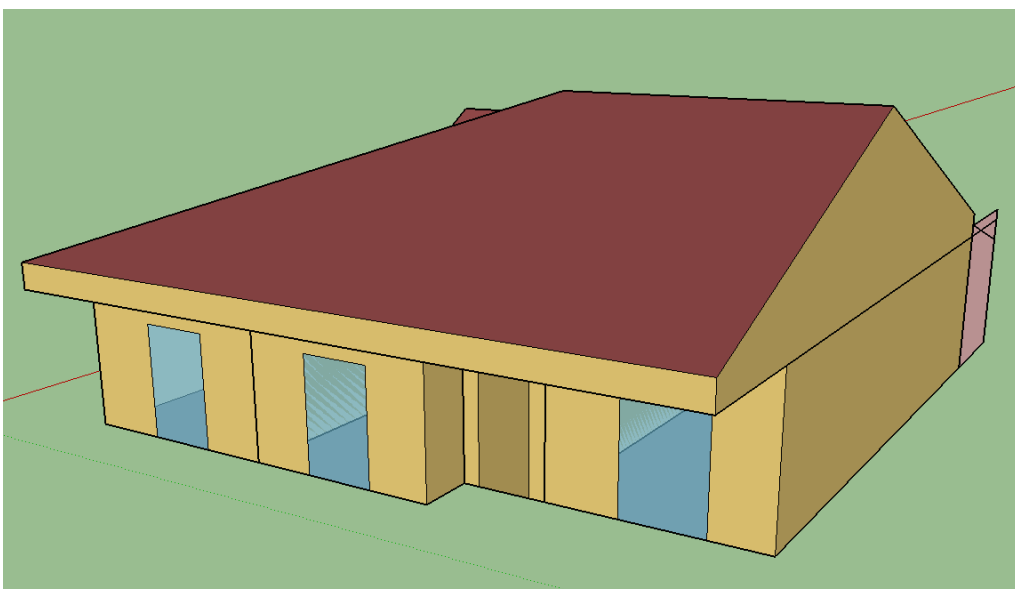
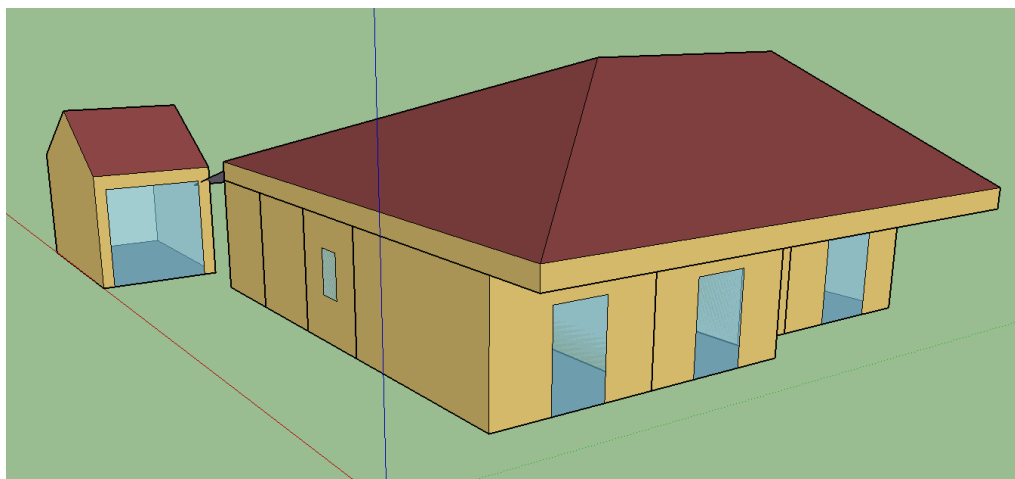


Figura 8.1 - Perspetivas tridimensionais das zonas térmicas da moradia

O *software EnergyPlus* tal como descrito anteriormente foi concebido nos Estados Unidos, e como tal o interface, comandos e terminologias são todos em inglês. Porém é possível utilizar o português na introdução de alguns dos dados nomeadamente nomes, pelo que sempre que possível será utilizada a língua portuguesa. Contudo em alguns casos embora permita utilizar o português, optou-se pela descrição em inglês para facilitar o entendimento na introdução dos dados nos campos requeridos.

8.2 Introdução de informação

Para a efetuar uma simulação energética dependendo da dimensão do problema, e do objetivos finais a que se destina, será sempre necessário recolher todos o tipos de informações necessárias, que terão que ser introduzidas nos campos selecionado como é óbvio. Para a seleção dos comandos a efetuar, bem como para a introdução de dados no *Energyplus*, não será necessariamente obrigatório seguir sempre a forma hierárquica apresentada na raiz do programa, podendo se necessário na sua grande maioria transitar de forma aleatória entre grupos, o que significa por exemplo que para duas simulações completamente idênticas, possamos iniciar a introdução de dados em grupos completamente distintos. Neste caso para simplificar de certa forma o entendimento do funcionamento do *Software*, decidiu-se seguir a forma hierárquica apresentado pelos grupos do programa.

Ficheiro de dados Climáticos “*Weather File*”

Os ficheiros climáticos são fundamentais para efetuar o cálculo durante a simulação de um edifício numa determinada região. Na página do *Energyplus* é disponibilizada a possibilidade fazer *download* de ficheiros climáticos de oito regiões de Portugal, nomeadamente de Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal, Lajes, Lisboa e Porto.

8.2.1 EP-Launch

O *EP-Launch* é a primeira janela de interface entre o utilizador e o programa, e onde são carregados o ficheiro que contém toda a informação introduzida nos diversos grupos e classes necessárias à execução da simulação, e também o ficheiro climático da região

onde se pretende efetuar a simulação. Na mesma janela é possível escolher o método de edição e introdução de dados, podendo optar entre editor de texto e editor IDF. É também no *EP-Launch* que se encontra o botão de comando de execução da simulação, bem como dos botões de visualização dos resultados finais da simulação.

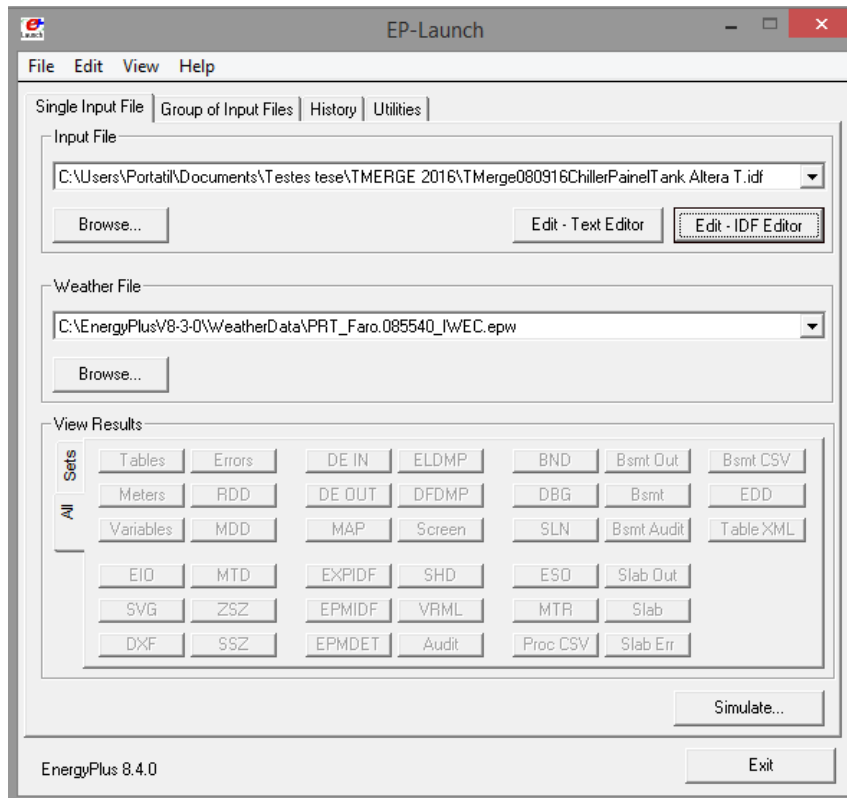


Figura 8.2 - Menu do *EP-Launch*

8.2.2 *Idf Editor*

Na presente simulação optou-se pela visualização dos grupos e introdução de dados através da opção IDF Editor, pelo facto de ser mais simples e intuitivo.

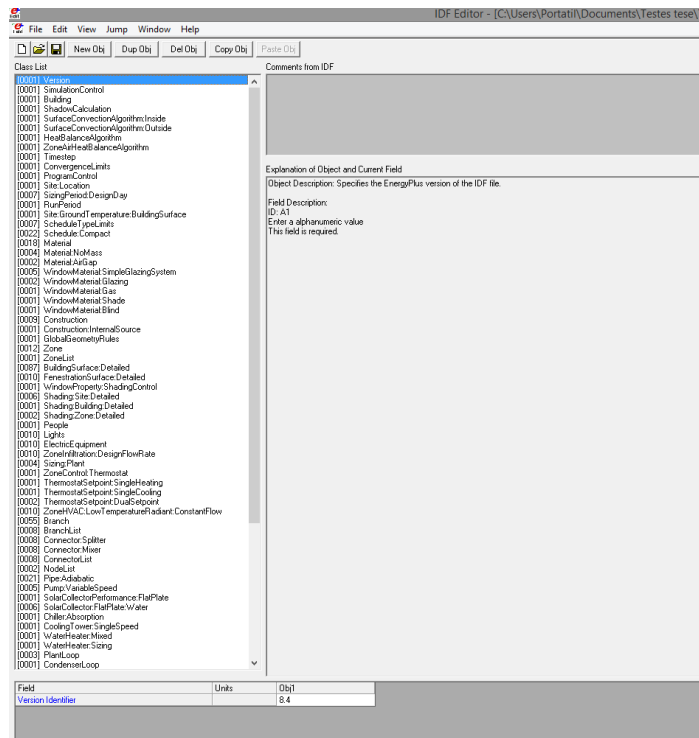


Figura 8.3 - Menu geral do Idf Editor

8.2.3 Grupo “Simulation Parameters”

8.2.3.1 Simulation Control

Nesta classe foram definidas as condições de controlo da simulação, podendo optar-se por vários parâmetros tais como dimensionamento em planta, por períodos restrito de tempo entre outros, neste caso foram utilizados ficheiros climáticos, e a simulação escolhida é a “Do Zone Sizing Calculation” o cálculo por zona térmica e “Run Simulation for Weather File Run Periods” e pelo período de um ano.

8.2.3.2 Building

Na classe “Building” é definido o nome a dar ao edifício que servirá de identificação ao longo de toda a simulação, que neste caso denomina-se “Moradia-L6”, é também neste objeto que se define a orientação geográfica da edificação, o tipo de zona onde está implantado nomeadamente se é uma zona rural, cidade ou subúrbios, também o tipo de distribuição solar é aqui selecionado que neste caso recaiu sobre a opção “FullInteriorAndExterior“, o que significa que não haverá obstáculos que causem sombreamento, sendo que toda a radiação incidente será absorvida pelo pavimento, paredes e cobertura.

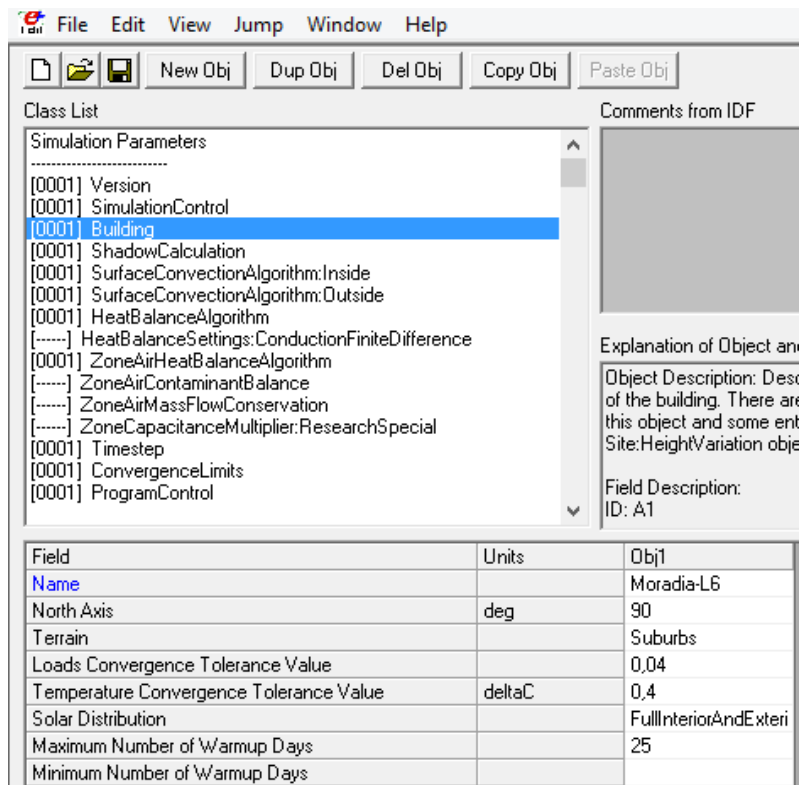


Figura 8.4 - Menu da Classe *Building*

O máximo número de dias quentes “*Maximum Number of Warmup Days*”, a considerar para um edifício do tipo desta moradia, foram indicados 25 dias. Os outros campos foram mantidos os valores pré-definidos pelo programa.

8.2.3.3 *Timestep*

Nesta classe definiu-se o intervalo de tempo da simulação, tendo a opção de escolha recaído para períodos de cálculo efetuados em intervalos de 15 em 15 minutos, o que significa 4 períodos de cálculo por cada hora.

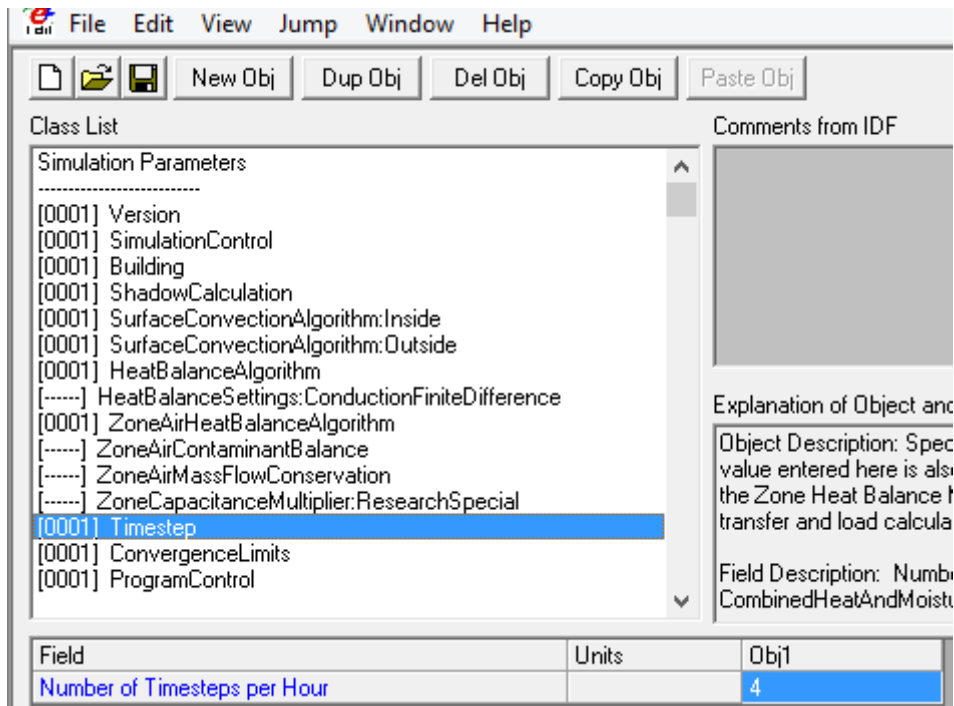


Figura 8.5 - Menu da Classe *Timestep*

8.2.4 Grupo “Location And Climate”

8.2.4.1 Site:Location

A classe “*Site:Location*”, foi definida a localização geográfica do edifício, com a indicação das coordenadas referentes à latitude e longitude, e também a referência à cota altimétrica, bem como ao fuso horário. Contudo não será necessário preencher estes campos uma vez ao carregar o ficheiro climático da região onde se pretende fazer a simulação, será possível carregar esses dados.

8.2.4.2 Sizing Period Design Days

Na classe “*SizingPeriod:DesignDays*” são indicados os dados climáticos da região onde é efetuada a simulação, mas também aqui não será necessário indicar qualquer valor uma vez que ao carregar o ficheiro climático, toda a informação será colocada nos respetivos campos.

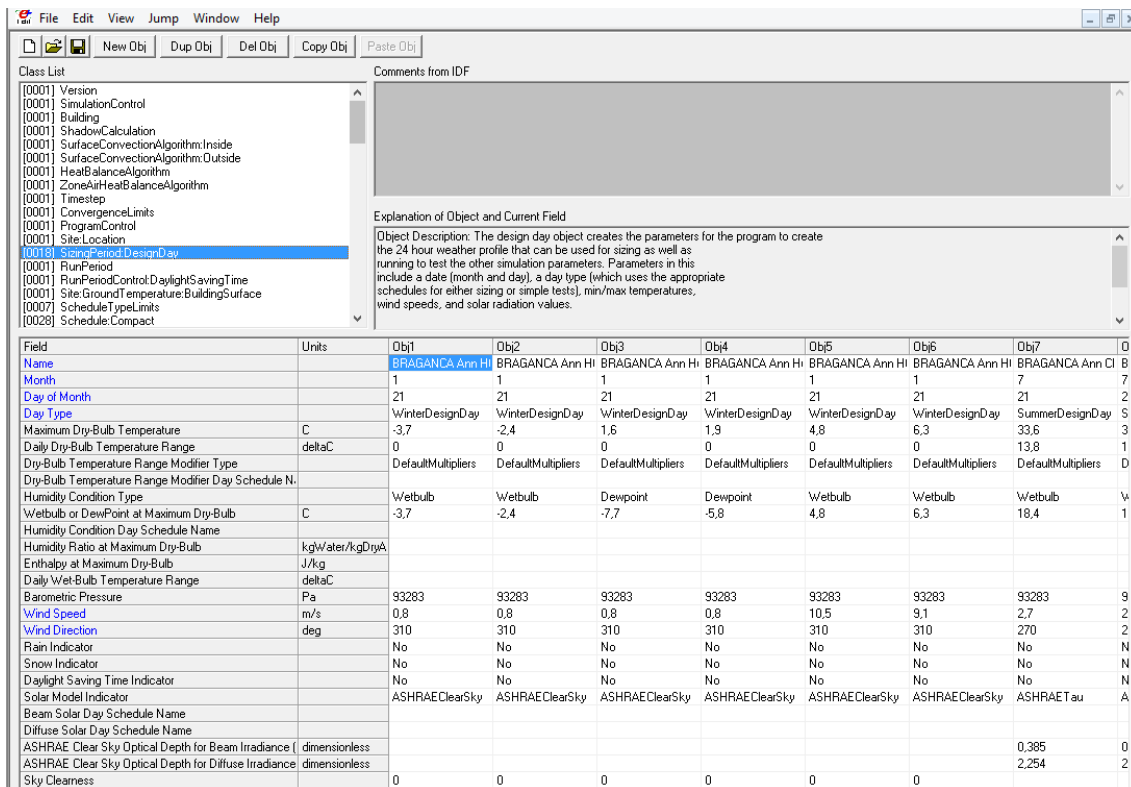


Figura 8.6 - Menu da Classe *Sizing Period Design Days*

8.2.4.3 Run Period

É na classe “*Run Period*” que se define o período de tempo onde se pretende que decorra a simulação energética. A simulação tem a duração anual e ocorre com início no dia 1 de Janeiro e termina no dia 31 de Dezembro, sem qualquer indicação referente aos dias feriado, fins de semana ou a períodos de férias, contudo os ficheiros climáticos podem conter este tipo de informação. Para o dia da semana em que se inicia a simulação, optou-se pela escolha de “*UseWeatherFile*” que permite que seja o ficheiro climático a fornecer o dia de início, e também a indicação de dias de chuva e neve.

8.2.4.4 Site Ground Temperature Building Surface

No grupo “*Site:GroundTemperature:BuildingSurface*” é indicado qual a temperatura média existente à superfície do solo durante cada mês do ano.

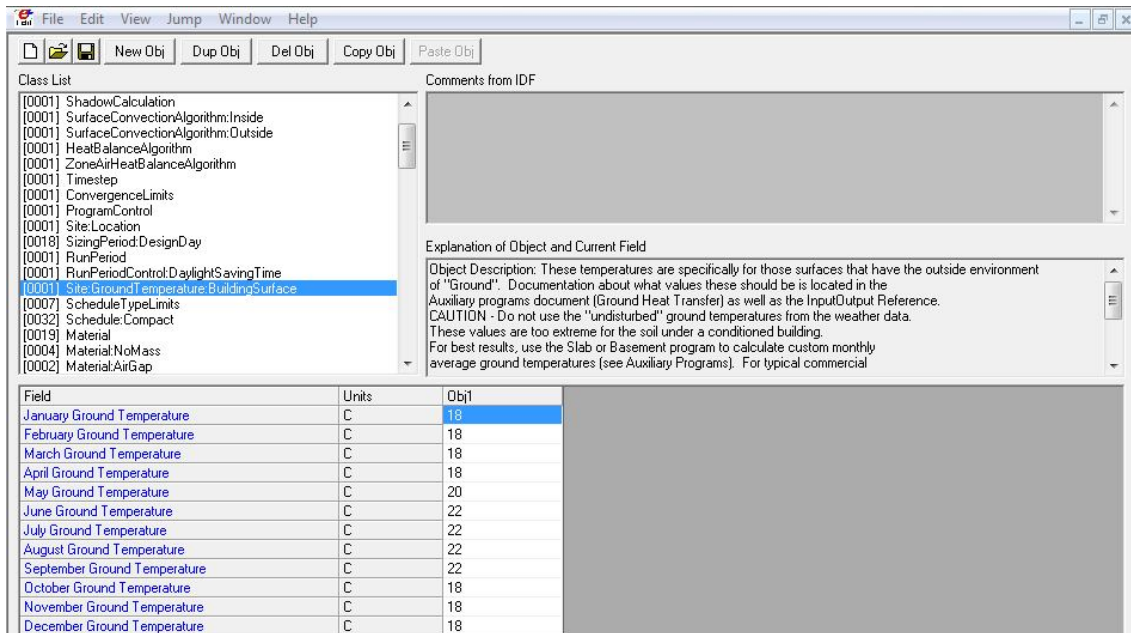


Figura 8.7 - Menu da Classe *Site Ground Temperature Building Surface*

8.2.5 Grupo “Schedules”

Neste grupo “schedules” foram definidos os horários e modos de funcionamento dos diversos sistemas existentes no edifício de acordo com as necessidades de cada período da simulação, permitido o funcionamento contínuo ou descontínuo dos equipamentos de forma a melhorar a sua eficiência. Fundamentais para definir calendários e horários de ocupação do edifício, sistema de iluminação, períodos de funcionamento dos equipamentos elétricos, climatização, controlo de temperatura da água...

8.2.5.1 Schedules Type Limits

Antes mesmo de criar as “Schedules” propriamente ditas será necessário definir alguns limites de funcionamento, neste caso foram definidos 7 *Type Limits*: *Anynumber*; *ControlType*; *Temperature*; *Fraction*; *On/Off*; *FlowRate*; *Temperature 1*.

À exceção do *Anynumber*, foi definido para todos os outros um valor de limite mínimo e outro valor de limite máximo “*Lower Limit Value e Upper Limit Value*”, a mesma situação aconteceu com o campo *Numeric Type* onde se definiu se é *Continuous* ou *Discrete*. A opção *Continuous* permite a utilização de valores inteiros ou fracionários do intervalo, no caso de *Discrete* só permite a utilização de valores inteiros do intervalo.

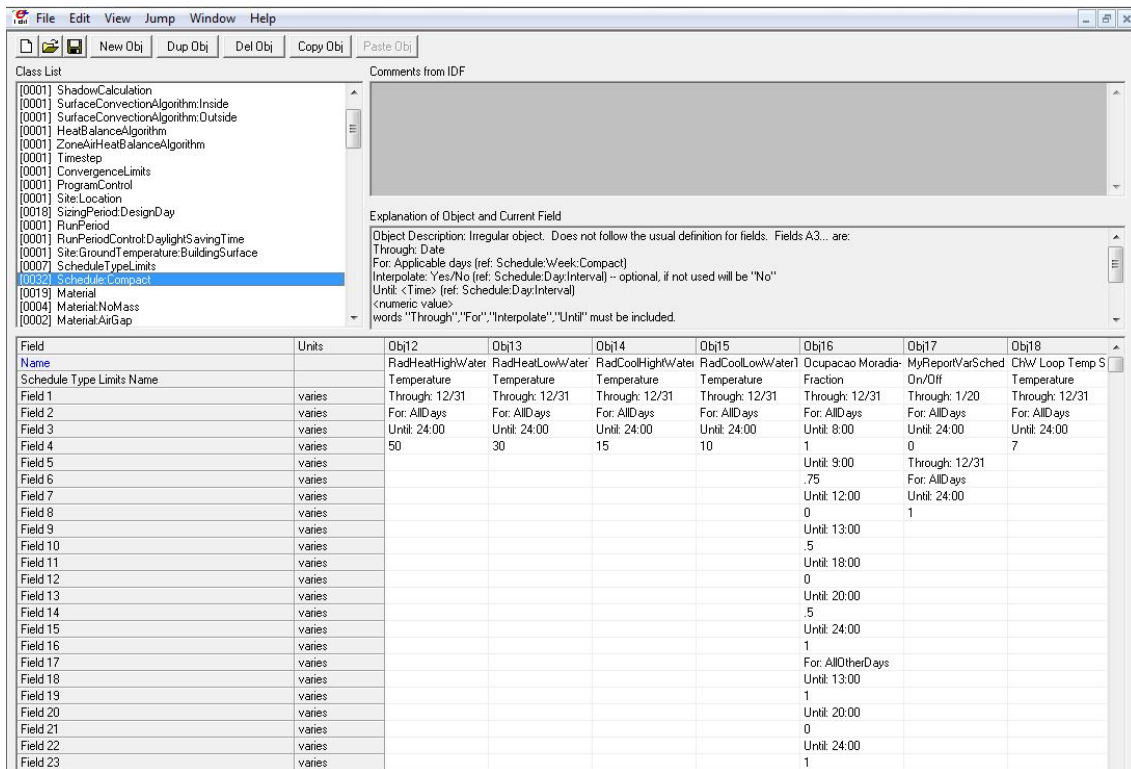


Figura 8.9 - Menu da Classe *Schedule Compact*

Na “*Schedule*” “Ocupação Moradia” criada para definir a carga de pessoas e o período em estão presentes no interior da moradia, é possível perceber que existem determinadas horas do dia em que está toda a gente em casa quando o valor é 1, e quando não está ninguém no interior o valor é 0.

Nesta “*Schedule*” “Ocupação Moradia” podemos verificar que a opção de escolha de *Type Limits* não foi contínuos mas sim *Fraction*

Through: 12/31- Significa que o período de aplicação da *Schedule* vai até dia 31 de Dezembro.

For: *AllDays* – A sua aplicação é diária

Until: 8:00 – Prolonga-se até às 8 horas

1: - 1 unidade ou seja 100%, neste caso a totalidade dos 4 habitantes

Until: 9:00 – até às 9 horas

.75: - 0,75 da unidade ou seja 75%, neste caso 3 dos habitantes

Until: 12:00 – até às 12 horas

0 : - 0 da unidade ou seja 0%, neste ninguém em casa

Until: 13:00 – até às 13 horas

.5: - 0,5 da unidade ou seja 50%, neste caso 2 dos habitantes

Until: 18:00 – até às 18 horas

0 : - 0 da unidade ou seja 0%, neste ninguém em casa

Until: 20:00 – até às 20 horas

.5: - 0,5 da unidade ou seja 50%, neste caso 2 dos habitantes

Until: 24:00 – até às 24 horas

1: - 1 unidade ou seja 100%, neste caso a totalidade dos 4 habitantes

For: *AllOtherDays* – A sua aplicação é aos restantes dias

Until: 13:00 – Prolonga-se até às 8 horas

1: - 1 unidade ou seja 100%, neste caso a totalidade dos 4 habitantes

Until: 20:00 – até às 20 horas

0 : - 0 da unidade ou seja 0%, neste ninguém em casa

Until: 24:00 – até às 24 horas

1: - 1 unidade ou seja 100%, neste caso a totalidade dos 4 habitantes

8.2.6 Grupo “*Surface Construction Elements*”

8.2.6.1 *Material*

Na classe “*Material*”, são definidos os materiais de construção que constituem o edifício, introduzindo para além do nome de identificação do material, a sua rugosidade, espessura, e o preenchimento dos campos correspondentes aos valores referentes á inércia térmica do mesmo.

No caso do Betão armado, podemos verificar que a sua rugosidade é considerada como média (*MediumRough*), apresenta uma espessura de 0,20 m; a condutividade térmica é 2

W/m-K; com densidade tem 2400 Kg/m³; o seu calor específico é de 840 J/Kg-K; a Absorvência térmica 0,9; a absorvência solar 0,65; e absorvência visível 0,65.

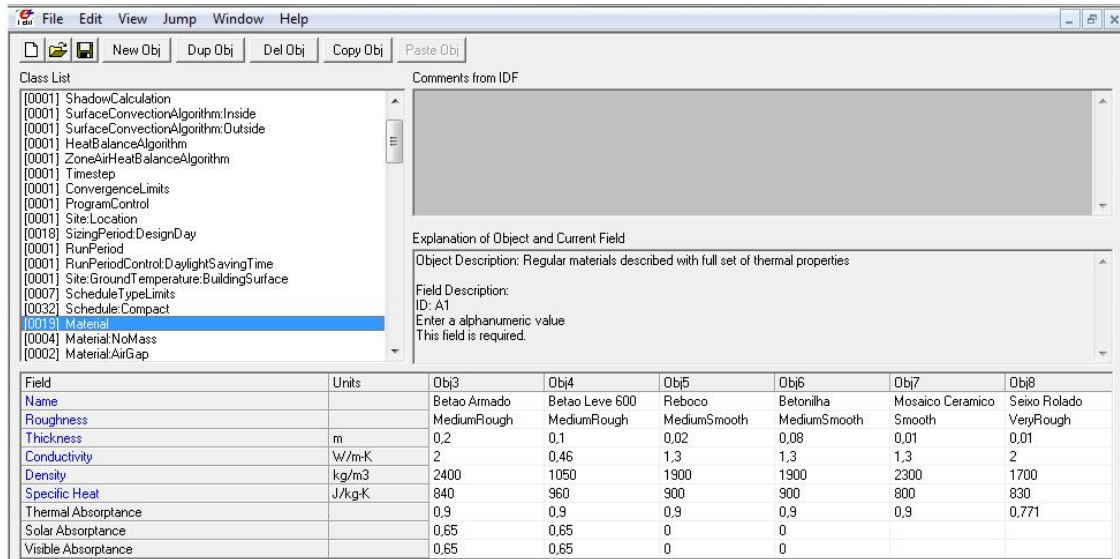


Figura 8.10 - Menu da Classe Material

8.2.6.2 Material No Mass

Nesta classe apesar referir material sem massa, na realidade os materiais aqui definidos apresentam alguma, contudo são de baixa densidade, e como tal apresentam uma reduzida retenção de calor na sua massa, e uma elevada resistência térmica, característica comum que constitui os materiais isolantes térmicos.

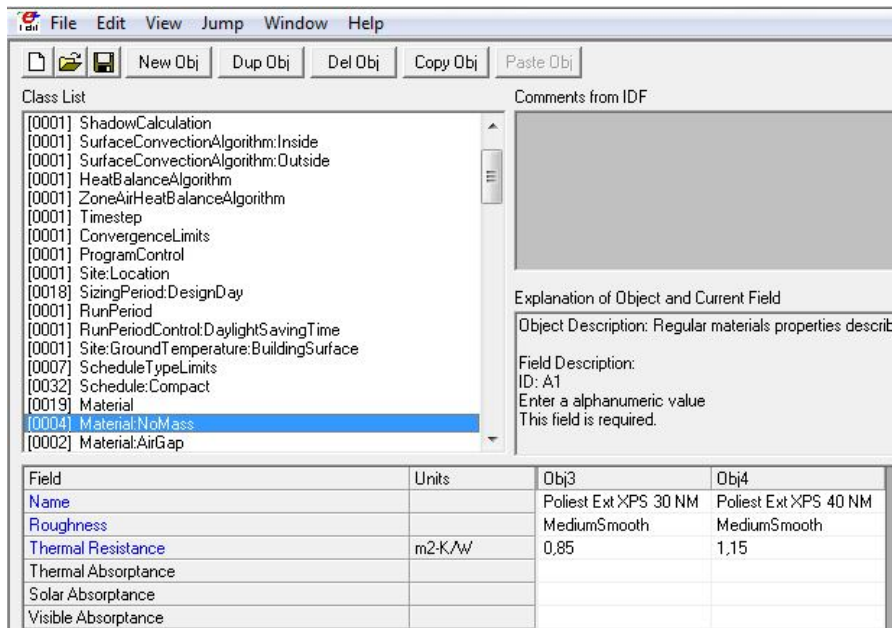


Figura 8.11 - Menu da Classe Material *No Mass*

8.2.6.3 *Material Air Gap*

Esta classe é referente ao espaço ocupado ar existente entre as diversas camadas dos materiais que constituem a construção, nomeadamente o ar que existe no interior das caixas vazadas das paredes exteriores compostas por dois panos de alvenaria de tijolo e a placa de isolamento térmico, e também o ar existente no sótão entre a face superior da laje de esteira e a face inferior das telhas que constituem a cobertura.

8.2.6.4 *Window Material Simple Glazing System*

Nesta classe é possível definir de uma forma mais simples e expedita a constituição de uma área de envidraçado, evitando ter de fazer toda a associação de camadas constituintes do vão, bastando para tal a introdução para além do nome o coeficiente de transmissão térmica e o coeficiente de calor solar ganho.

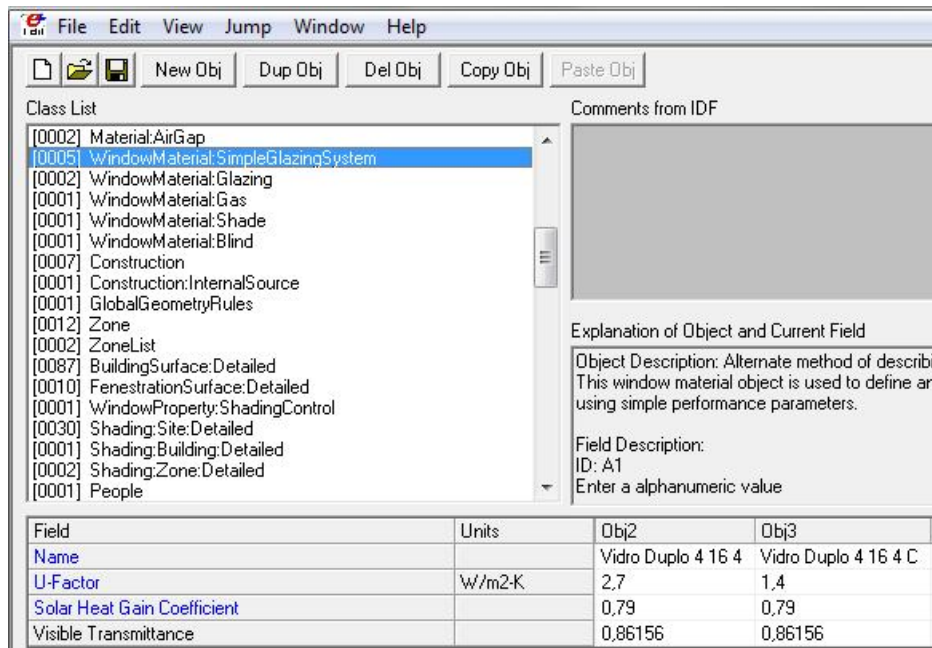


Figura 8.12 - Menu da Classe *Window Material Simple Glazing System*

8.2.6.5 *Window Material Shade*

No *Window Material Shade*, são definidos os sistemas de sombreamento móvel de janelas, no caso da Moradia, foram consideradas portadas de lamelas do tipo persiana.

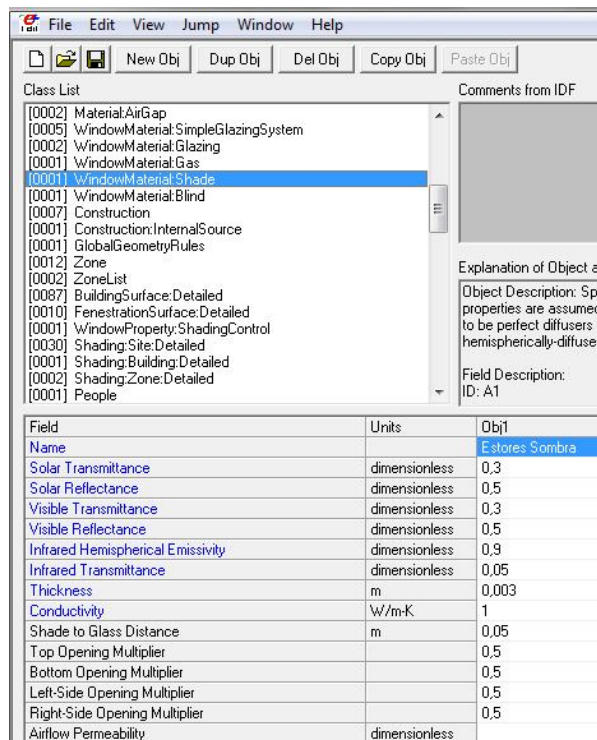
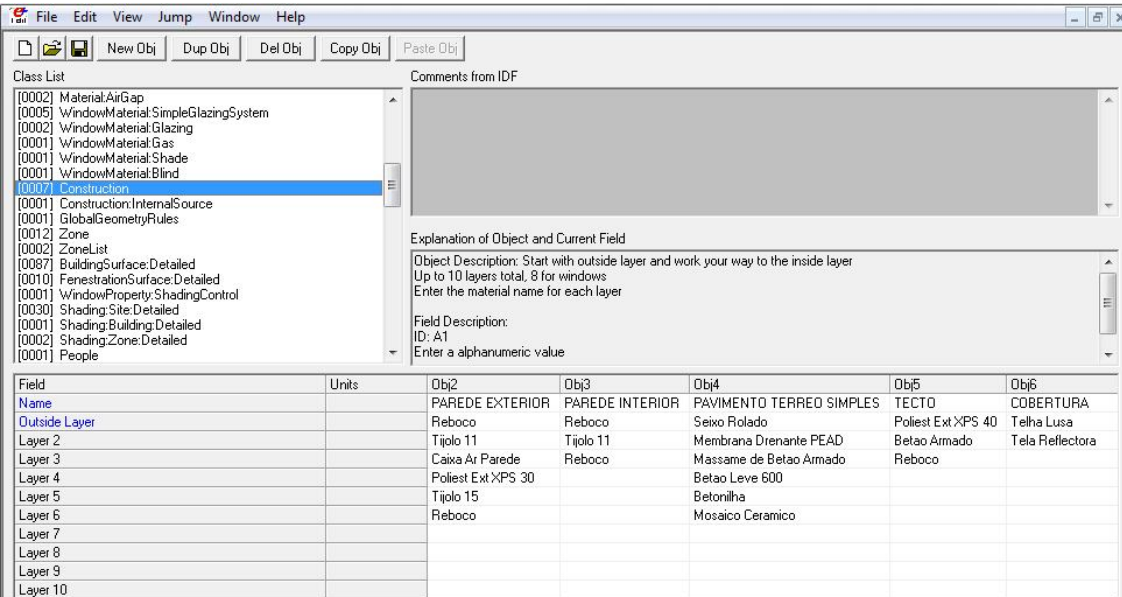


Figura 8.13 - Menu da Classe *Window Material Shade*

8.2.6.6 Construction

É na classe “*Construction*”, que se define a composição final dos elementos de construção existentes no edifício. Nesta fase é indicada a constituição e a localização das diversas camadas, formadas pela associação do exterior para o interior, dos elementos anteriormente descritos nas classes referentes a Material; Material No *Mass*; Material Air Gap; *Window Material*. Como resultante final obtemos os objetos do tipo: Parede Exterior; Parede Interior; Pavimento Térreo; Cobertura; Janela; Porta, etc.

Podemos verificar a constituição da “Parede Exterior” com a descrição efetuada do exterior para o interior da moradia, como camada de revestimento exterior o reboco seguido de um pano de alvenaria de tijolo de barro de 30x20x11; Caixa de ar; placa de Poliestireno Extrudido Expandido XPS 30; pano de alvenaria de tijolo de barro de 30x20x15 e revestimento com reboco na face interior da parede. Em relação ao Pavimento Térreo Simples, a camada exterior é o Seixo Rolado que neste caso esta assente diretamente sobre o solo, à qual se segue uma Membrana Drenante PEAD; Massame de Betão Armado; Betão Leve 600; betonilha e Mosaico Cerâmico como pavimento final.



The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left has 'Construction' selected. The main window displays the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of construction layers.

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		PAREDE EXTERIOR	PAREDE INTERIOR	PAVIMENTO TERREO SIMPLES	TECTO	COBERTURA
Outside Layer		Reboco	Reboco	Seixo Rolado	Poliest Ext XPS 40	Telha Lusa
Layer 2		Tijolo 11	Tijolo 11	Membrana Drenante PEAD	Betao Armado	Tela Reflectora
Layer 3		Caixa Ar Parede	Reboco	Massame de Betao Armado	Reboco	
Layer 4		Poliest Ext XPS 30		Betao Leve 600		
Layer 5		Tijolo 15		Betonilha		
Layer 6		Reboco		Mosaico Ceramico		
Layer 7						
Layer 8						
Layer 9						
Layer 10						

Figura 8.14 - Menu da Classe *Construction*

8.2.6.7 Construction Internal Source

A presença desta classe, deve-se ao facto de que na presente simulação, se pretender que o tipo de climatização a implementar, consista em sistemas de aquecimento e arrefecimento através de pavimento radiante com circuitos hidráulicos, o que pressupõe

desde logo a instalação no pavimento de tubagem para o efeito, o que implica que tenham que ser fornecidos dados adicionais ao *software*.

Neste caso pode-se verificar que a constituição do pavimento é idêntica à referida na classe anterior, o qual tem uma rede de tubagem hidráulica, localizada sobre a 4ª camada (*Source Present After Layer Number*); indicação de que é na 6ª camada que é efectuado o cálculo da temperatura (*Temperature Calculation Requested After Layer Number*); indicação de 0,15 m de afastamento das linhas da tubagem entre si (*Tube Spacing*), e por fim 1 para o cálculo da condensação unidimensional “*Dimension for the CTF Calculation*”

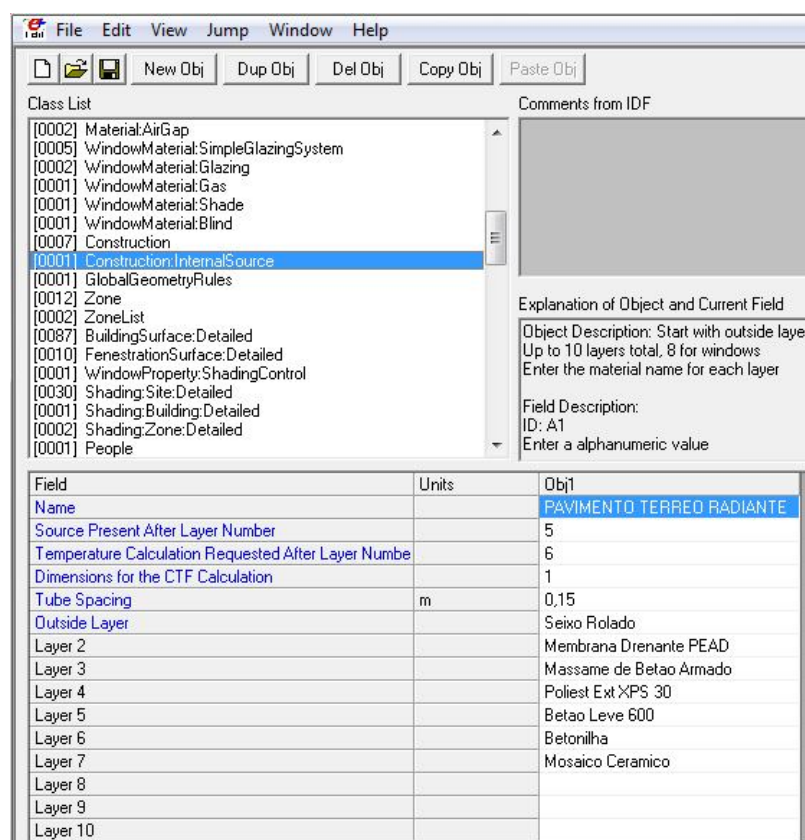


Figura 8.15 - Menu da Classe *Construction Internal Source*

8.2.7 Grupo “*Thermal Zones And Surfaces*”

8.2.7.1 *Global Geometry Rules*

Nesta classe são definidos os critérios de desenvolvimento geométricos do objeto Moradia no espaço tridimensional com os referenciais X,Y,Z, aos quais são atribuídos os valores das cotas de cada vértice. O primeiro campo refere-se ao posicionamento do

primeiro vértice, que neste caso foi considerado o superior esquerdo, e a direção dos vértices seguintes é no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, sendo as coordenadas seguintes consideradas relativas. De referir que as medidas são sempre consideradas pelo perímetro exterior das paredes exteriores.

Neste caso não necessário preencher estes campos, uma vez que a quando da execução inicial do modelo Tridimensional da Moradia no *SketchUp* estes dados foram gerados automaticamente.

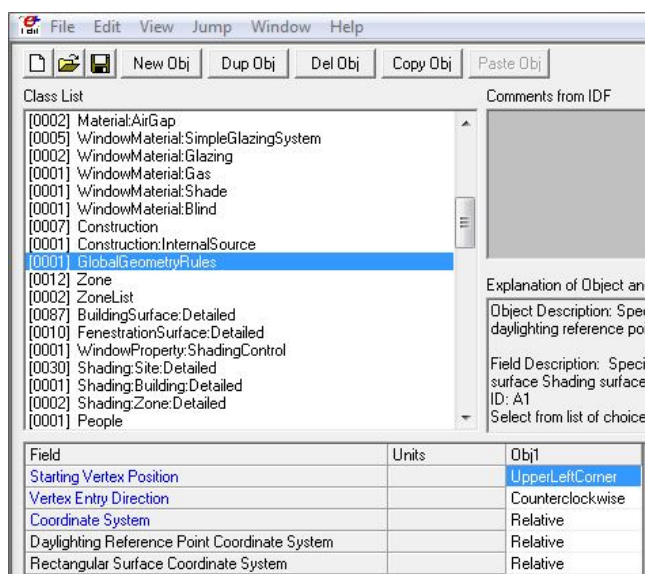


Figura 8.16 - Menu da Classe *Global Geometry Rules*

8.2.7.2 Zone

Tal como identificado anteriormente, no edifício que constitui a Moradia em estudo existem 12 divisões correspondentes a outros tantos compartimentos independentes entre si, mas no entanto todos contíguos uns aos outros, separados apenas por elementos horizontais e verticais, à exceção da Garagem que é totalmente independente. O que neste caso para efeitos de simulação energética, significa que na prática existem 12 zonas térmicas na Moradia. Também neste caso todo o preenchimento dos campos referentes ao nome da zona térmica e as respetivas coordenadas foram processados de forma direta pela associação do *SketchUp* com o *EnergyPlus* quando foi efetuado o modelo tridimensional da Moradia.

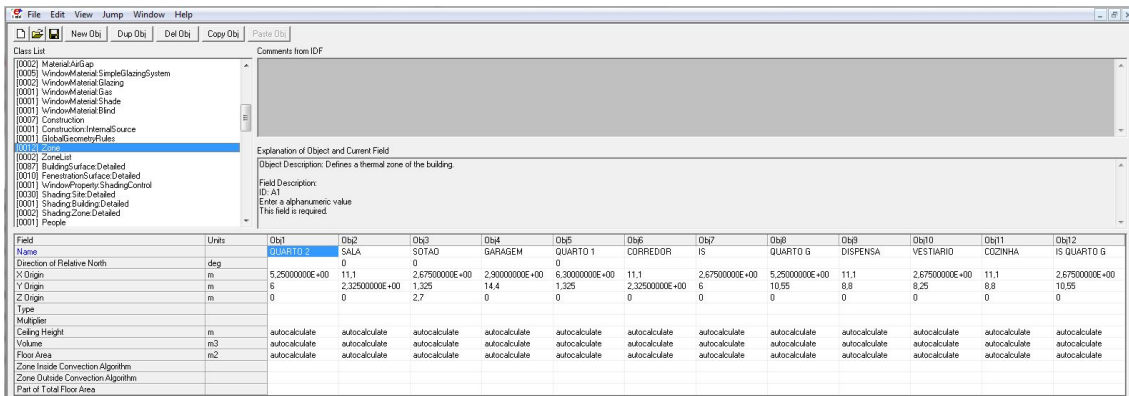


Figura 8.17 - Menu da Classe Zone

8.2.7.3 Zone List

Para simplificar o fornecimento de dados ao *EnergyPlus*, e evitar algumas repetições constantes, e permitir aumentar a fluidez de informação a introduzir, programa permite a criação de uma lista com o nome de Moradia, onde estão incluídas diretamente todas as zonas térmicas do estudo.

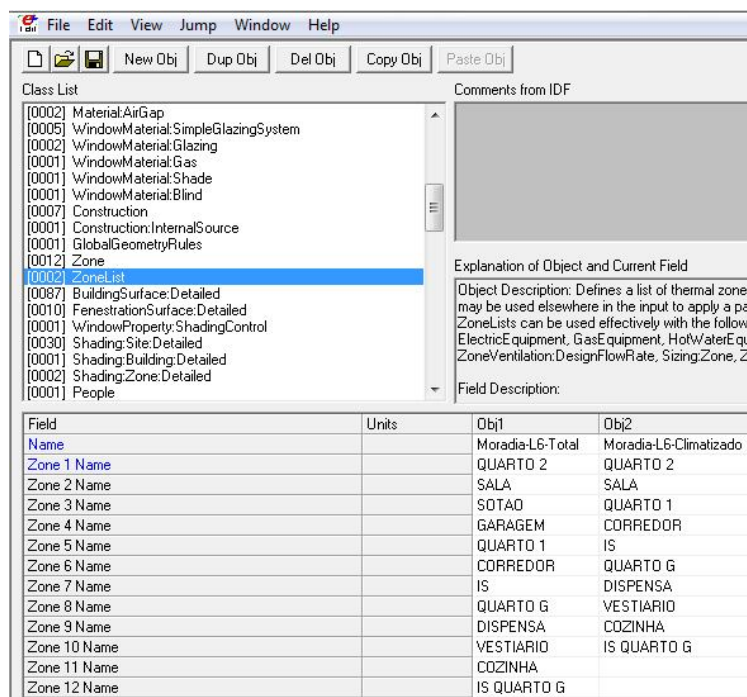


Figura 8.18 - Menu da Classe Zone List

8.2.7.4 Building Surface Detailed

É nesta classe que se pode analisar a descrição numérica completa, de todas as superfícies opacas do modelo tridimensional que constitui a moradia do estudo. Desde logo é possível ver a identificação de cada uma das superfícies existentes; qual o tipo de superfície, se é parede, pavimento, teto ou cobertura; o tipo de construção associado a cada superfície; a

que zona térmica pertence cada superfície; as condições de fronteira da superfície, se em contacto com o chão, o exterior; outra zona térmica aquecida ou não; é também visível se existe exposição solar; a existência de exposição ao vento; e mais importante ainda é a possibilidade de ver todas as coordenadas de todos os vértices no sistema XYZ, o que possibilita que todas as superfícies existentes no modelo 3D tivessem sido “georreferenciadas” dentro do universo desta construção. Neste caso em especial e mais que todos os outros, foi extremamente necessário e fundamental que todo o preenchimento dos campos referentes às respetivas coordenadas, tivessem sido processados de forma automática quando foi efetuado o modelo tridimensional da Moradia pela associação do *SketchUp* com o *EnergyPlus*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Surface 1	Surface 2	Surface 3	Surface 4	Surface 5	Surface 6	Surface 7
Surface Type		Floor	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Ceiling
Construction Name		PAVIMENTO TERF	PAREDE INTERIO	PAREDE INTERIO	PAREDE EXTERIO	PAREDE EXTERIO	PAREDE INTERIO	TECTO
Zone Name		QUARTO 2	QUARTO 2	QUARTO 2	QUARTO 2	QUARTO 2	QUARTO 2	QUARTO 2
Outside Boundary Condition		Ground	Surface	Surface	Outdoors	Outdoors	Surface	Outdoors
Outside Boundary Condition Object			Surface 19	Surface 9			Surface 30	
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed	SunExposed	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed	WindExposed	NoWind	NoWind
View Factor to Ground								
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	-2,575	1,05	1,05	-2,575	-2,575	0	-2,575
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	0	-4,675	-4,675	0	0	-4,675
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Vertex 2 X-coordinate	m	1,05	1,05	1,05	-2,575	-2,575	0	1,05
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0	-4,675	-4,675	0	0	-4,675
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	0	2,7
Vertex 3 X-coordinate	m	1,05	0	1,05	1,05	-2,575	-2,575	1,05
Vertex 3 Y-coordinate	m	-4,675	0	0	-4,675	-4,675	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	0	2,7
Vertex 4 X-coordinate	m	-2,575	0	1,05	1,05	-2,575	-2,575	-2,575
Vertex 4 Y-coordinate	m	-4,675	0	0	-4,675	-4,675	0	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7

Figura 8.19 - Menu da Classe *Building Surface Detailed*

8.2.7.5 Fenestration Surface Detailed

A classe anterior era relativa às superfícies opacas e fixas, neste caso é referente às áreas de vãos móveis, embora em termos de materiais e espessuras existam grandes diferenças, em termos de modelo tridimensional as duas classes apresentam muitas semelhanças no fornecimento de dados ao programa. As diferenças estão na identificação, neste caso as superfícies são portas ou janelas; o tipo de construção consoante o tipo de vão; com áreas envidraçadas ou não; com ou sem sombreamento de proteção, as coordenadas são

idênticas às da classe anterior e foram também obtidas da mesma forma e na mesma altura.

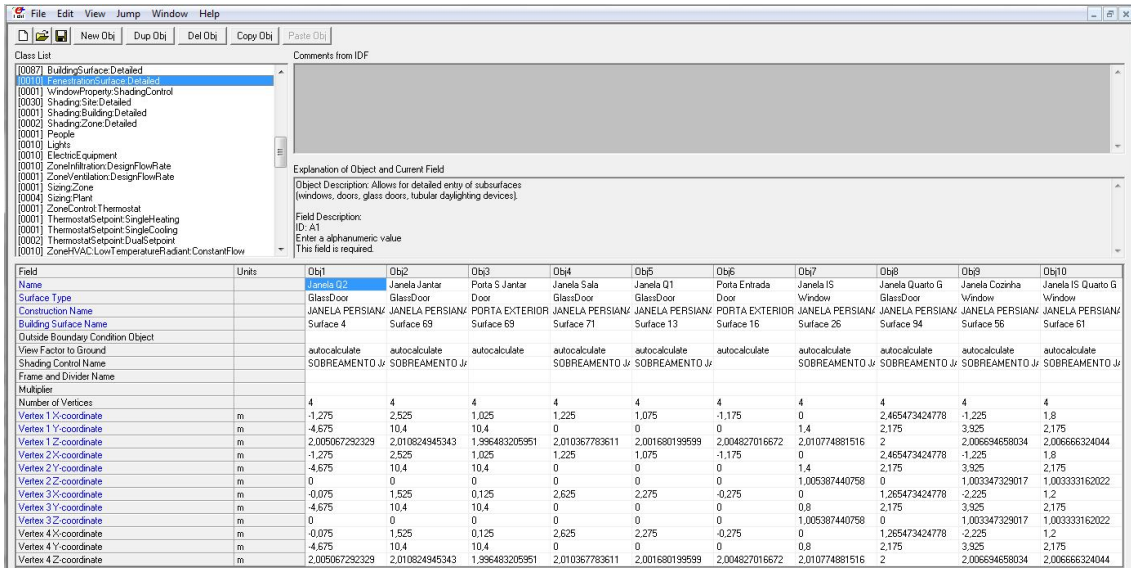


Figura 8.20 - Menu da Classe Fenestration Surface Detailed

8.2.7.6 Window Property Shading Control

Com esta classe foi possível adicionar à anterior a abertura e fecho das portadas exteriores das janelas, e permitir neste caso o seu acionamento de noite sempre que a temperatura exterior seja baixa, e durante o dia se o sistema de arrefecimento estiver ativado.. Para tal foi necessário definir um sistema de sombreamento.

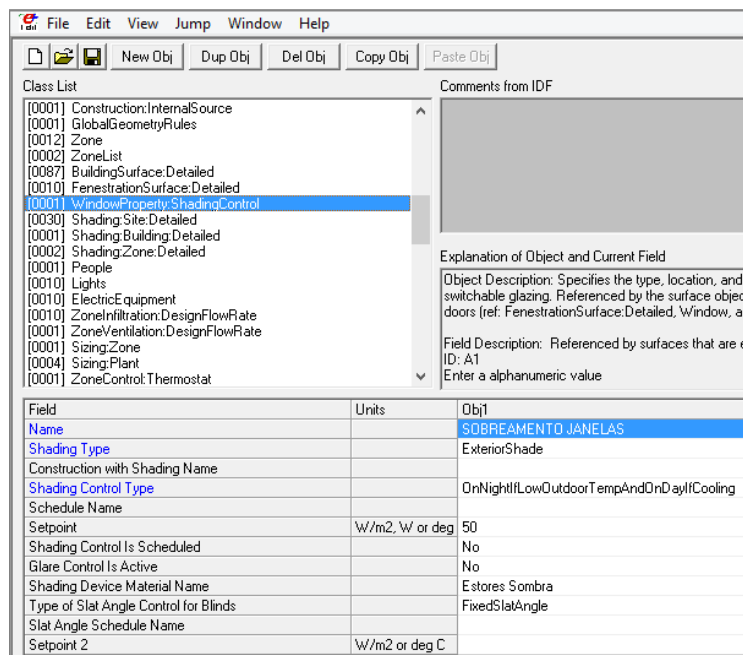


Figura 8.21 - Menu da Classe Window Property Shading Control

8.2.7.7 Shading Site Detailed

É nesta classe que é definida a localização geográfica, a orientação e a inclinação dos coletores solares existentes no circuito solar, para tal são inseridas coordenadas dos quatro vértices da área de abertura de cada um dos coletores instalados na moradia.

The screenshot shows a software window with a menu on the left and a data table at the bottom. The menu is titled 'Class List' and includes various object types. The 'Shading Site Detailed' class is selected. The data table below lists fields for 9 collector surfaces, including the number of vertices and their X, Y, and Z coordinates.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Collector Surface 1	Collector Surface 2	Collector Surface 3	Collector Surface 4	Collector Surface 5	Collector Surface 6	Collector Surface 7	Collector Surface 8	Collector Surface 9
Transmittance Schedule Name										
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4
Vertex 1 Y-coordinate	m	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007
Vertex 1 Z-coordinate	m	5,368	5,868	6,418	6,918	7,418	7,368	6,868	6,318	5,818
Vertex 2 X-coordinate	m	0	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4
Vertex 2 Y-coordinate	m	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725
Vertex 2 Z-coordinate	m	3,65	4,15	4,7	5,2	5,7	5,65	5,15	4,6	4,1
Vertex 3 X-coordinate	m	1,22	2,52	3,82	5,12	6,42	7,72	9,02	10,32	11,62
Vertex 3 Y-coordinate	m	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725	-14,725
Vertex 3 Z-coordinate	m	3,65	4,15	4,7	5,2	5,7	5,65	5,15	4,6	4,1
Vertex 4 X-coordinate	m	1,22	2,52	3,82	5,12	6,42	7,72	9,02	10,32	11,62
Vertex 4 Y-coordinate	m	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007	-13,007
Vertex 4 Z-coordinate	m	5,368	5,868	6,418	6,918	7,418	7,368	6,868	6,318	5,818

Figura 8.22 - Menu da Classe *Shading Site Detailed*

8.2.7.8 Shading Building Detailed

Tal como é visível nos desenhos do projeto da Moradia, o edifício apresenta um alpendre e uma marquise, que estão também referenciados no modelo tridimensional, exatamente da mesma forma como foi referido para as outras superfícies opacas.

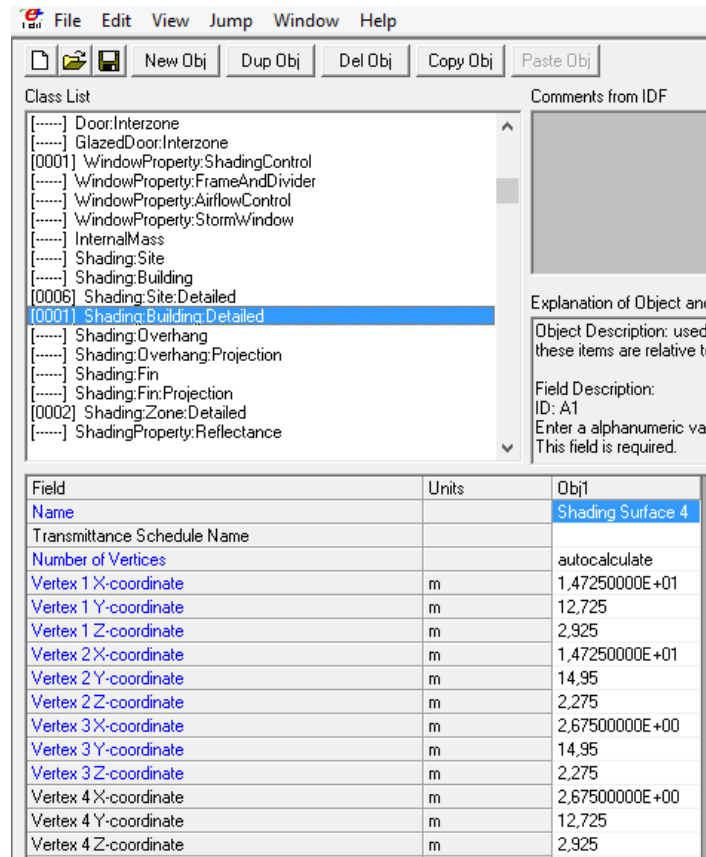


Figura 8.23 - Menu da Classe *Shading Building Detailed*

8.2.7.9 *Shading Zone Detailed*

Da mesma forma com foi referido anteriormente, estes elementos de sombra, que embora não constituam zonas térmicas como as referidas anteriormente, tem influência direta no comportamento térmico do edifício, em especial nas zonas térmicas adjacentes, uma vez que criam uma proteção direta contra os elementos atmosféricos, e criam sombreamento que reduz a incidência direta da radiação solar, e protegem contra o vento e a chuva.

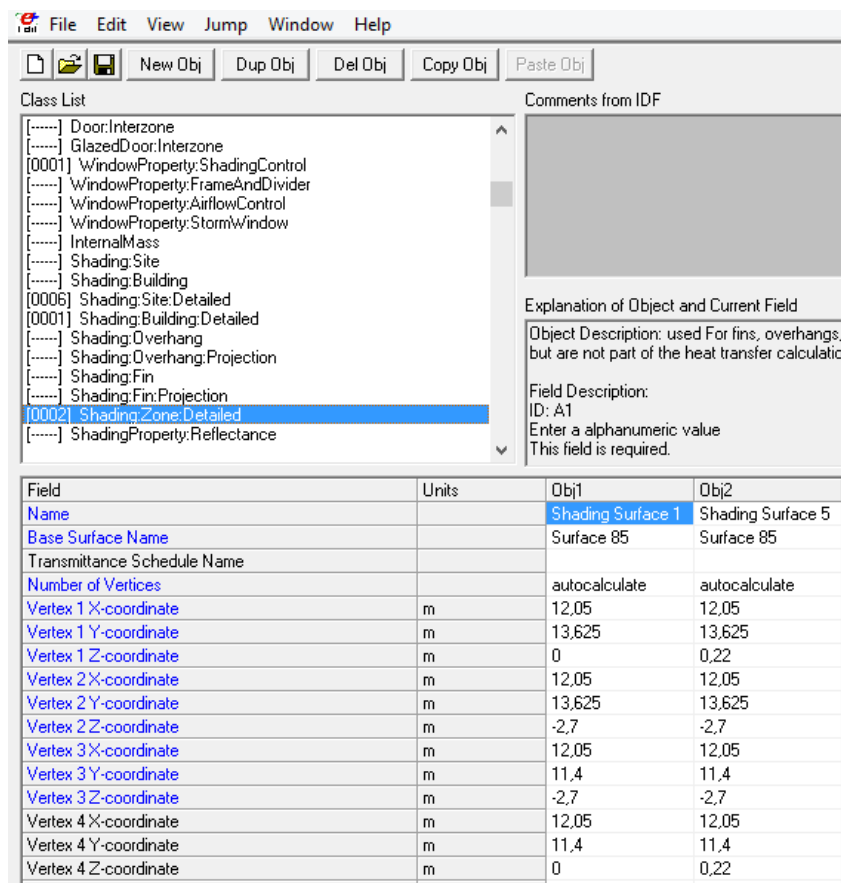


Figura 8.24 - Menu da Classe *Shading Zone Detailed*

8.2.8 Grupo “Internal Gains”

Os “*internal Gains*” como o próprio nome indica, são referente aos ganhos internos existentes no interior do edifício, e que neste caso foram consideradas fontes de três origens diferentes, a ocupação humana, a iluminação e os equipamentos elétricos.

8.2.8.1 People

Para a classe pessoas, foi criado apenas o objeto “MoradiaL6 Habitantes”, uma vez que incide em todas as zonas térmicas do edifício, é simplificado pela *Zone List* “Moradia”, para definir os períodos de ocupação e a respetiva carga, foi criada uma *Schedule Compact* com o nome “Ocupação Moradia”; e o método de cálculo considerado foi de Pessoas/Área, que neste caso consideram-se 4 ocupantes; a fração de calor sensível é auto calculada; o fator radiante por defeito é 0,3; para o nível de atividade dentro da moradia foi também efetuada uma *Schedule Compact* denominada de “Atividade Moradia”; o cálculo da temperatura média radiante é definido em média por zona.

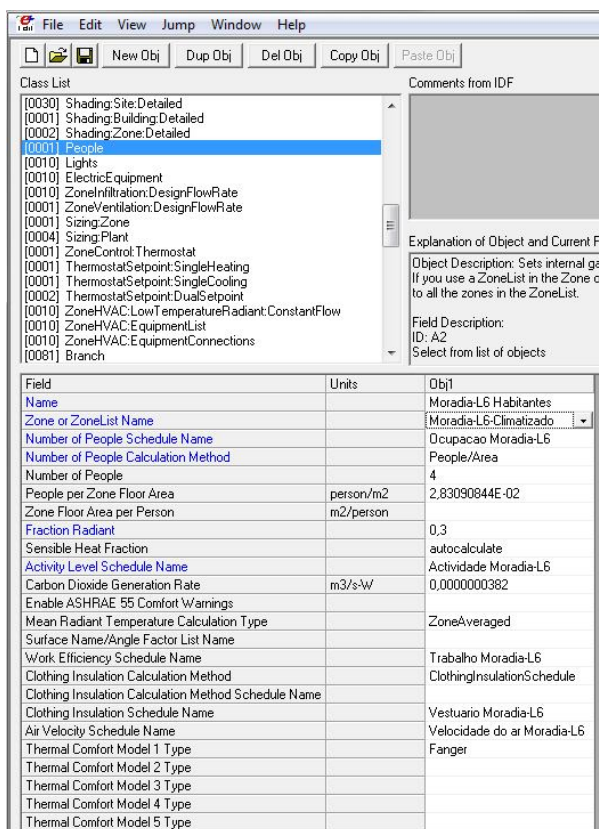


Figura 8.25 - Menu da Classe *People*

8.2.8.2 Lights

Para a classe da iluminação foram criados 10 objetos, um por cada zona térmica, aos quais foi associada uma *Schedule Compact* com o nome “Iluminação Moradia” com os horários de funcionamento; o método de cálculo para o nível de iluminação foi Watts/Área; tendo sido atribuídos valores entre 1 e 3 W/m²; os restantes valores foram atribuídos por defeito pelo programa.

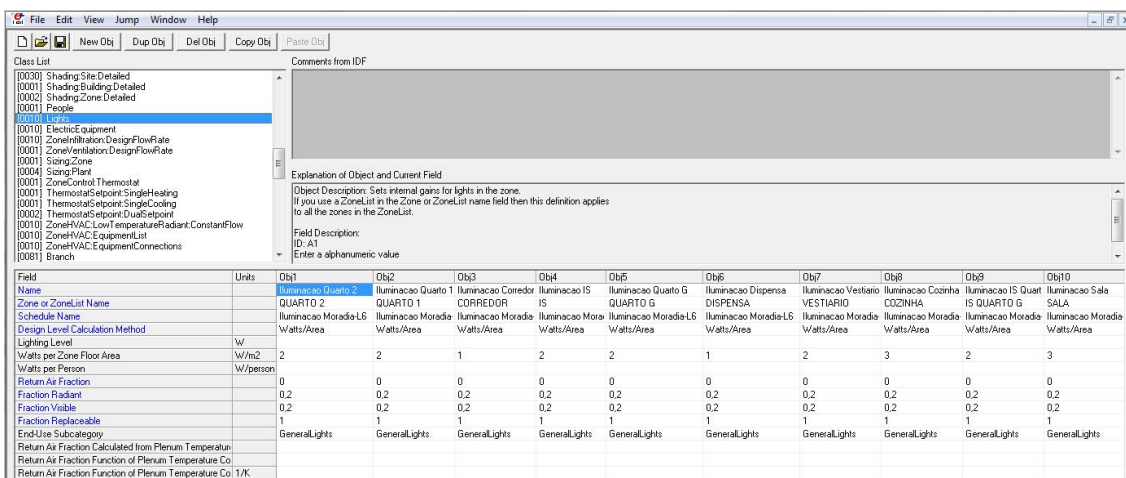


Figura 8.26 - Menu da Classe *Lights*

8.2.8.3 Electric Equipment

Relativamente ao equipamento elétrico da “Moradia” foram aplicados critérios semelhantes aos da iluminação, com a identificação das 10 zonas térmicas; foi criada uma *Schedule Compact* com o nome “Equipamento Moradia” contendo os períodos em que os equipamentos estão ativos; o cálculo é efetuado utilizando Watts/Área; o valor de W/m² varia consoante a zona; o preenchimento dos outros valores é feito de forma automática.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Equipamento Elctrico Q1	Equipamento Elctrico Q1	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri	Equipamento Elctri
Zone or ZoneList Name		QUARTO 2	QUARTO 1	CORREDOR	IS	QUARTO G	DISPENSA	VESTIARIO	COZINHA	IS QUARTO G	SALA
Schedule Name		Equipamento Moradia L6	Equipamento Moradia L6	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac	Equipamento Morac
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Design Level	W										
Watts per Zone Floor Area	W/m2	3	3	1	3	3	3	3	10	3	5
Watts per Person	W/person										
Fraction Latent		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Fraction Lost		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EndUse Subcategory											

Figura 8.27 - Menu da Classe *Electric Equipment*

8.2.9 Grupo “Zone Airflow”

Na “Zone Airflow” é definido tipo de ventilação existente no edifício vinda do exterior, a qual pode ser controlada quando existem entradas intencionais passivas ou forçadas mecanicamente. Por outro lado pode também ocorrer ventilação natural não controlada através da infiltração pelas fendas ou orifícios existentes nas paredes; pela falta de isolamento e impermeabilização; pela permeabilidade própria dos materiais aplicados; pelas frestas dos vãos exteriores, ou mesmo pelo simples efeito de abertura e fecho dos vãos existentes.

8.2.9.1 Zone Infiltration Design Flow Rate

Para o edifício em estudo, como não existem mecanismos instalados com o propósito de efetuar a ventilação, foi estabelecido que as trocas de ar existentes são do tipo infiltração natural de ar vindo do exterior. Para o efeito foram criadas 10 zonas de infiltração, identificadas com o nome das zonas térmicas da habitação; foi criada também uma *Schedule Compact* que se denominou de “Infiltração Anual”, para poder controlar o nível

de infiltração que ocorre diariamente na moradia e ao longo do ano, nomeadamente a quantidade de trocas de ar por hora que acontecem no edifício, e em que períodos são efetuadas essas trocas de ar.

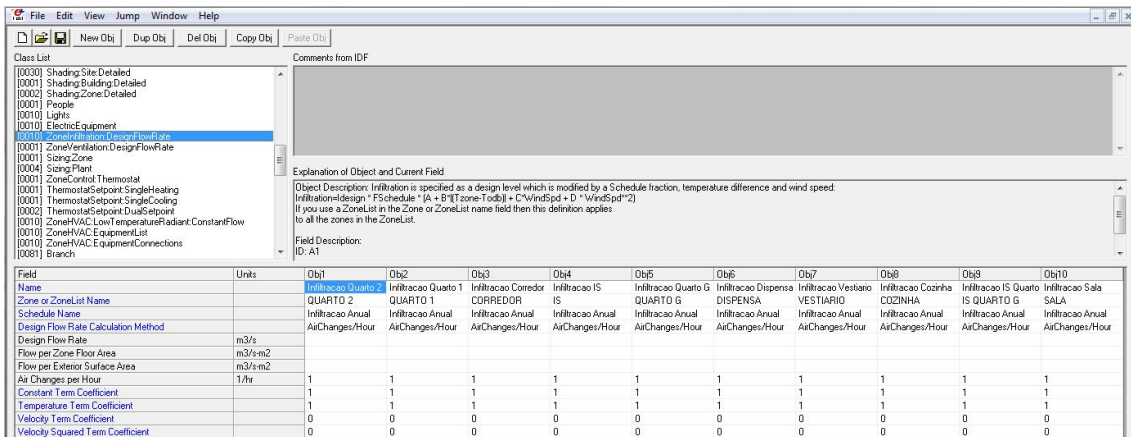


Figura 8.28 - Menu da Classe *Zone Infiltration Design Flow Rate*

8.2.10 Grupo “HVAC Design Objects”

Este grupo é utilizado pelo EnergyPlus para calcular com sucesso as cargas de aquecimento e arrefecimento de cada zona térmica, e respetivas taxas de fluxo de ar, de modo a para permitir dimensionar automaticamente os componentes do sistema de HVAC

8.2.10.1 Sizing Zone

Na classe *Sizing Zone* são inseridos os dados necessários para realizar um cálculo de fluxo de ar de cada zona térmica. Onde é definida uma quantidade variável de ar de alimentação a uma temperatura e humidade fixas.

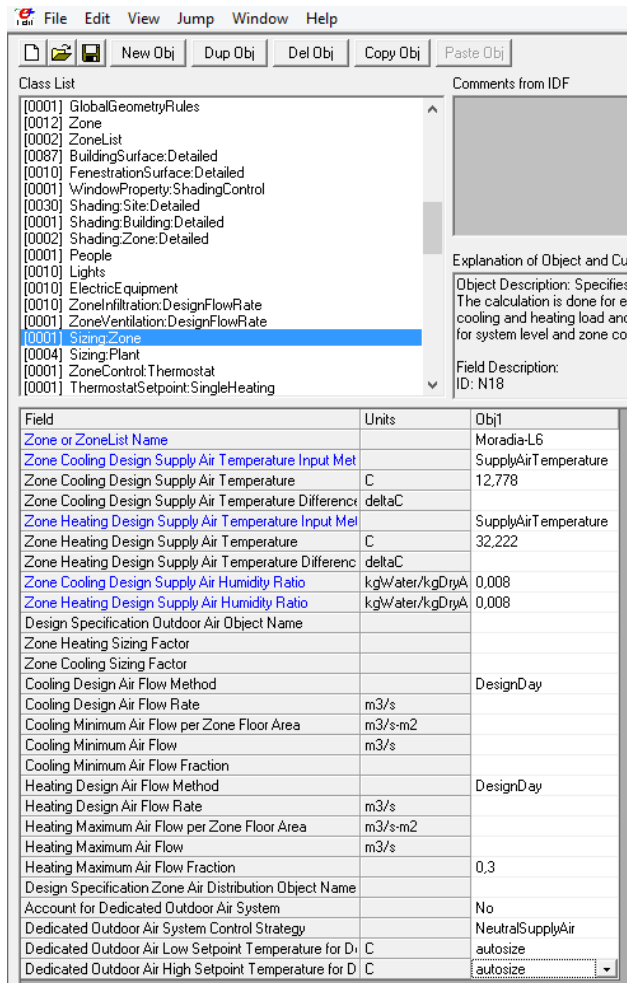


Figura 8.29 - Menu da Classe *Sizing Zone*

8.2.10.2 Sizing Plant

Esta classe é utilizada para o cálculo de sistemas que utilizam a água para aquecimento ou arrefecimento, permitindo simular as redes de um edifício e dimensionar os circuitos de água arrefecida, água quente, água do condensador e do circuito solar.

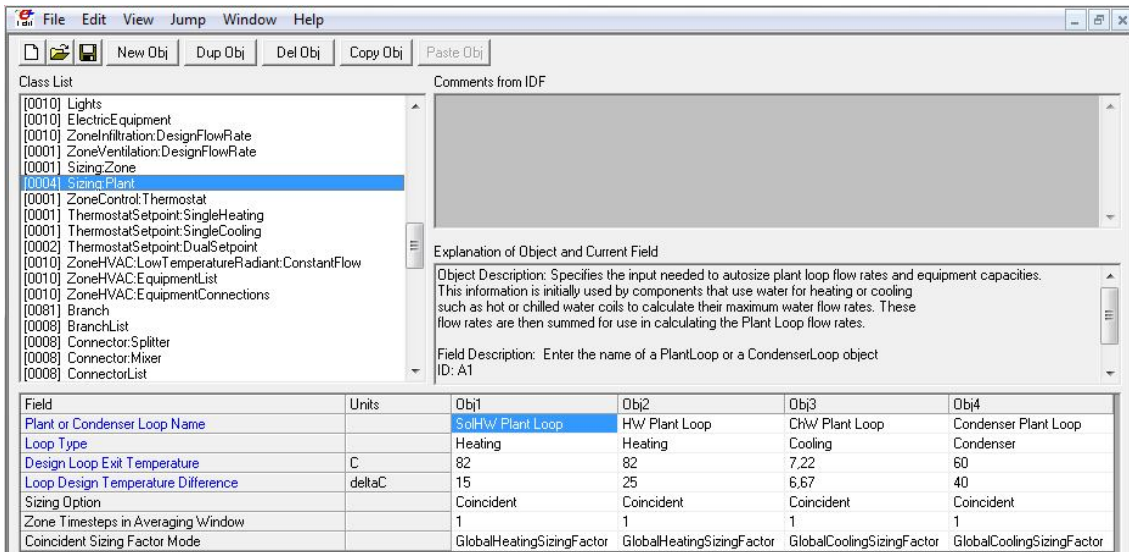


Figura 8.30 - Menu da Classe *Sizing Plant*

8.2.11 Grupo “Zone Hvac Controls And Thermostats”

Nesta classe são definidas as condições de controlo de funcionamento do sistema de AVAC existente na Moradia, de modo a que o seu funcionamento seja o mais eficiente possível em termos de conforto térmico, bem como em termos consumos energéticos.

8.2.11.1 Zone Control Thermostat

Para regular a temperatura, é necessário definir um controlo de termostato, neste caso foi criado o objeto “Termostato Zona” aplicado à *Zone List* “Moradia”; para o *Control Type* foi efectuada a *Schedule Compact* “Zone Control Type” que define as condições funcionamento (ligado/desligado/aquecimento/arrefecimento); como o sistema funciona em modo de aquecimento ou arrefecimento, é necessário criar uma classe de *Thermostat Setpoint Dual Setpoint* ao qua se atribuiu o nome de “Controlo Temperatura Duplo”, que será explicado na classe seguinte.

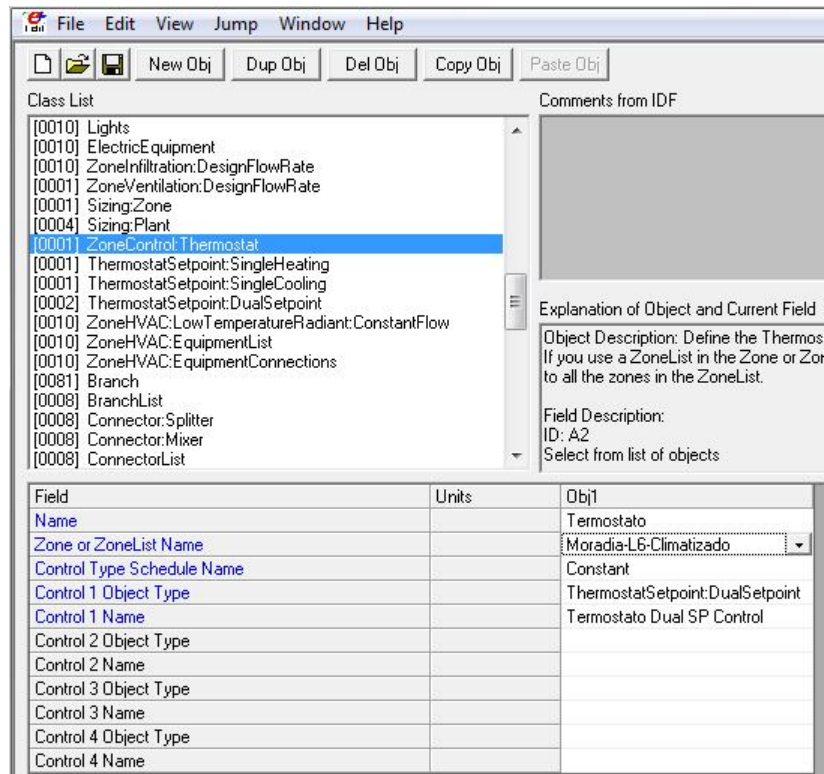


Figura 8.31 - Menu da Classe *Zone Control Thermostat*

8.2.11.2 Thermostat Setpoint Dual Setpoint

Como foi referido na classe anterior foi necessário criar previamente um *Thermostat Setpoint Dual Setpoint* denominado de “Controlo Temperatura Duplo”, no qual se associaram duas *Schedule Compact* uma para o aquecimento com o nome de “*Heating Setpoint*” e outra para o arrefecimento “*Cooling Setpoint*”.

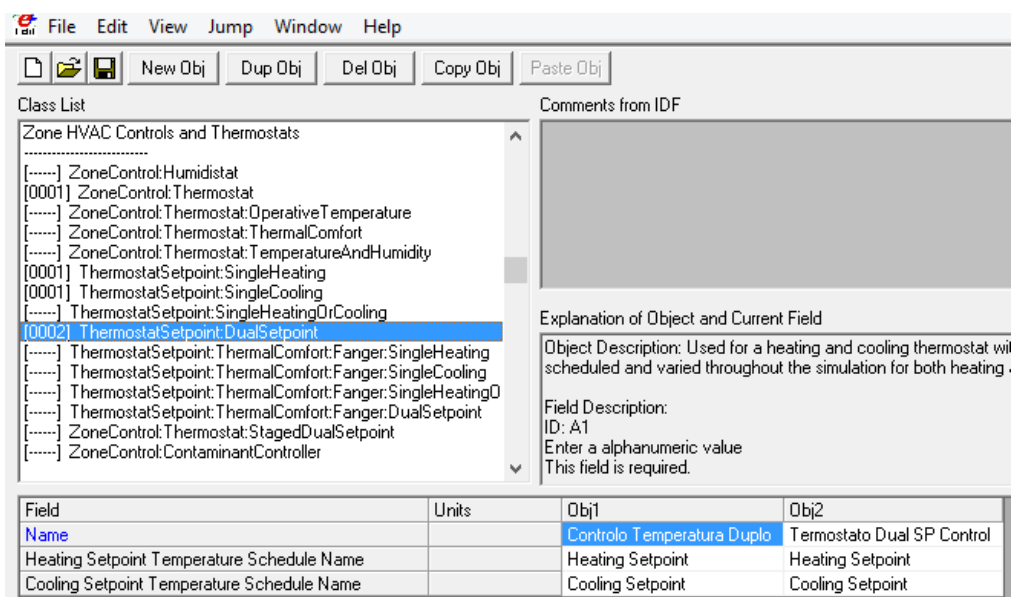


Figura 8.32 - Menu da Classe *Thermostat Setpoint Dual Setpoint*

8.2.12 Grupo “Zone Hvac Radiative/ Convective Units”

8.2.12.1 Zone HVAC Low Temperature Radiant: Constant Flow

Para climatização da “Moradia”, foi considerado um sistema de aquecimento e arrefecimento através de pavimento radiante hidráulico, tendo a opção de escolha recaído num sistema de fluxo radiante constante de baixa temperatura.

Foram criados 10 objetos identificados como o nome de cada um dos compartimentos, associados a cada uma das zonas térmicas existentes; tendo sido também assinalada qual a correspondência da superfície do modelo tridimensional com o pavimento de cada uma das zonas térmicas; para a tubagem hidráulica foi considerado um diâmetro interno de 0,016 m; o comprimento dos tubos é variável consoante a área de cada zona, pelo que os valores apresentados resultam do dimensionamento efetuado pelo *Energyplus* o controlo da temperatura é relativo ao valor médio existente; o fluxo de circulação do fluido é auto dimensionado pelo *software*. Para o *Energyplus* calcular a climatização do edifício será necessário definir para cada zona térmica dois circuitos locais, um de aquecimento e outro de arrefecimento, e cada um desses circuitos é necessário identificar um nó de entrada e outro de saída, aos quais são associados a uma *Schedule Compact* cada.

Para a ligação da tubagem de aquecimento da “Zona Térmica Radiante do Quarto 2”, foi criado um nó de entrada identificado com “Quarto 2 Radiant HW Inlet Node” e o nó de saída foi referido como “Quarto 2 Radiant HW Outlet Node”, e para controlar a temperatura de entrada do fluido foi criada a *Schedule Compact* “RadHeatHighWaterTemp”, e a temperatura de saída *Schedule* “RadHeatHighWaterTemp”. Para o arrefecimento é utilizado o mesmo método, variando a referência nos nós de água quente de “HW” para água fria “ChW”, no caso das *Schedule* estas controlam a temperatura de entrada e saída da água arrefecida.

Class List

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Low temperature hydronic radiant heating and/or cooling system embedded in a building surface (wall, ceiling, or floor). Controlled by varying the hot or chilled water temperature circulating through the unit.

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Obj2: 2 Radiant Floor	Quarto 1 Radiant Fl	Corredor Radiant Fl	IS Radiant Floor	Quarto G Radiant Fl	Dispensa Radiant F	Vestibulo Radiant Fl	Cozinha Radiant Fl	IS Quarto G Radiant	Sala Radiant Floor
Availability Schedule Name		RadiantSysAvalLched	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd	RadiantSysAvalLcd
Zone Name		QUARTO 2	QUARTO 1	CORREDOR	IS	QUARTO G	DISPENZA	VESTIARIO	COZINHA	IS QUARTO G	SALA
Surface Name or Radiant Surface Group Name		Surface 1	Surface 8	Surface 15	Surface 25	Surface 32	Surface 41	Surface 47	Surface 53	Surface 59	Surface 65
Hydronic Tubing Inside Diameter	m	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
Hydronic Tubing Length	m	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize
Temperature Control Type		MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature	MeanAirTemperature
Rated Flow Rate	m3/s	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize	autoize
Pump Flow Rate Schedule Name											
Rated Pump Head	Pa	179352	179352	18562	18562	18562	18562	18562	18562	18562	18562
Rated Power Consumption	W	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Motor Efficiency		0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1
Heating Water Inlet Node Name		Quarto 2 Radiant HW Inlet Node	Quarto 1 Radiant H	Corredor Radiant H	IS Radiant HW Inlet	Quarto G Radiant H	Dispensa Radiant H	Vestibulo Radiant H	Cozinha Radiant H	IS Quarto G Radian	Sala Radiant HW Ir
Heating Water Outlet Node Name		Quarto 2 Radiant HW Outlet Node	Quarto 1 Radiant H	Corredor Radiant H	IS Radiant HW Out	Quarto G Radiant H	Dispensa Radiant H	Vestibulo Radiant H	Cozinha Radiant H	IS Quarto G Radian	Sala Radiant HW O
Heating High Water Temperature Schedule Name		RadHeatHighWaterTemp	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater	RadHeatHighWater
Heating Low Water Temperature Schedule Name		RadHeatLowWaterTemp	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater	RadHeatLowWater
Heating High Control Temperature Schedule Name		RadHeatHighControlTemp	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl	RadHeatHighControl
Heating Low Control Temperature Schedule Name		RadHeatLowControlTemp	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl	RadHeatLowControl
Cooling Water Inlet Node Name		Quarto 2 Radiant CHW Inlet Node	Quarto 1 Radiant C	Corredor Radiant C	IS Radiant CHW Inl	Quarto G Radiant C	Dispensa Radiant C	Vestibulo Radiant C	Cozinha Radiant C	IS Quarto G Radian	Sala Radiant CHW I
Cooling Water Outlet Node Name		Quarto 2 Radiant CHW Outlet Node	Quarto 1 Radiant C	Corredor Radiant C	IS Radiant CHW Ou	Quarto G Radiant C	Dispensa Radiant C	Vestibulo Radiant C	Cozinha Radiant C	IS Quarto G Radian	Sala Radiant CHW O
Cooling High Water Temperature Schedule Name		RadCoolHighWaterTemp	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater	RadCoolHighWater
Cooling Low Water Temperature Schedule Name		RadCoolLowWaterTemp	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater	RadCoolLowWater
Cooling High Control Temperature Schedule Name		RadCoolHighControlTemp	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl	RadCoolHighControl
Cooling Low Control Temperature Schedule Name		RadCoolLowControlTemp	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl	RadCoolLowControl
Condensation Control Type		SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff	SimpleOff
Condensation Control Dewpoint Offset	C										
Number of Circuits		OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface	OnePerSurface
Circuit Length	m										

Figura 8.33 - Menu da Classe Zone HVAC Low Temperature Radiant: Constant Flow

8.2.13 Grupo “Zone Hvac Equipment Connections”

8.2.13.1 “Zone Hvac Equipment List”

Nesta classe o pavimento radiante de cada zona térmica é agrupado em listas de equipamento como a definição da sequência alternada de arrefecimento ou aquecimento.

Class List

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: List equipment in simulation order. Note that an ZoneHVACAirDistributionUnit or AirTerminalSingleDuctUncontrolled object must be listed in the statement if there is a forced air system serving the zone from the air loop.
Equipment is simulated in the order specified by Zone Equipment Cooling Sequence and Zone Equipment Heating or No Load Sequence, depending on the thermostat request.
For equipment of similar type, assign sequence 1 to the first system intended to serve that type of load. For situations where one or more equipment types has limited capacity or

Field	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name	Obj2: 2 Radiant Floor	Quarto 1 Rd Equipa	Corredor Rd Equipa	IS Rd Equipamento	Quarto G Rd Equipa	Dispensa Rd Equipa	Vestibulo Rd Equipa	Cozinha Rd Equipa	IS Quarto G Rd Equipa	Sala Rd Equipamento
Zone Equipment 1 Object Type	ZoneHVACLowTemperatureRadiantConstantFlow	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp	ZoneHVACLowTemp
Zone Equipment 1 Name	Quarto 2 Radiant Floor	Quarto 1 Radiant Fl	Corredor Radiant Fl	IS Radiant Floor	Quarto G Radiant Fl	Dispensa Radiant F	Vestibulo Radiant Fl	Cozinha Radiant Fl	IS Quarto G Radian	Sala Radiant Floor
Zone Equipment 1 Cooling Sequence	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zone Equipment 1 Heating or No-Load Sequence	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zone Equipment 2 Object Type										

Figura 8.34 - Menu da Classe Zone Hvac Equipment List

8.2.13.2 “Zone Hvac Equipment Connections”

Esta classe é referente às ligações entre as listas de equipamento e os nós de ligação exteriores.

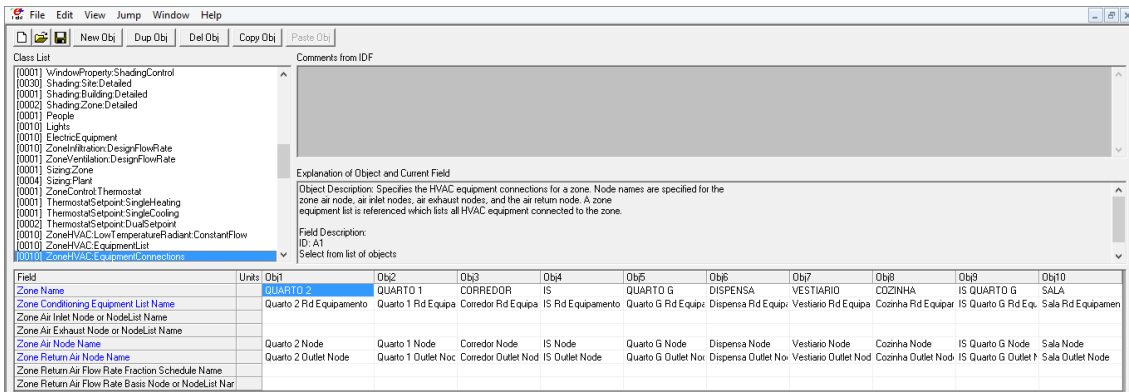


Figura 8.35 - Menu da Classe *Zone Hvac Equipment Connections*

8.2.14 Grupo “Node Branch Management”

Este grupo é referente a toda a rede tubagem e acessórios de ligação que compõem os circuitos de aquecimento e arrefecimento e AQS presentes no estudo.

Para descrever e identificar os circuitos, ramificações e os nós de ligação existentes na simulação, poderia ter sido efetuado em língua portuguesa, mas para facilitar a sequência logica no preenchimento de alguns campos optou-se pela terminologia em inglês, até porque alguns campos terão de ser referidos obrigatoriamente em inglês, como no caso da descrição de cada um dos tipos de componentes do equipamento existentes.

Os circuitos existentes são basicamente os de água quente “*Hot Water*” referidos de forma abreviada “HW” e os circuitos de água arrefecida “*Chiller Water*” simplificado como “ChW”, existindo também o circuito do condensador de arrefecimento do *Chiller*, identificado com “*Condenser*”. Para cada um dos circuitos, existirá sempre o lado do fornecimento “*Supply Side*” onde os equipamentos são responsáveis pelo fornecimento de calor ou frio, e o lado da procura “*Demand Side*” onde outros equipamentos fazem a distribuição final do calor ou do frio.

8.2.14.1 Branch

Um *Branch* é um dos elementos que compõem um circuito, funcionando como um sector da ramificação, que no caso da moradia é composto vários ramos definidos de acordo com o esquema hidráulico traçado. Em cada ramo, terão que existir obrigatoriamente sempre dois nós, um de entrada (*Inlet Node*) e outro de saída (*Outlet Node*), para poder permitir a ligação a outros ramos do circuito, sendo que cada ramo é composto por um componente que pode ser um equipamento específico ou apenas uma secção de tubagem.

Podemos verificar no caso do ramo da bomba de fornecimento de água arrefecida “*ChW Supply Pump Branch*”, que o fluxo de circulação é dimensionado automaticamente; o tipo de componente principal é uma bomba de velocidade variável (*Pump:VariableSpeed*), de referir que neste campo a descrição do tipo componente terá que ser exatamente esta caso se pretenda ter uma bomba com estas características; no caso do nome do componente este é de livre escolha, tendo sido atribuído o nome de “*ChW Supply Pump*”, esta bomba será referida novamente mais à frente quando forem definidas as suas características técnicas; o nó de entrada do fornecimento de água arrefecida denominou-se de “*ChW Supply Inlet Node*”; foi atribuído o nome de “*ChW Supply Pump Outlet Node*” ao nó de saída do fornecimento de água arrefecida.

Tal como referido anteriormente um circuito é formado pelo lado do fornecimento (“*Supply Side*”) e pelo lado da procura (“*Demand Side*”), sendo que cada um destes lados é constituído por três ramos, o ramo de entrada (“*ChW Supply Pump Branch*”); o ramo de saída (“*ChW Supply Outlet Branch*”); ramo de *bypass* (“*ChW Supply Bypass Branch*”), este ramo não será necessariamente obrigatório de executar na prática a quando da instalação da rede de tubagens, contudo o *Energyplus* necessita que seja considerado para efeitos de cálculo.

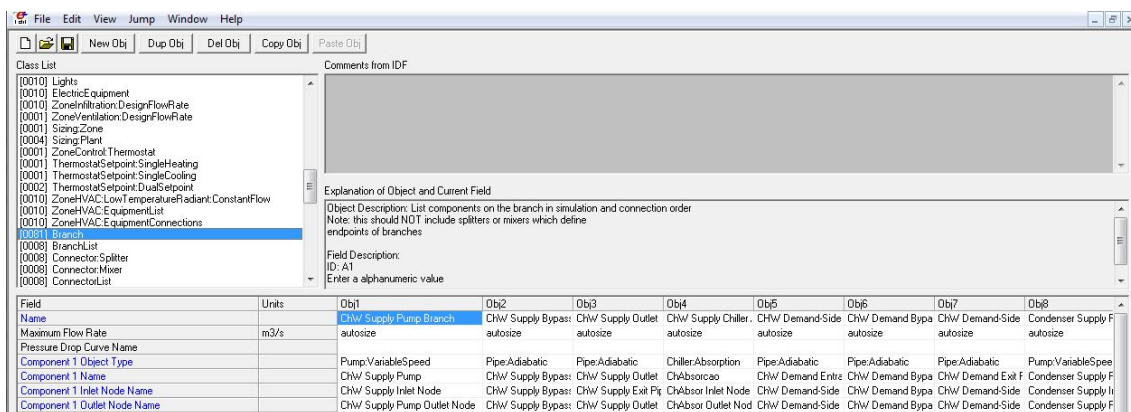


Figura 8.36 - Menu da Classe *Branch*

8.2.14.2 Branch List

Na classe anterior foram criados todos ramos necessários para a formação dos circuitos, no qual não foi necessário seguir nenhuma ordem específica relativamente à sua localização, nem foram definidas quaisquer formas de ligação entre os ramos. Pelo que será na execução das listas de ramos que se definirá a ordem e a forma como ficarão ligados os ramos entre si.

No primeiro objeto podemos ver a lista como ficaram organizados os ramos do lado fornecimento de água arrefecida.

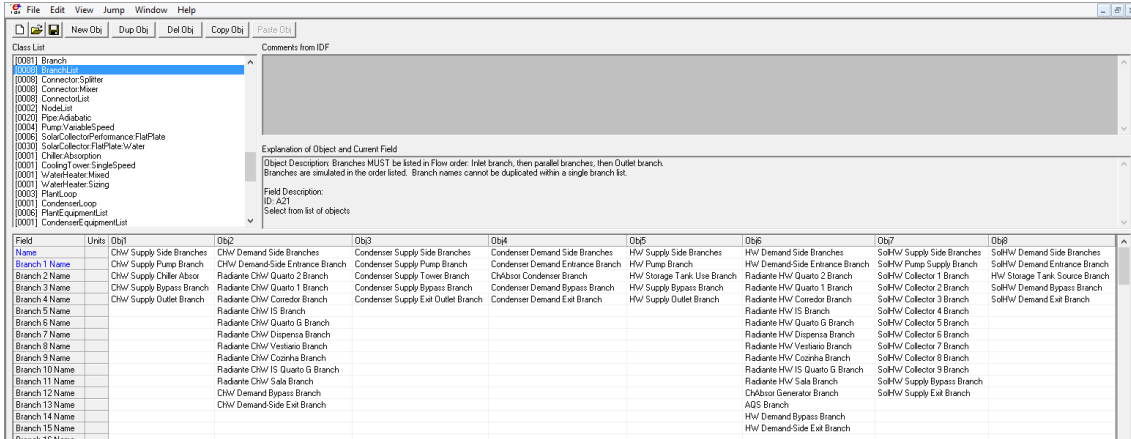


Figura 8.37 - Menu da Classe *Branch List*

8.2.14.3 Connector Splitter

Na anterior classe definiu-se como ficaram ligados os diversos ramos criados, agora são identificadas as formas como foram unidos esses ramos, neste caso identificados colectores que permitem efetuar a ligação com separação de caudais para mais que uma direção. Foram criados vários colectores de separação de caudal, como no caso do “*ChW Supply Splitter*”, em que o caudal entra pelo ramo “*Chw Supply Pump Branch*” e sai pelos ramos “*Chw Supply Bypass*”, e “*Chw Supply Chiller Absorb*”.

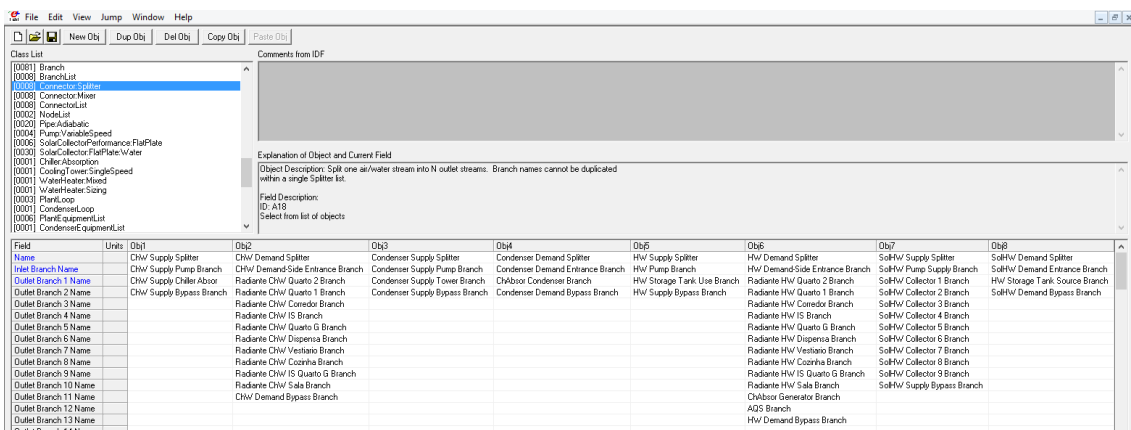


Figura 8.38 - Menu da Classe *Connector Splitter*

8.2.14.4 Connector Mixer

Tem as mesmas características do conector anterior, mas faz o efeito contrario, ou seja em vez de fazer a separação de caudais, faz a junção de caudais vindos de ramos diferentes. Como o existente no “Chw Supply Mixer”, que reúne os ramos “Chw Supply Bypass”, e “Chw Supply Chiller Absor” para saírem no ramo “Chw Supply Outlet Branch”.

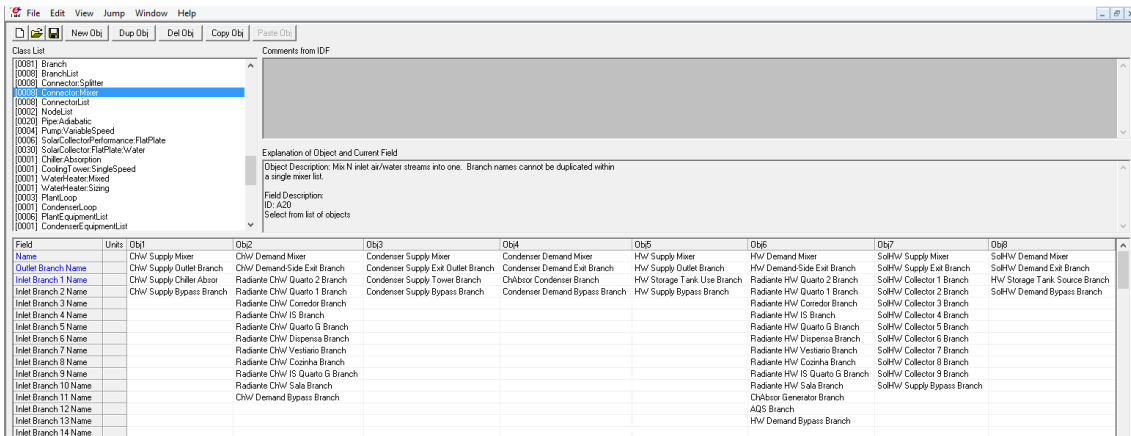


Figura 8.39 - Menu da Classe Connector Mixer

8.2.14.5 Connector List

Tem um propósito quase semelhante ao “Branch List”, mas com o objetivo de aglomerar os “Connector Splitter” com os “Connector Mixer”. No primeiro objeto foi criado o “ChW Supply Side Connectores”, no primeiro campo como se trata de um componente a referencia terá que ser “Connector:Splitter”; o nome do conector é o mesmo referido anteriormente no Connector Splitter que se atribuiu o nome de “ChW Supply Splitter”. Para o 2º conector o componente tem que ser “Connector Mixer” e o nome é o mesmo referido anteriormente “Chw Supply Mixer”.

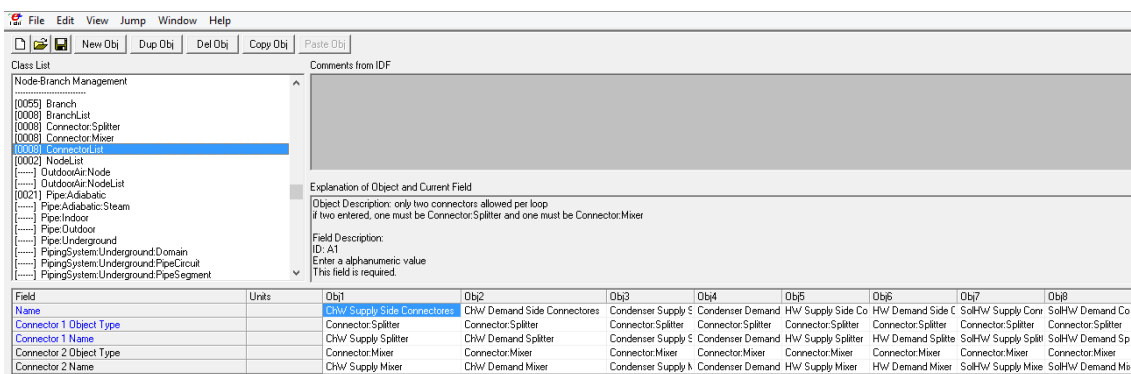


Figura 8.40 - Menu da Classe Connector List

8.2.14.6 Pipe Adiabatic

Esta classe é referente aos componentes tubagem adiabática, que foram mencionados anteriormente quando foram criados os diversos “Branches”. Nesta fase para todos os objetos de tubagem criados foram definidos os nomes dos nós de entrada e saída. Para a tubagem de *bypass* do fornecimento de água arrefecida (“Chw Supply Bypass Pipe”), foi criado o nó de entrada “Chw Supply Bypass Inlet Node”, e o de saída “Chw Supply Bypass Outlet Node”.

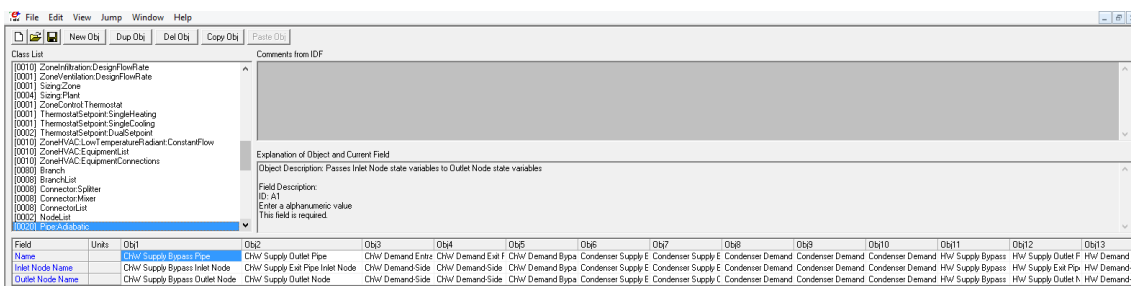


Figura 8.41 - Menu da Classe Pipe Adiabatic

8.2.15 Grupo “Pumps”

Para movimentar os caudais dos circuitos criados é necessários definir bombas de circulação para cada um deles. Neste caso para aumentar a eficiência geral optou-se pela escolha de bombas de velocidade variável.

8.2.15.1 Pump Variable Speed

As bombas existentes foram especificadas em simultâneo quando foram criados os respetivos ramos referidos anteriormente, pelo que tem que ter obrigatoriamente o mesmo nome de definição de componente, assim temos a “ChW Supply Pump” com exatamente os mesmos nós de entrada “ChW Supply Inlet Node”, e de saída “ChW Supply Pump Outlet Node”; o fluxo de caudal é auto dimensionado; e os restantes valores são atribuídos por defeito pelo *Energyplus*.

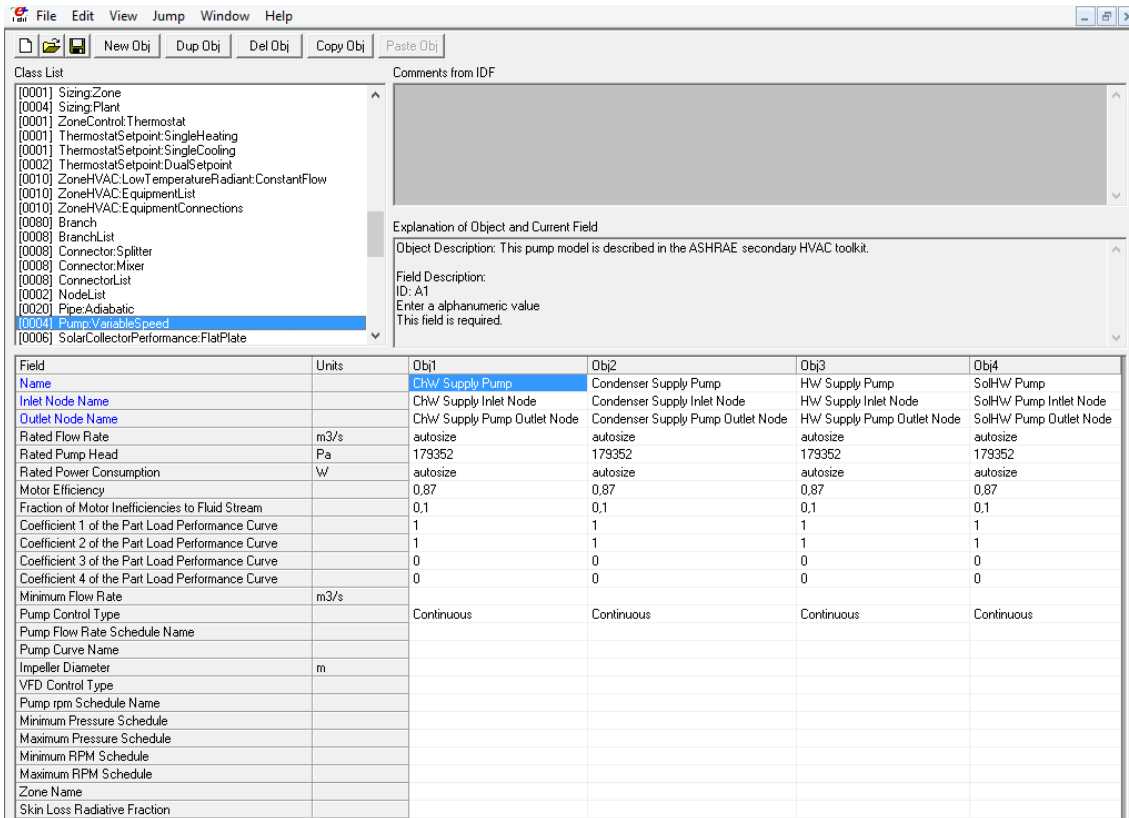


Figura 8.42 - Menu da Classe *Pump Variable Speed*

8.2.16 Grupo “Solar Collectores”

Neste grupo define-se o tipo de colectores solares a utilizar na produção de água quente, e descreve-se as suas características

8.2.16.1 Solar Collector Performance Flat Plate

Nesta classe cria-se um coletor solar, ao qual se atribui-o o nome que pode ser a marca e modelo de um coletor selecionado, preenchendo o restantes campos com as especificações técnicas do fabricante. Neste caso depois de analisados vários coletores de diferentes fabricantes entre eles a “Solius” e a “Junkers”, a escolha recaiu nos coletores produzidos pelas empresas “Baxiroca” e “Buderus”.

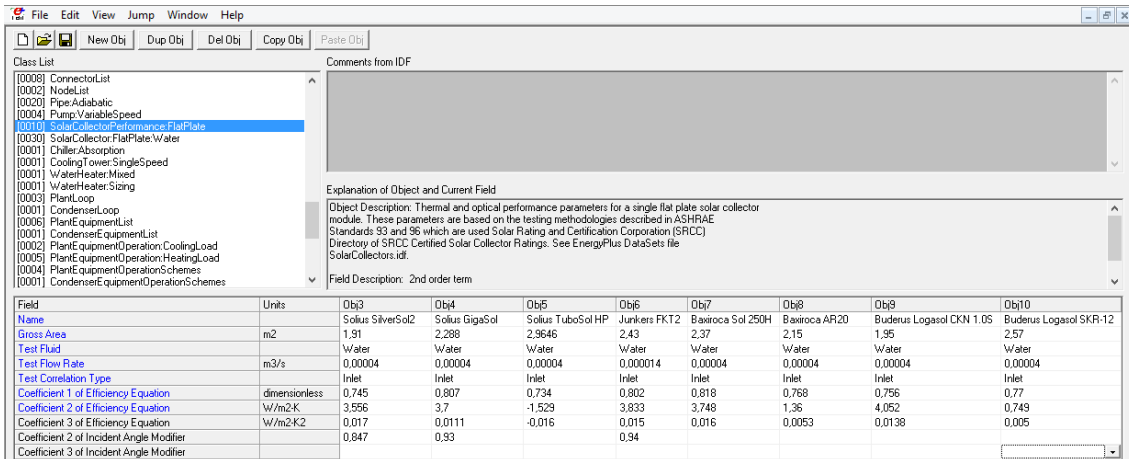


Figura 8.43 - Menu da Classe *Solar Collector Performance Flat Plate*

8.2.16.2 Solar Collector Flat Plate Water

Esta classe refere-se à criação das baterias de coletores solares a instalar na Moradia, tendo-se definido um conjunto composto por filas formadas por 4 coletores cada, orientados para sul e dispostos de modo evitar o ensombramento nas áreas de abertura dos coletores. Para tal foi criado um objeto para cada um dos coletores, sendo que no primeiro atribui-se o nome de “Collector 1”, no qual se indicou o modelo previamente definido na classe anterior; o nome da superfície onde fica colocado; definição dos nomes dos nós de entrada e saída, *collector 1 Inlet Node* e *collector 1 Outlet Node* respetivamente.

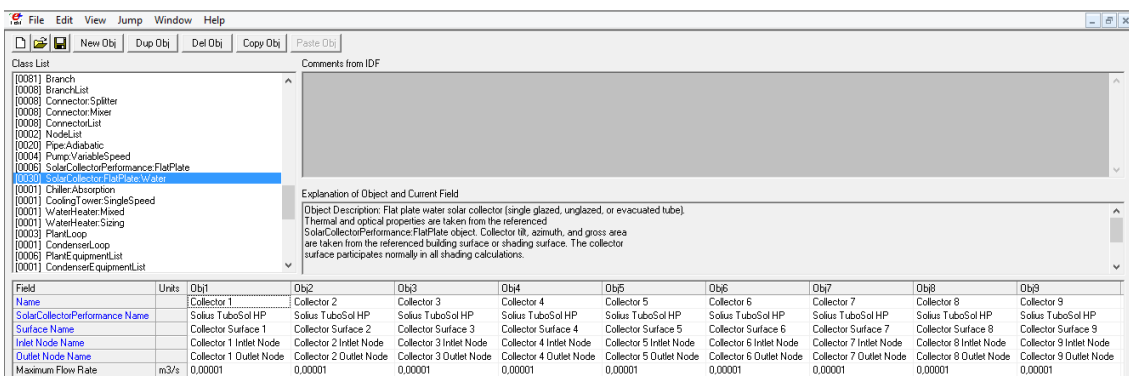


Figura 8.44 - Menu da Classe *Solar Collector Flat Plate Water*

8.2.17 Grupo “Plant Heating And Cooling Equipment”

Nesta fase são definidos os equipamentos destinados à produção de calor e frio utilizados na simulação da moradia

8.2.17.1 Chiller Absorption

O Chiller de absorção tal como foi já descrito anteriormente recorre ao fornecimento de água quente para a produção de frio.

Este componente foi também definido simultaneamente quando foi criado o ramo referente, tendo sido atribuído o nome de “ChAbsorção”; para a capacidade Nominal foi considerado auto dimensionamento; a potencia nominal de bombagem também com cálculo automático; os nós de entrada e saída são precisamente os mesmos definidos no ramo “ChW Supply Chiller Absor”, “ChAbsor Inlet Node” e “ChAbsor Outlet Node” respetivamente; os nós de entrada e saída do condensador, também são mesmos criados no ramo “ChAbsor Condenser Branch”, nomeadamente “ChAbsor Condenser Inlet Node” e “ChAbsor Condenser Outlet Node”; os restantes valores foram atribuídos por defeito pelo programa.

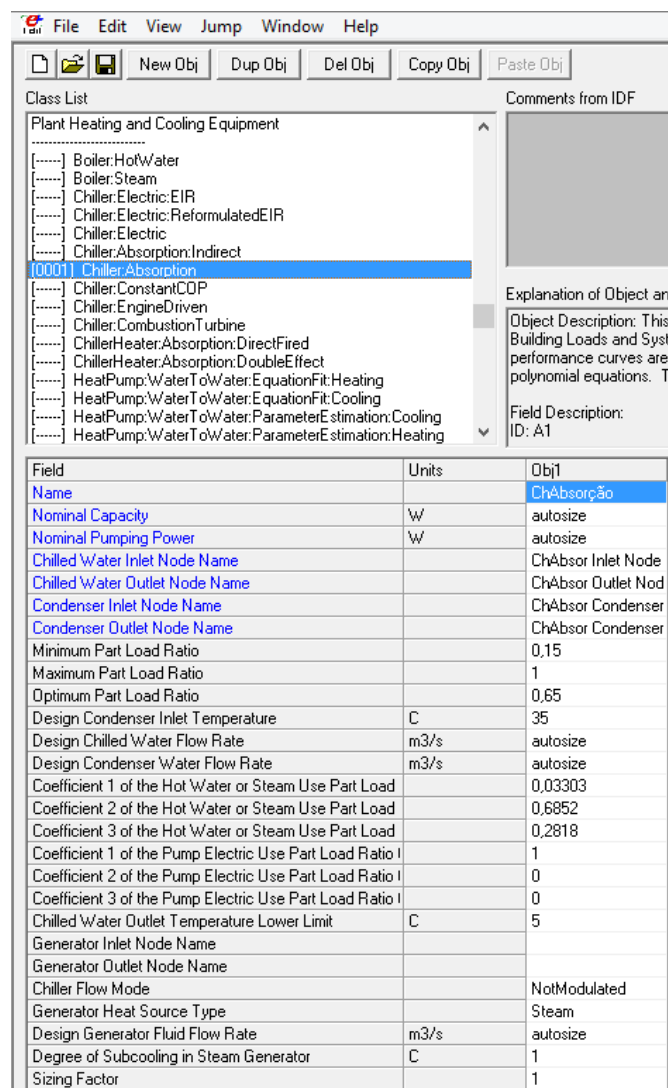


Figura 8.45 - Menu da Classe Chiller Absorption

8.2.18 Condenser Equipment and Heat Exchangers

Para o arrefecimento do fluido térmico do *chiller* de absorção, será necessário considerar a instalação de uma torre de arrefecimento.

8.2.18.1 Cooling Tower Single Speed

Este equipamento foi definido também simultâneo quando foi criado o respetivo ramo (“*Condenser Supply Tower*”), ao qual foi atribuído o nome de “Torre Arrefecimento”, quanto aos nós de entrada e saída são os mesmos criados na altura aos quais se atribuíram os seguintes nomes *Condenser Tower Inlet Node* e *Condenser Tower Outlet Node* respetivamente; os restantes valores foram preenchidos pelo *software*.

The screenshot shows the software interface for the 'Cooling Tower Single Speed' class. The 'Class List' on the left includes various equipment types, with 'Cooling Tower Single Speed' selected. The 'Comments from IDF' pane on the right provides an explanation of the object and current field. Below this, a table lists the fields, their units, and their values for the selected object.

Field	Units	Obj1
Name		Torre Arrefecimento
Water Inlet Node Name		Condenser Tower Inlet Node
Water Outlet Node Name		Condenser Tower Outlet Node
Design Water Flow Rate	m ³ /s	autosize
Design Air Flow Rate	m ³ /s	autosize
Design Fan Power	W	autosize
Design U-Factor Times Area Value	W/K	autosize
Free Convection Air Flow Rate	m ³ /s	autocalculate
Free Convection U-Factor Times Area Value	W/K	0,1
Free Convection U-Factor Times Area Value Sizing Fac		0,1
Performance Input Method		UFactorTimesAreaAndDesignWaterFlowRate
Heat Rejection Capacity and Nominal Capacity Sizing F		0
Nominal Capacity	W	
Free Convection Capacity	W	
Free Convection Nominal Capacity Sizing Factor		0,1
Basin Heater Capacity	W/K	
Basin Heater Setpoint Temperature	C	2
Basin Heater Operating Schedule Name		
Evaporation Loss Mode		LossFactor
Evaporation Loss Factor	percent/K	0,2
Drift Loss Percent	percent	0,008
Blowdown Calculation Mode		ConcentrationRatio
Blowdown Concentration Ratio		3
Blowdown Makeup Water Usage Schedule Name		
Supply Water Storage Tank Name		
Outdoor Air Inlet Node Name		
Capacity Control		FanCycling
Number of Cells		1
Cell Control		MinimalCell
Cell Minimum Water Flow Rate Fraction		0,33
Cell Maximum Water Flow Rate Fraction		2,5
Sizing Factor		1

Figura 8.46 - Menu da Classe *Cooling Tower Single Speed*

8.2.19 Water Heaters and Thermal Storage

Para o armazenamento e manutenção da temperatura da água aquecida produzida nos equipamentos descritos anteriormente, foi considerado a instalação de um depósito de inércia térmica.

8.2.19.1 Water Heater Mixed

Para o depósito de inercia térmica foi criado o objecto “*Storage Tank*”, em que o dimensionamento da sua capacidade foi deixado de modo automático; para o controlo da temperatura, foi criada a *Schedule Compact* “*Hot Water Setpoint*”; o limite máximo de temperatura da água admitido foi de 82 °C; para a resistência de apoio foi ponderado “*Other Fuell*”; a eficiência térmica considerada de 90%; para o controlo da temperatura ambiente foi definida a *Schedule Compact* “*Ambiente Temp Schedule*”; para o lado do consumo de água quente foram criados o nó de entrada “*Storage Tank Use Inlet Node*” e o de saída “*Storage Tank Use Outlet Node*”; do lado do fornecimento de água quente exterior, foram produzidos os nós de saída e entrada “*Storage Tank Source Inlet Node*” e “*Storage Tank Source Outlet Node*” respetivamente. Todos os outros campos foram completados automaticamente pelo programa.

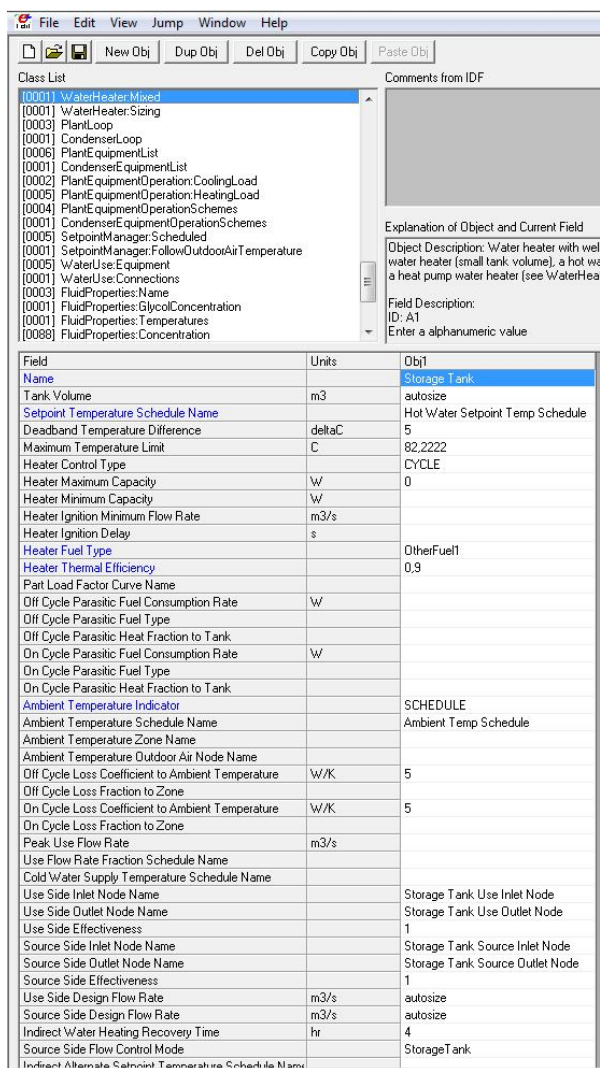


Figura 8.47 - Menu da Classe *Water Heater Mixed*

8.2.19.2 *Water Heater Sizing*

Esta classe foi inserida para permitir o dimensionamento do sistema de armazenamento de água quente, na qual é possível selecionar o método de cálculo pretendido de entre as seis alternativas disponibilizadas pelo programa para o efeito, onde se realça as opções de cálculo por número de moradores; área do edifício; área de coletores solares ou por pico de drenagem que foi a opção escolhida para efetuar as simulações energéticas.

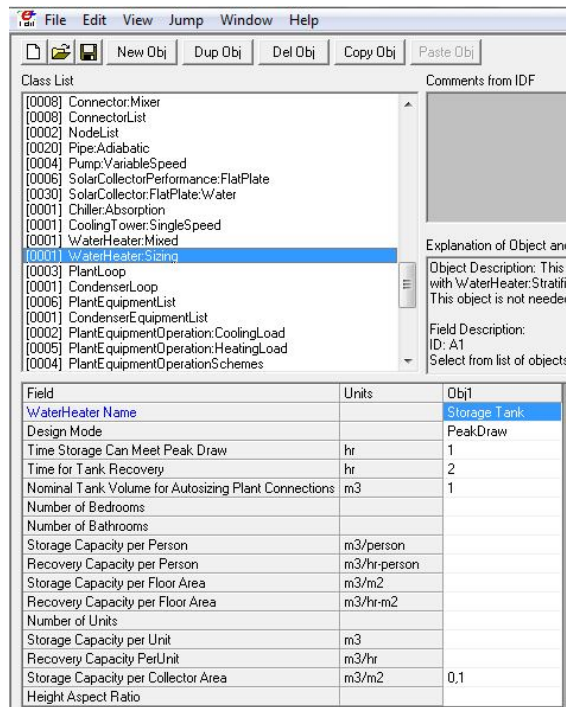


Figura 8.48 - Menu da Classe *Water Heater Sizing*

8.2.20 Plant Condenser Loops

Em classes anteriores foram descritos como foram constituídos aos ramos, definidos os equipamentos existentes, efetuadas as conexões, e o modo como foram organizadas as listas de ramos. Nesta fase procedeu-se á elaboração dos circuitos onde estão englobados todos os equipamentos descritos anteriormente, e estabeleceu-se também a forma como todos os circuitos são ligados entre si para formar um circuito final.

8.2.20.1 Plant Loop

Nesta classe é feita organização de cada um dos circuitos existentes, onde os fluidos de circulação escolhidos foram a água e uma mistura de água com glicol.

O circuito de água arrefecida foi denominado de “*ChW Plant Loop*”; para poder controlar o funcionamento do circuito e respetivos equipamentos foi necessário criar um esquema de funcionamento ao qual foi atribuído o nome de “*ChW Loop Operation Schemes*”; foi definida a temperatura no nó de saída do lado do fornecimento “*ChW Supply Outlet Node*” como temperatura de controlo; para as temperaturas máximas e mínimas do circuito 90 e 1 °C respetivamente; o fluxo de caudal e o volume do circuito foram deixados em modo de cálculo automático; para o lado de entrada no circuito foram considerados os ramos e

conectores do lado do fornecimento, sendo o ponto de entrada o nó “ChW Supply Inlet Node” e a saída no nó oposto “ChW Supply Outlet Node”, no lado oposto do circuito ficou a parte da saída, onde foram colocados os componentes do lado da procura. A mesma sequência lógica foi utilizada nos restantes circuitos.

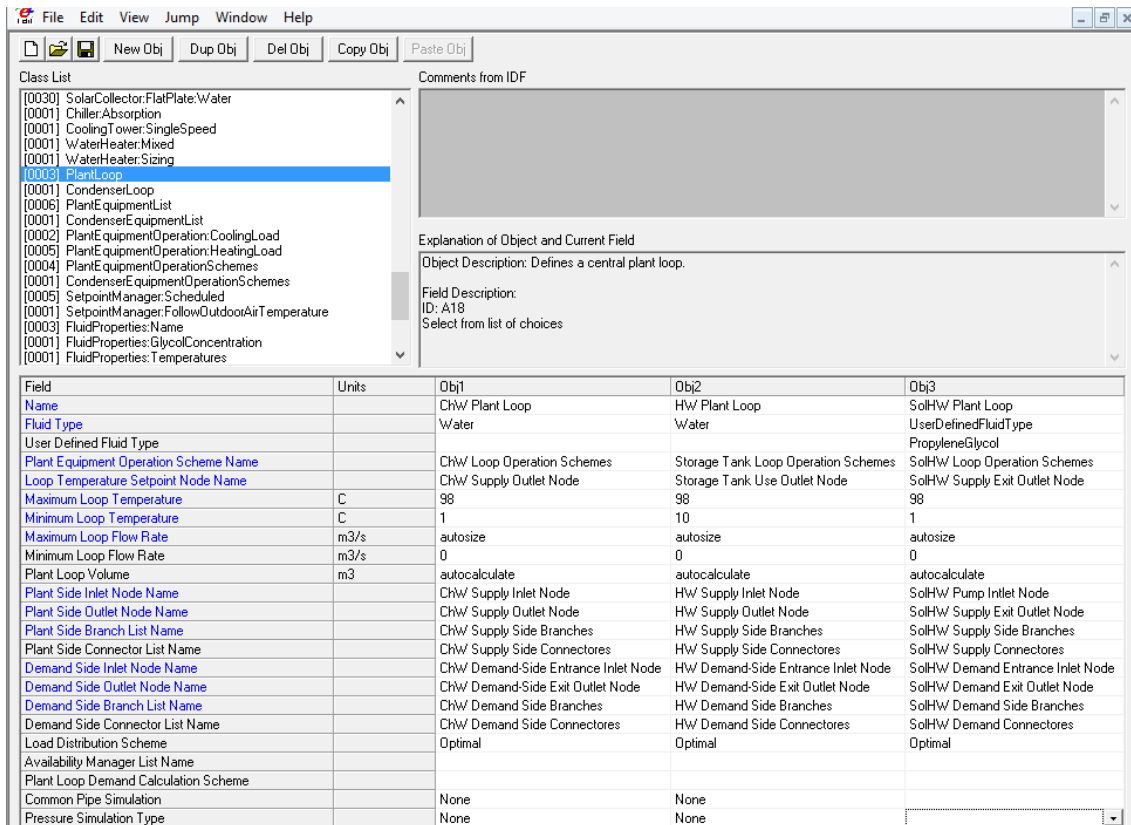


Figura 8.49 - Menu da Classe *Plant Loop*

8.2.20.2 Condenser Loop

Para o circuito do condensador foram usados os mesmos princípios utilizados na construção dos circuitos anteriores, tendo sido denominado de “Condenser Plant Loop”; o fluido de circulação considerado foi também água; foi criado também o esquema de funcionamento “Torre Arrefecimento *Operation Schemes*”; o ponto de medição da temperatura escolhido foi o nó “Condenser Supply Outlet Node”; as temperaturas máximas e mínimas do circuito 80 e 10 °C respetivamente; os ramos, conectores e nós de entrada e saída, fazem a ligação do circuito entre a torre de arrefecimento e o chiller de absorção.

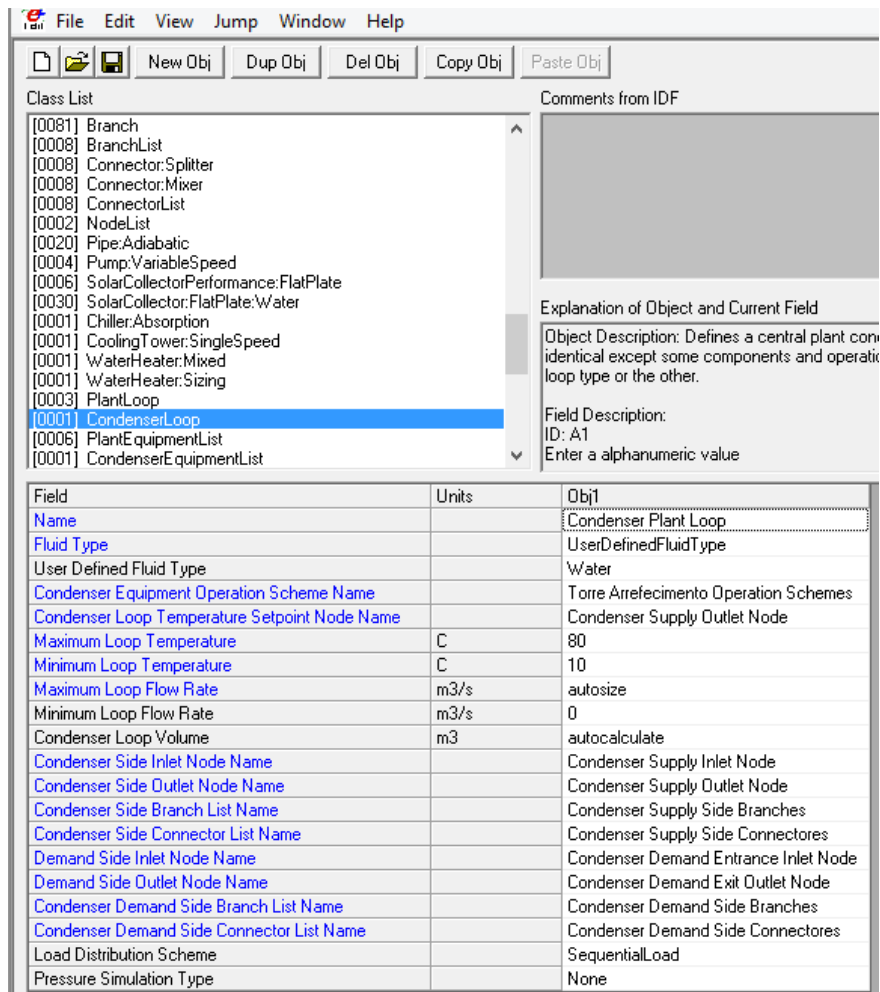


Figura 8.50 - Menu da Classe *Condenser Loop*

8.2.21 Grupo “Plant – Condenser Control”

Para controlar o funcionamento de todos os equipamentos existentes no circuito, é necessário definir os sistemas de controlo e os métodos de operacionalidade a aplicar na simulação da moradia.

8.2.21.1 Plant Equipment List

Esta classe tem uma metodologia semelhante á que foi aplicada nas listas de ramos anteriormente descrita, mas neste caso refere-se única e exclusivamente apenas à associação dos equipamentos. Foi criada a “*Plant Cooling Equipment List*”, na qual tem como tipo de equipamento associado um *Chiller* de Absorção, ao qual já tinha sido atribuído o nome de “ChAbsorção quando foi definido o equipamento em simultâneo com

a fase de elaboração o respetivo ramo. Para as restantes listas de equipamento foi utilizado o procedimento idêntico.

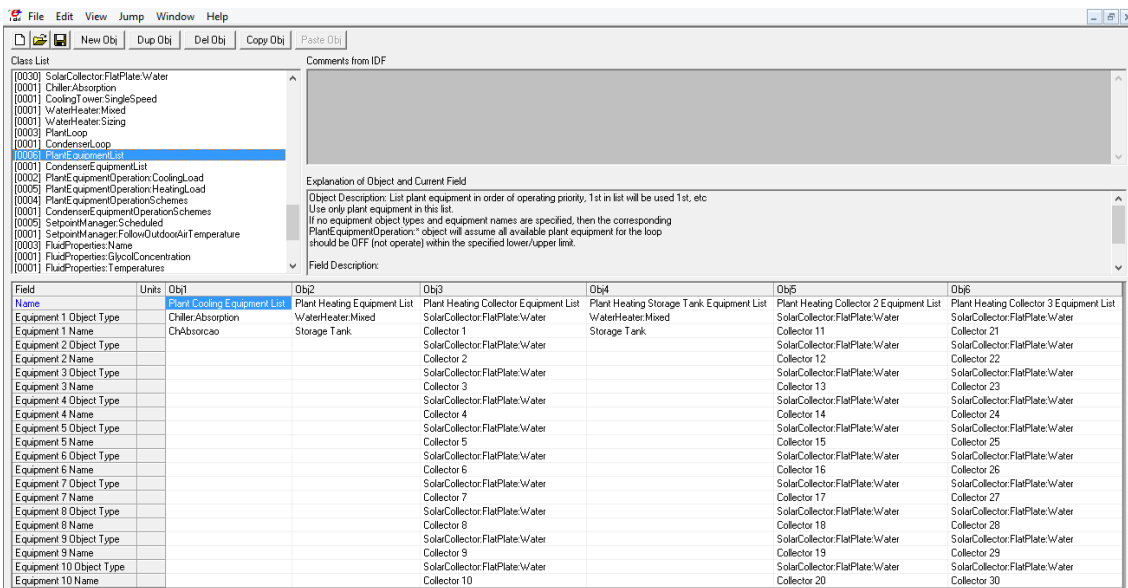


Figura 8.51 - Menu da Classe *Plant Equipment List*

8.2.21.2 Condenser Equipment List

Neste caso o procedimento utilizado foi semelhante á classe anterior, com a diferença que o programa tem um local específico destinado apenas à lista do equipamento de condensação.

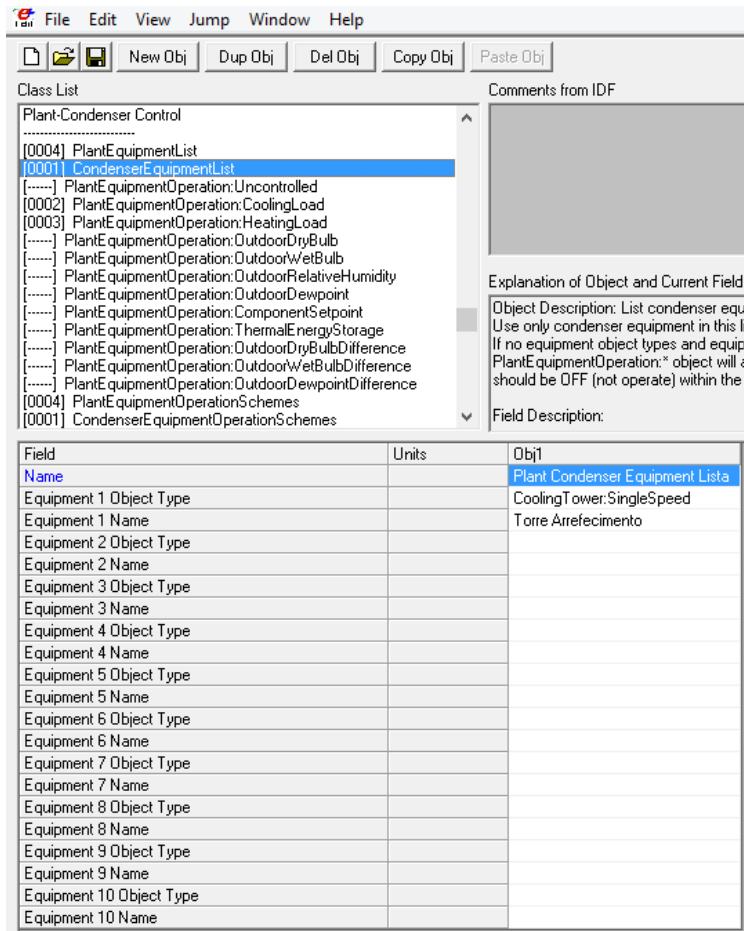


Figura 8.52 - Menu da Classe *Condenser Equipment List*

8.2.21.3 *Plant Equipament Operation Cooling Load*

Para controlar a operacionalidade dos equipamentos, em especial as cargas de arrefecimento, é necessário os limites de operação do sistema. Para o controlar a carga do *chiller* foi criado o “*Plant Cooling Supply Scheme*”, na qual se definiu os limites de carga mínima e máxima de 0 e 100000 W respetivamente; que neste caso será aplicada à lista definida anteriormente de “*Plant Cooling Equipment List*”. Para o condensador foi utilizada semelhante metodologia.

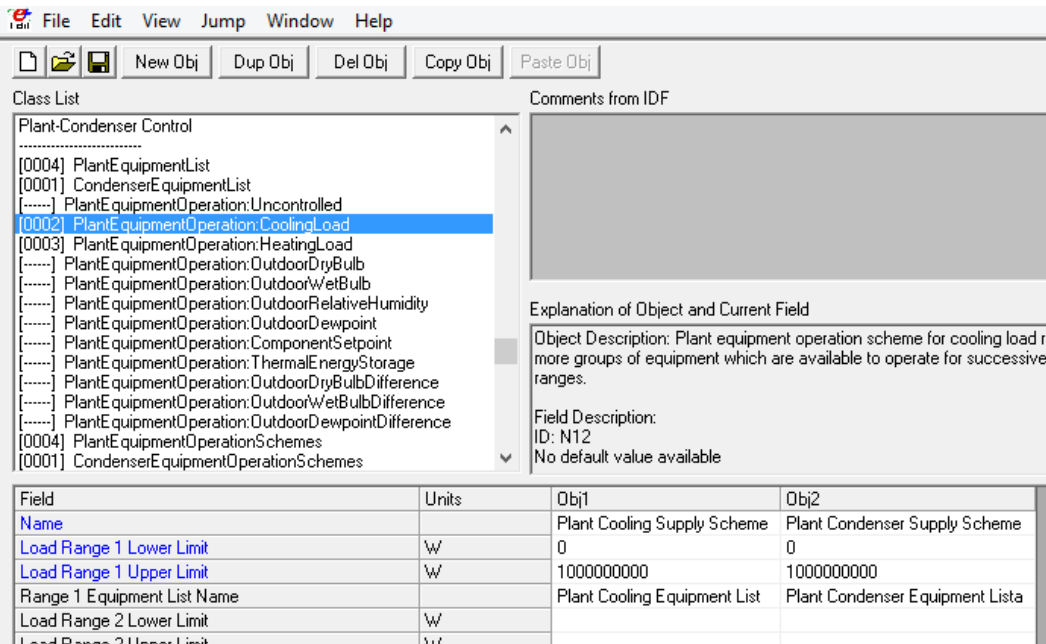


Figura 8.53 - Menu da Classe *Plant Equipment Operation Cooling Load*

8.2.21.4 Plant Equipment Operation Heating Load

Para controlar o fornecimento de calor, foi necessário seguir a mesma sequência lógica da classe anterior, mas neste caso aplicado aos equipamentos e às cargas de aquecimento, com a criação do “*Plant Heating Supply Scheme*”, aplicado á lista criada anteriormente denominada de “*Plant Heating Equipment List*”, com os limites de carga de definidos entre 0 e 100000 W.

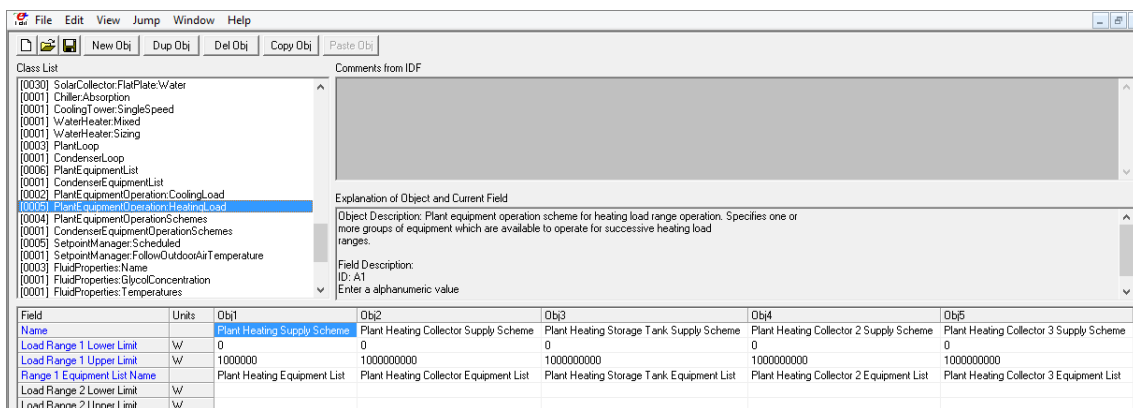


Figura 8.54 - Menu da Classe *Plant Equipment Operation Heating Load*

8.2.21.5 Plant Equipment Operation Schemes

Nesta classe foram reunidas listas de equipamentos com respectivos os planos de carga térmicas, para permitir definir os esquemas de operacionalidade dos equipamentos. Para

o esquema de operação do circuito de água arrefecida foi criado “*ChW Loop Operation Schemes*”, que inclui o esquema de fornecimento de água arrefecida “*Plant Cooling Supply Scheme*”. Assistido pela *Schedule Compact* “*Cooling Setpoint*” criada quando se definiu o modo “*Zone Control Thermostat*”. No caso circuito da água aquecida foi elaborado o “*HW Loop Operation Schemes*”, onde o esquema de fornecimento de calor “*Plant Heating Supply Scheme*”, foi associado à *Schedule* “*Heating Setpoint*” também ela criada na fase de controlo de termostato.

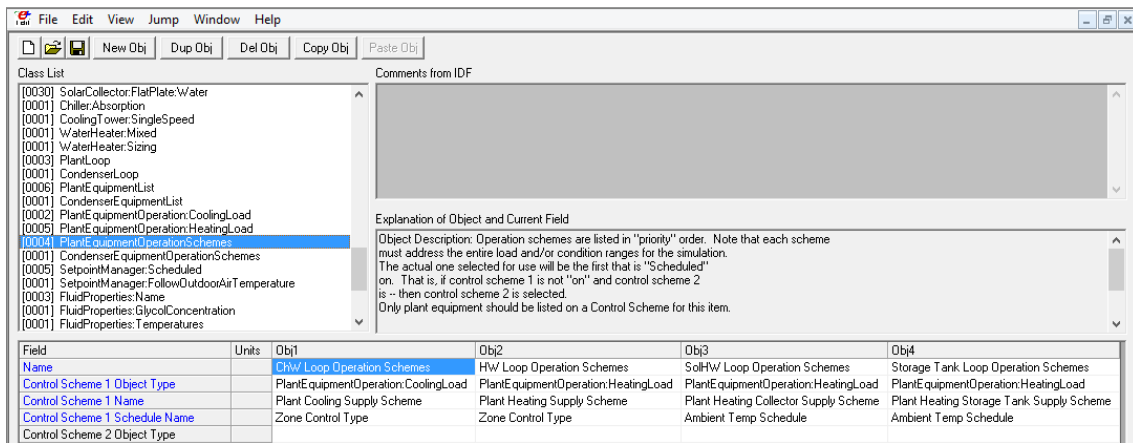


Figura 8.55 - Menu da Classe *Plant Equipment Operation Schemes*

8.2.21.6 Condenser Equipment Operation Schemes

Neste caso foram aplicadas as mesmas regras da classe anterior, mas definidas exclusivamente para a “Torre de Arrefecimento”

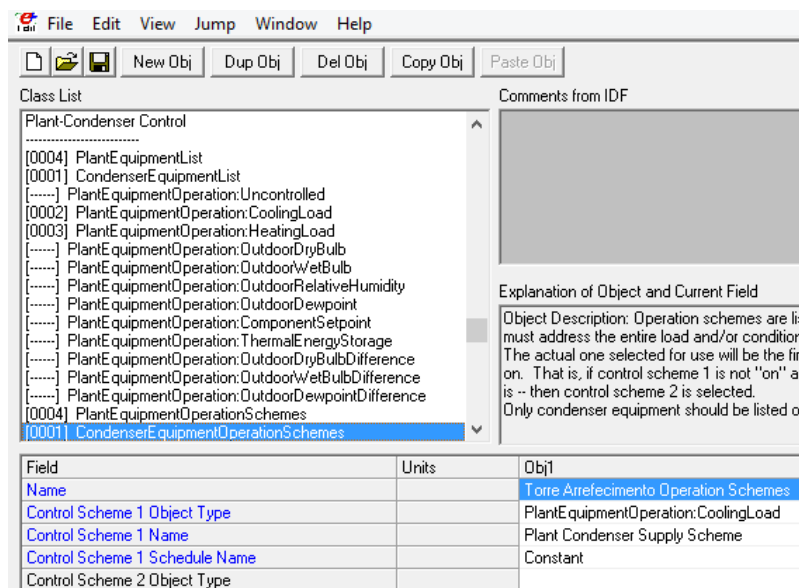


Figura 8.56 - Menu da Classe *Condenser Equipment Operation Schemes*

8.2.22 Grupo “Setpoint Managers”

O controlo geral de funcionamento dos sistemas de arrefecimento e aquecimento, permite regular a temperatura segundo as necessidades requeridas de acordo com estação do ano.

8.2.22.1 Setpoint Manager Schedule

Para regular a ação do *Chiller* de Absorção foi criado o “*ChAbsorção Setpoint Manager*”; a variável de controlo será a temperatura, associada à *Schedule* “*ChW Loop Temp Schedule*”, e o ponto de referência no nó “*ChAbsor Outlet Node*”. Metodologia idêntica foi aplicada no controlo dos restantes equipamentos.

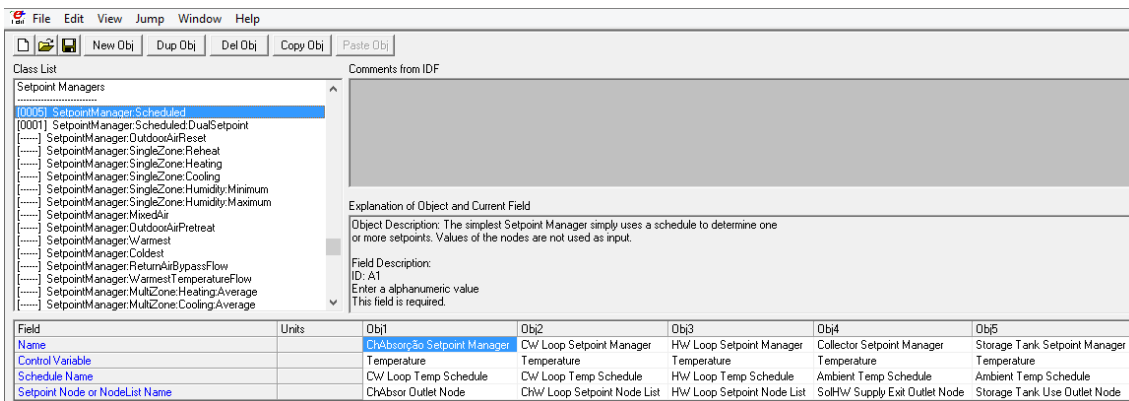


Figura 8.57 - Menu da Classe *Setpoint Manager Schedule*

8.2.22.2 Setpoint Manager Schedule Dual Setpoint

Este ponto de controlo é devido ao facto do sistema implantado da moradia, funcionar tanto para arrefecimento como para aquecimento, tornando necessário regular a temperatura sendo para isso criado o “*Water Loop Setpoint Manager*”, associado às *Schedules* “*HW Loop Temp Schedule*” e “*ChW Loop Temp Schedule*”.

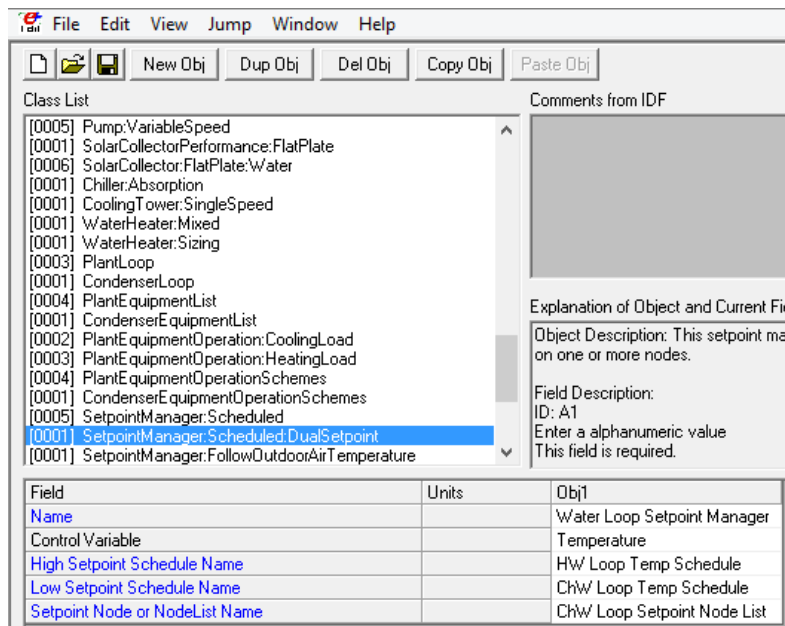


Figura 8.58 - Menu da Classe *Setpoint Manager Schedule Dual Setpoint*

8.2.22.3 *Setpoint Manager Follow Outdoor Air Temperature*

Para otimizar a temperatura de funcionamento do condensador, é necessário criar um “*Condenser Control*”, com a temperatura de referencia indexada à temperatura exterior do ar de bolbo húmido, com a temperatura de limite a variar entre 0 e 80 °C, e como ponto de referencia o nó de saída do condensador.

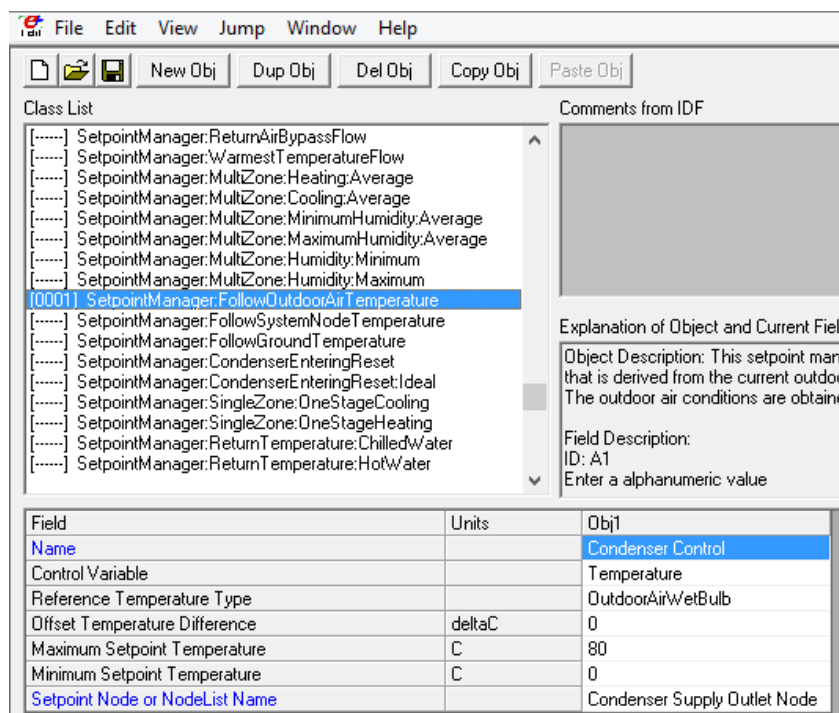


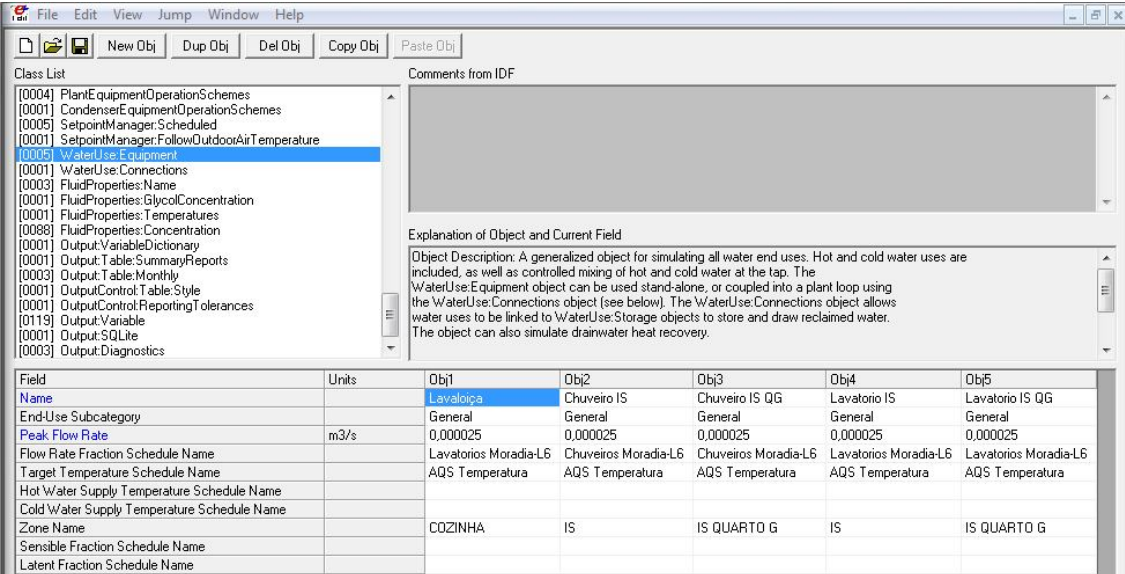
Figura 8.59 - Menu da Classe *Setpoint Manager Follow Outdoor Air Temperature*

8.2.23 Grupo “Water Systems”

Este grupo é referente ao circuito de água quente sanitária (AQS), onde são definidos os equipamentos e a quantidade de água quente que é consumida na moradia ao longo do ano.

8.2.23.1 Water Use Equipment

Na presente classe são introduzidos os dispositivos presentes na cozinha e nas instalações sanitárias, que permitem controlar o consumo de água quente sanitária. Para tal foram criados os objetos como o “Lavaloiça”; onde se definiu o caudal de 0,000025 m²/s; foi concebida a *Schedule Compact* “Lavatórios Moradia-L6” que indica os períodos do dia em que o dispositivo é utilizado; foi também criada a *Schedule Compact* “AQS Temperatura” na qual foi definida a temperatura da água para 60 °C; indicou-se também em que zona térmica está localizado o dispositivo, que neste caso foi a Cozinha.



Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Lavaloiça	Chuveiro IS	Chuveiro IS QG	Lavatorio IS	Lavatorio IS QG
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General
Peak Flow Rate	m ³ /s	0,000025	0,000025	0,000025	0,000025	0,000025
Flow Rate Fraction Schedule Name		Lavatorios Moradia-L6	Chuveiros Moradia-L6	Chuveiros Moradia-L6	Lavatorios Moradia-L6	Lavatorios Moradia-L6
Target Temperature Schedule Name		AQS Temperatura	AQS Temperatura	AQS Temperatura	AQS Temperatura	AQS Temperatura
Hot Water Supply Temperature Schedule Name						
Cold Water Supply Temperature Schedule Name						
Zone Name		COZINHA	IS	IS QUARTO G	IS	IS QUARTO G
Sensible Fraction Schedule Name						
Latent Fraction Schedule Name						

Figura 8.60 - Menu da Classe *Water Use Equipment*

8.2.23.2 Water Use Connections

Na classe *Water Use Connections* são indicadas as ligações de todos dispositivos criados na classe anterior com o *Branch* criado previamente para o abastecimento de água quente sanitária, ao qual foi atribuído o nome de “AQS Branch” onde foram também criados os nós de entrada e saída “AQS Inlet Node” e “AQS Outlet Node” respetivamente.

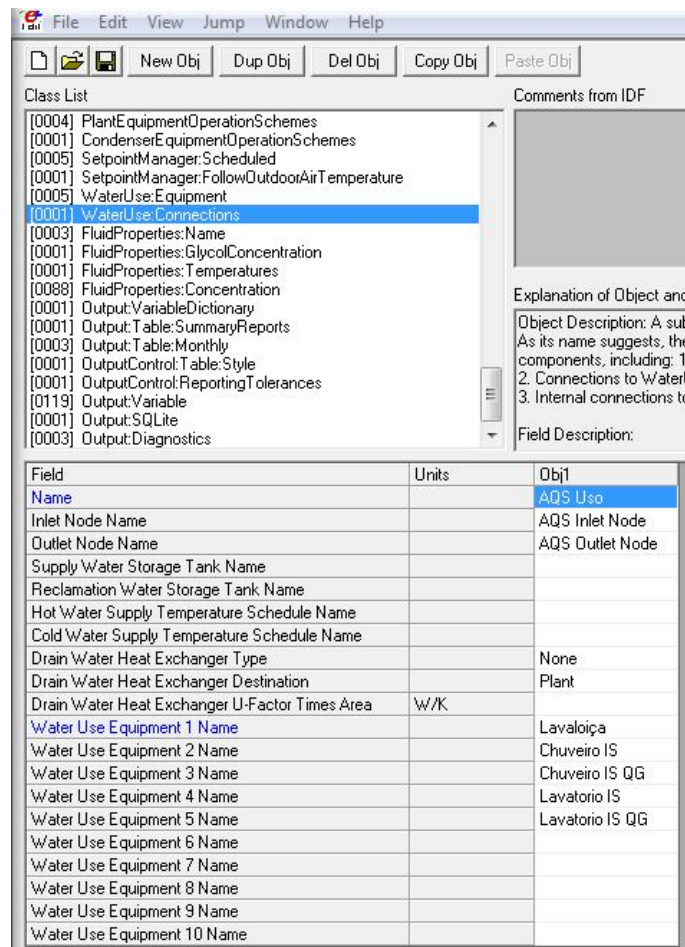


Figura 8.61 - Menu da Classe *Water Use Connections*

8.2.24 Grupo “*Fluid Properties*”

Neste grupo definem-se quais são os fluidos térmicos utilizados no interior dos circuitos existentes na moradia, nomeadamente qual a sua composição, o tipo de concentração utilizada, bem como as temperaturas de operação.

8.2.24.1 *Fluid Properties Name*

Na classe *Fluid Properties Name* definem-se os nomes e o tipo de fluidos utilizados no interior da tubagem os circuitos.

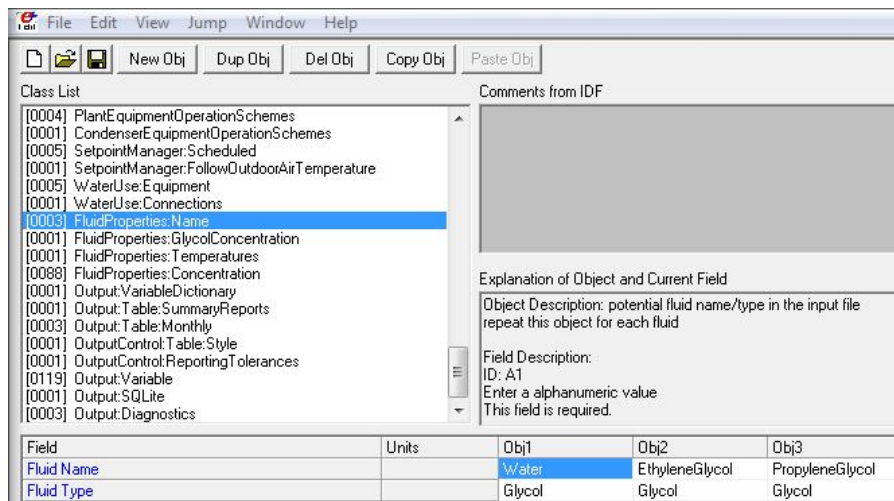


Figura 8.62 - Menu da Classe *Fluid Properties Name*

8.2.24.2 *Fluid Properties Glycol Concentration*

A classe *Fluid Properties Glycol Concentration* foi criada para inserir o tipo de concentração utilizada.

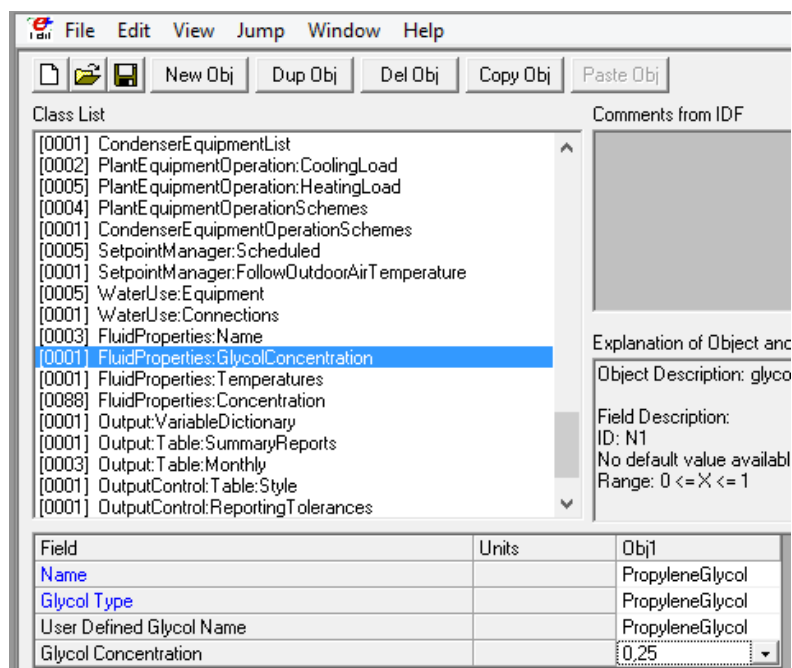
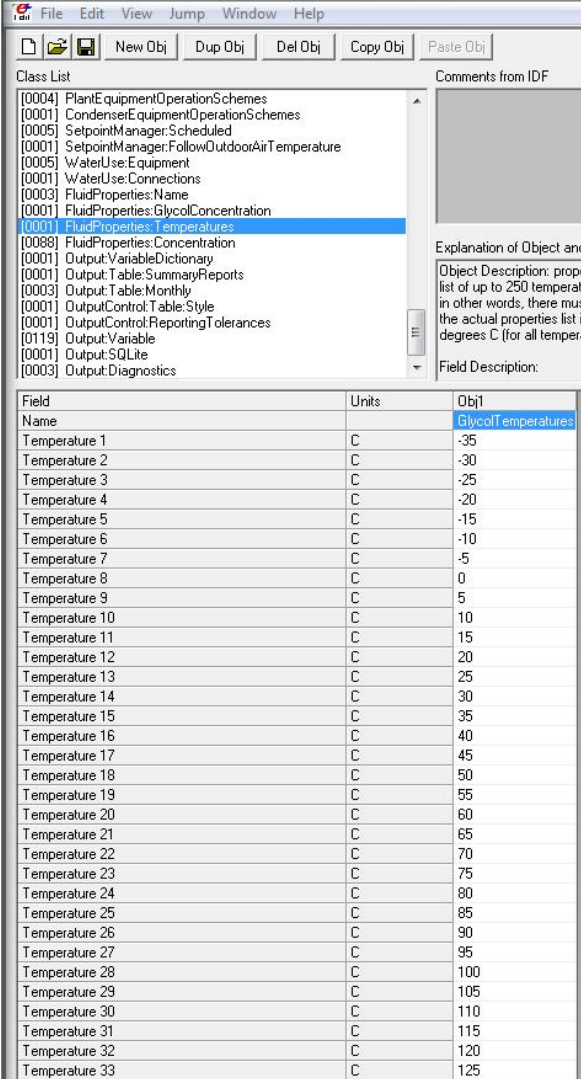


Figura 8.63 - Menu da Classe *Fluid Properties Glycol Concentration*

8.2.24.3 Fluid Properties Temperatures

Na presente classe estão presentes os valores da temperatura de operação do Glycol.



Field	Units	Obj
Name		GlycolTemperatures
Temperature 1	C	-35
Temperature 2	C	-30
Temperature 3	C	-25
Temperature 4	C	-20
Temperature 5	C	-15
Temperature 6	C	-10
Temperature 7	C	-5
Temperature 8	C	0
Temperature 9	C	5
Temperature 10	C	10
Temperature 11	C	15
Temperature 12	C	20
Temperature 13	C	25
Temperature 14	C	30
Temperature 15	C	35
Temperature 16	C	40
Temperature 17	C	45
Temperature 18	C	50
Temperature 19	C	55
Temperature 20	C	60
Temperature 21	C	65
Temperature 22	C	70
Temperature 23	C	75
Temperature 24	C	80
Temperature 25	C	85
Temperature 26	C	90
Temperature 27	C	95
Temperature 28	C	100
Temperature 29	C	105
Temperature 30	C	110
Temperature 31	C	115
Temperature 32	C	120
Temperature 33	C	125

Figura 8.64 - Menu da Classe *Fluid Properties Temperatures*

8.2.24.4 Fluid Properties Concentration

Na classe referente ao *Fluid Properties Concentration* estão presentes os valores de densidade, calor específico e condutibilidade dos fluidos para cada uma das temperaturas existentes na Classe *Fluid Properties Temperatures* referida anteriormente.

Field	Units	Obj17	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22
Fluid Name		EthyleneGlycol	EthyleneGlycol	EthyleneGlycol	EthyleneGlycol	EthyleneGlycol	EthyleneGlycol
Fluid Property Type		SpecificHeat	SpecificHeat	Density	Density	Density	Density
Temperature Values Name		GlycolTemperatures	GlycolTemperatures	GlycolTemperatures	GlycolTemperatures	GlycolTemperatures	GlycolTemperatures
Concentration	dimensionless	0.8	0.9	0	0.1	0.2	0.3
Property Value 1	varies	2370	0	0	0	0	0
Property Value 2	varies	2397	0	0	0	0	0
Property Value 3	varies	2423	2177	0	0	0	0
Property Value 4	varies	2450	2206	0	0	0	0
Property Value 5	varies	2477	2235	0	0	0	0
Property Value 6	varies	2503	2264	0	0	0	1054
Property Value 7	varies	2530	2293	0	0	1037	1053
Property Value 8	varies	2556	2322	1000	1019	1036	1052
Property Value 9	varies	2583	2351	1000	1018	1034	1050
Property Value 10	varies	2610	2380	999.8	1016	1033	1049
Property Value 11	varies	2636	2409	999.2	1015	1031	1047
Property Value 12	varies	2663	2438	998.3	1013	1030	1045
Property Value 13	varies	2690	2467	997.2	1012	1028	1043
Property Value 14	varies	2716	2496	995.8	1010	1026	1041
Property Value 15	varies	2743	2525	994.2	1008	1024	1039
Property Value 16	varies	2770	2554	992.3	1006	1022	1037
Property Value 17	varies	2796	2583	990.3	1004	1020	1034
Property Value 18	varies	2823	2612	988.2	1002	1017	1031
Property Value 19	varies	2850	2641	985.8	999.2	1015	1029
Property Value 20	varies	2876	2670	983.3	996.7	1012	1026
Property Value 21	varies	2903	2699	980.7	994.1	1009	1023
Property Value 22	varies	2929	2728	977.9	991.3	1006	1020
Property Value 23	varies	2956	2757	975	988.5	1003	1017
Property Value 24	varies	2983	2786	971.9	985.5	1000	1014
Property Value 25	varies	3009	2815	968.8	982.4	997	1011
Property Value 26	varies	3036	2844	965.5	979.2	993.6	1007
Property Value 27	varies	3063	2873	962	975.8	990.1	1003
Property Value 28	varies	3089	2902	958.5	972.3	986.5	999.7
Property Value 29	varies	3116	2931	954.8	968.7	982.8	995.8
Property Value 30	varies	3143	2960	951.1	965	978.9	991.8
Property Value 31	varies	3169	2989	947.2	961.2	974.9	987.7
Property Value 32	varies	3196	3018	943.2	957.2	970.8	983.4
Property Value 33	varies	3223	3047	939.1	953.1	966.6	979.1

Figura 8.65 - Menu da Classe *Fluid Properties Concentration*

8.2.25 Grupo “Output Reporting”

No grupo *Output Reporting*, são definidas as variáveis que queremos ver calculadas pelo *EnergyPlus*, e a forma como são apresentados os dados no relatório final após a execução da simulação.

8.2.25.1 Output Table Monthly

Nesta classe são definidos os dados do comportamento do edifício que queremos ver reportados mensalmente. Para a presente simulação foram criados os objectos “*Building Loads – Cooling*” para as cargas de arrefecimento “*Building Loads – Heating*” para as cargas de aquecimento, onde no caso do arrefecimento, foram introduzidas as variáveis “*Zone Air System Sensible Cooling Energy*” para calcular a soma ou a média; “*Zone Air System Sensible Cooling Rate*” para calcular o máximo, entre outras variáveis possíveis de ver reportadas.

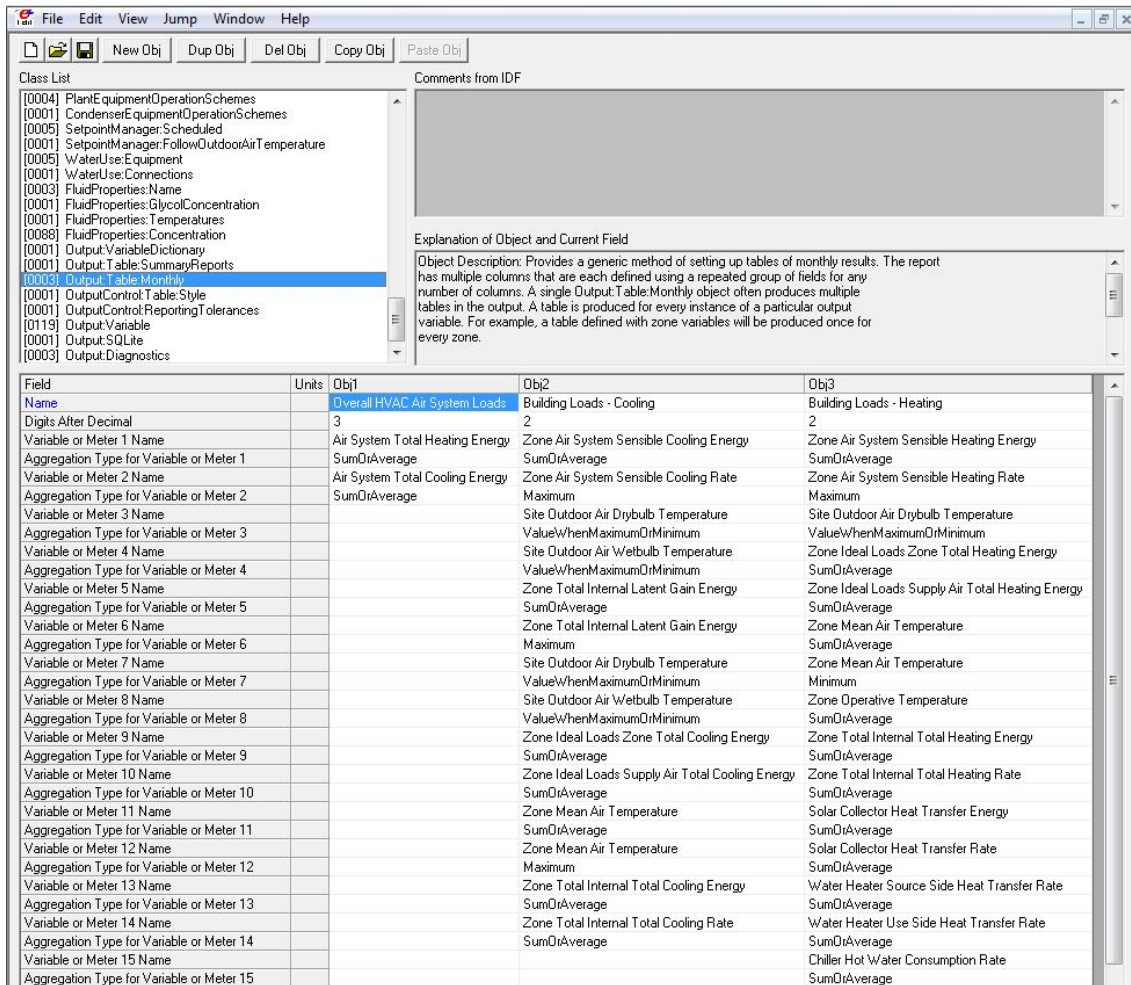


Figura 8.66 - Menu da Classe *Output Table Monthly*

8.2.25.2 Output Variable

Nesta classe define-se quais são variáveis que o programa irá calcular a partir dos dados que foram introduzidos. No caso da presente simulação foram indicadas 127 variáveis, entre as quais “*People Air Temperature*” ou “*Zone Air Heat Balance Air Energy Storage rate*” entre outras, sendo a frequência do cálculo definida para cada hora.

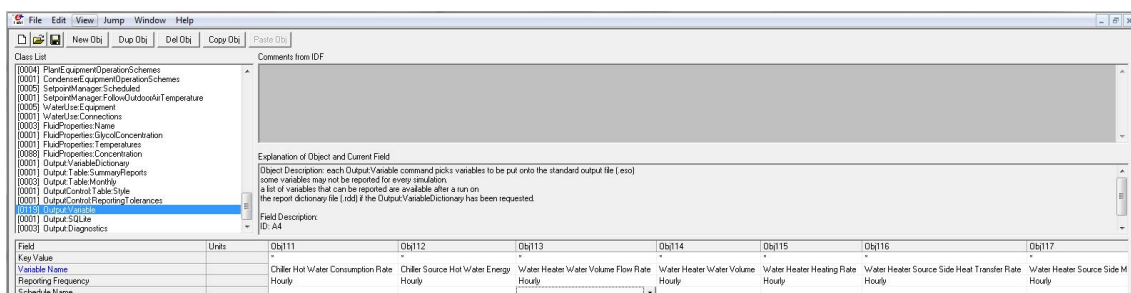


Figura 8.67 - Menu da Classe *Output Variable*

8.3 Simulação Energética

Depois de introduzida toda a informação necessária para a simulação do comportamento térmico da Moradia, pode-se proceder à simulação.

8.3.1 Carga térmica do edifício

Para determina a carga térmica do edifício foi efetuada uma simulação, utilizando toda informação previamente inserida até ao ponto 8.2.11 Grupo “*Zone Hvac Controls And Thermostats*” mais a dos pontos do Grupo “*Output Reporting*” a qual se adicionaram também outros dados introduzidos no Grupo “*HVAC Templates*”.

8.3.1.1 Grupo “*HVAC Templates*”

8.3.1.1.1 HVAC Templates Thermostat

Para esta classe foi criado o objeto “Termostato” onde foram introduzidas as *schedules* “*Heating Setpoint*” para o aquecimento (até aos 20 °C) e “*Cooling Setpoint*” para o arrefecimento (a partir dos 25 °C).

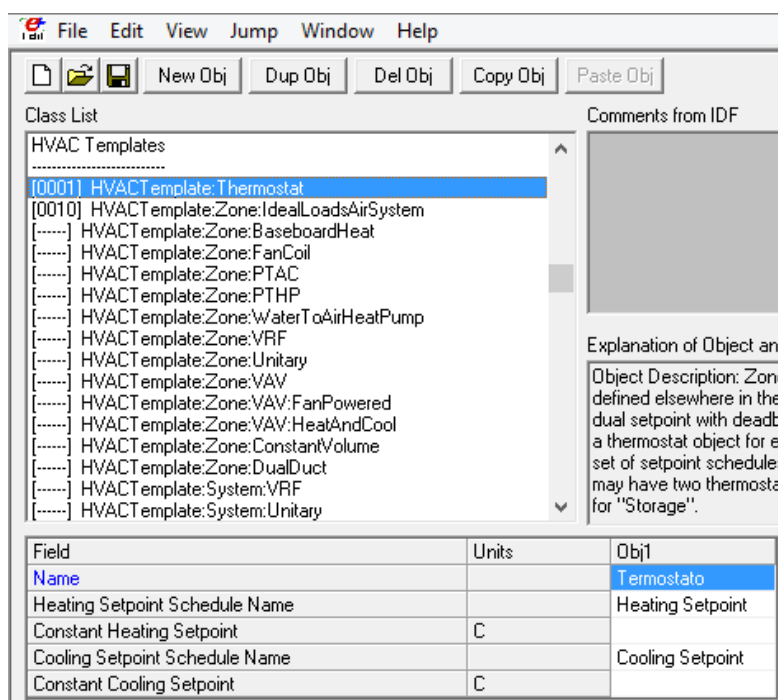


Figura 8.68 - Menu da Classe *HVAC Templates Thermostat*

8.3.1.1.2 HVAC Templates Zone Ideal Loads Air System

Através da utilização desta classe, é possível fazer uma simulação mais simples para determinar as cargas térmicas do edifício, e obter as necessidades ideais de energia para aquecimento e arrefecimento.

Para tal foram criados 10 objetos um para cada zona térmica do edificio, seguindo uma lógica similar à já efetuada no ponto 8.2.12.1, mas de um modo mais simplificado. No caso do primeiro objeto, correspondente à zona térmica do “Quarto 2”, foi selecionado o “Termostato” referido no ponto anterior; para o fornecimento de ar quente e de ar frio, foram considerados os valores sugeridos pelo *EnergyPlus*, de 50 e 12 °C respetivamente, os restantes parâmetros foram introduzidos automaticamente pelo programa.

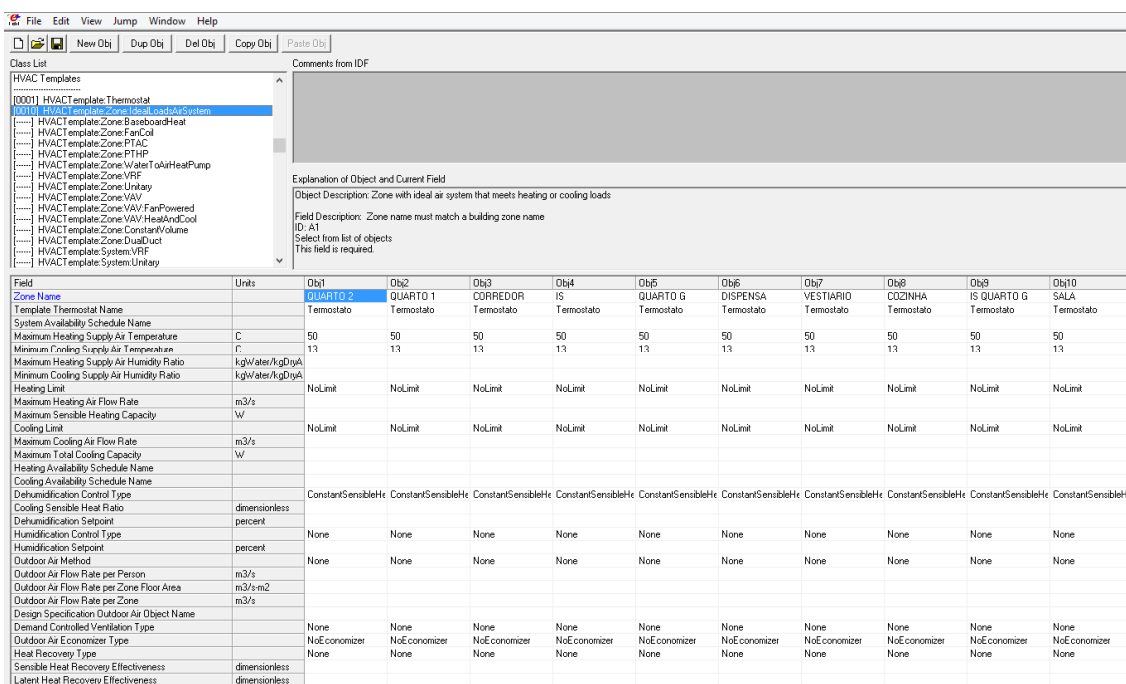


Figura 8.69 - Menu da Classe HVAC Templates Zone Ideal Loads Air System

8.3.1.2 Resultados

Com a mesma informação introduzida, foram efetuadas simulações para três localizações diferentes do território nacional, de modo a abranger as regiões Norte, Centro e Sul, tendo a escolha recaído nas cidades de Bragança, Coimbra e Faro.

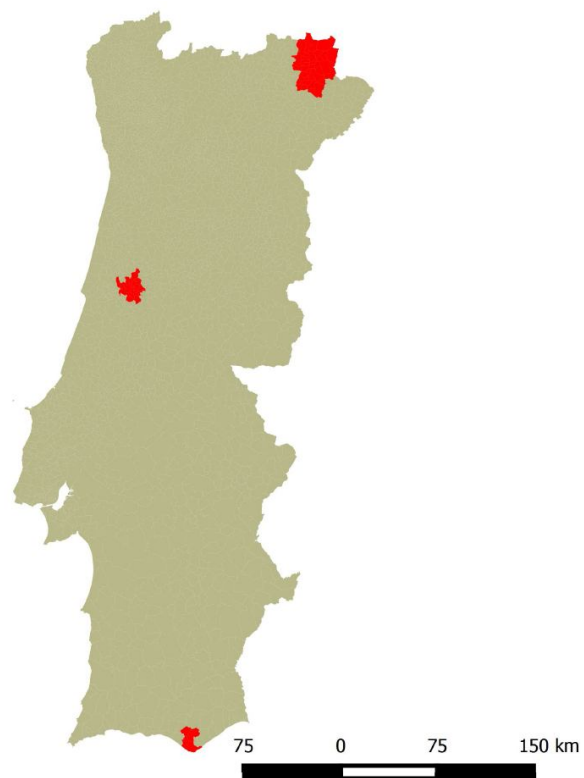


Figura 8.70 - Localização das três cidades (DGT-CAOP, 2016)

8.3.1.2.1 *Temperaturas em Bragança*

Com o clima de Bragança a variação da temperatura do ar interior que se verifica ao longo do ano sem a utilização de qualquer sistema de climatização é elevada, em contraste com que se verifica quando é utilizado um sistema de climatização com piso radiante hidráulico, tal como é possível verificar no gráfico seguinte.

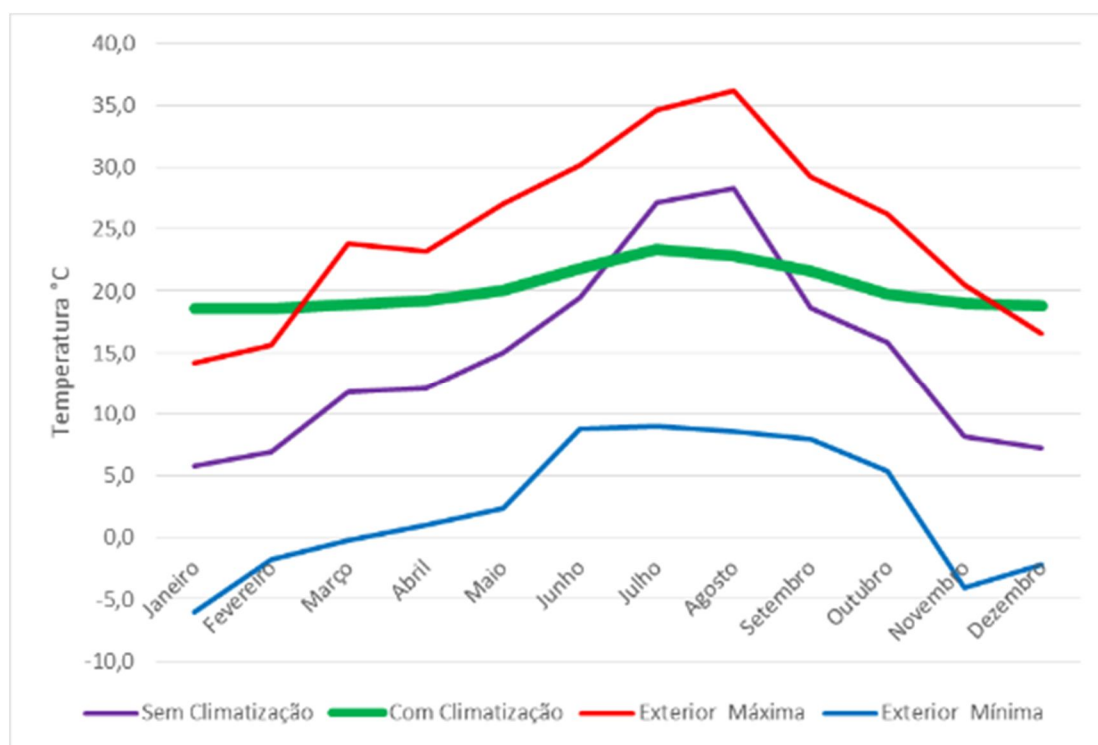


Gráfico 8.1 - Temperaturas em Bragança

Em Bragança a temperatura mais baixa no interior do edifício sem a utilização da climatização ocorre no dia 19 de Janeiro com o valor de 5,8 °C, e vai aumentado durante o ano até atingir 28 °C no dia 19 de Agosto. Com o sistema de climatização ativado, as temperaturas no interior do edifício são muito mais uniformes, oscilando entre os 18 °C no dia 19 de Janeiro e os 23 °C no dia 19 de Agosto.

8.3.1.2.2 Temperaturas em Coimbra

Com o clima de Coimbra, a amplitude térmica no interior do edifício sem a utilização de qualquer sistema de climatização é elevada, situação oposta durante o mesmo período se for utilizado de um sistema de climatização, como se pode verificar no gráfico seguinte.

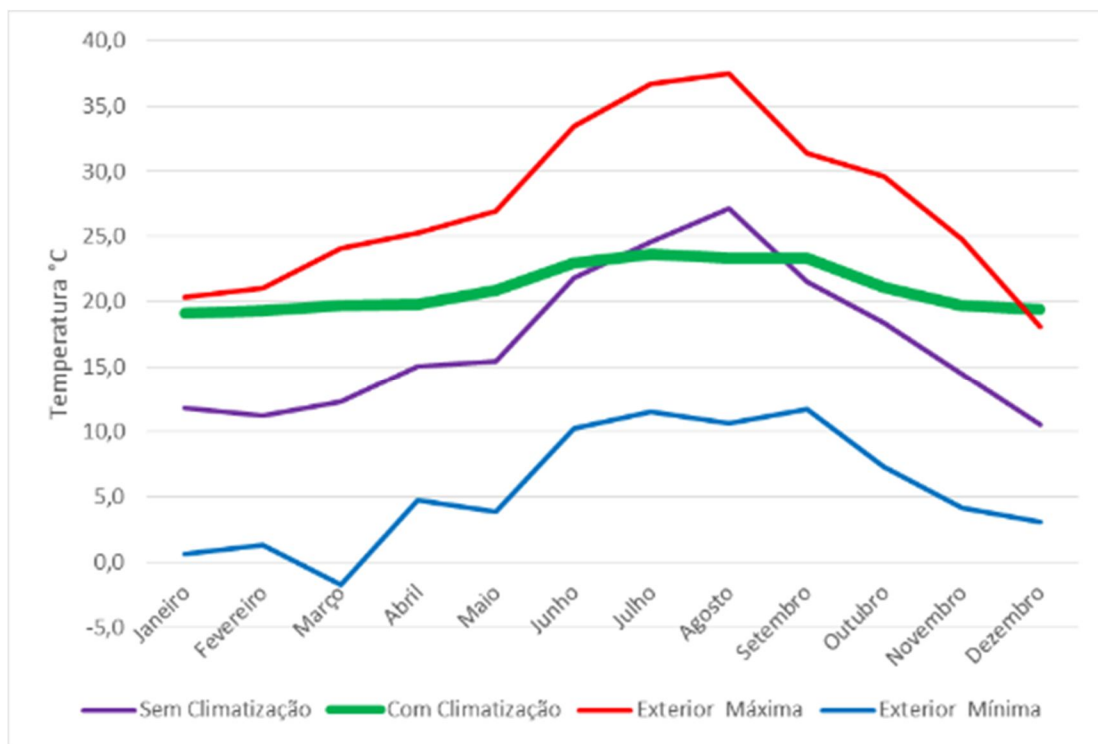


Gráfico 8.2 - Temperaturas em Coimbra

Com a localização em Coimbra, a temperatura mais baixa no interior do edifício sem recorrer a climatização é de 10,6 °C e acontece no dia 20 de Dezembro, e vai aumentando até atingir 27 °C no dia 10 de Agosto. Com a climatização ativada no interior do edifício as temperaturas mantêm-se mais estáveis, entre os 19 °C no dia 19 de Janeiro e os 23,6 °C no dia 22 de Julho.

8.3.1.2.3 Temperaturas em Faro

Através da análise do gráfico seguinte, é possível verificar a diferença de temperaturas existente no interior do edifício ao longo do ano, sem a utilização de qualquer sistema de climatização, em contraste com a utilização de um sistema de climatização durante o mesmo período.

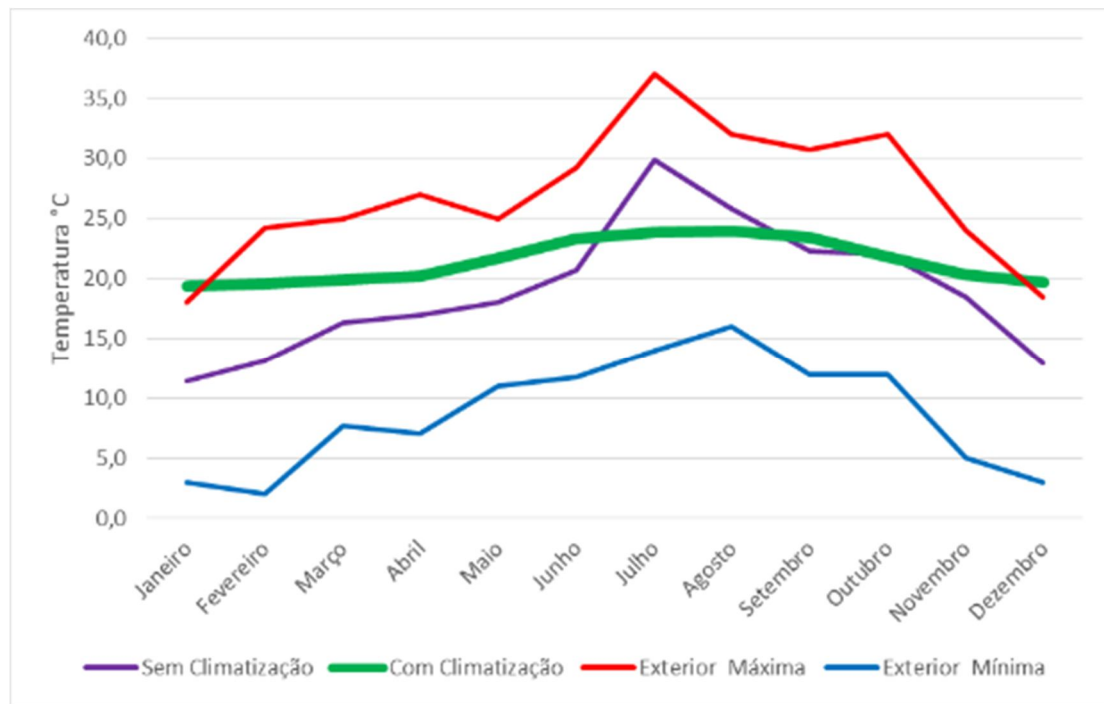


Gráfico 8.3 - Temperaturas em Faro

A temperatura mais baixa no interior do edifício sem a utilização da climatização ocorre no dia 11 de Janeiro com o valor de 11,4 °C, e vai aumentando durante o ano até atingir 30 °C no dia 24 de Julho. Com o sistema de climatização ativado, as temperaturas no interior do edifício são muito mais uniformes, oscilando entre os 19 °C no dia 1 de Janeiro e os 24 °C no 24 de Agosto.

8.3.1.2.4 Necessidades energéticas da moradia em Bragança

As necessidades energéticas anuais da moradia, quando localizada em Bragança, referente aos processos de aquecimento e de arrefecimento são bastante variáveis, sendo predominante o período com necessidade de aquecimento em relação ao de arrefecimento, como é perfeitamente visível no gráfico que se segue.

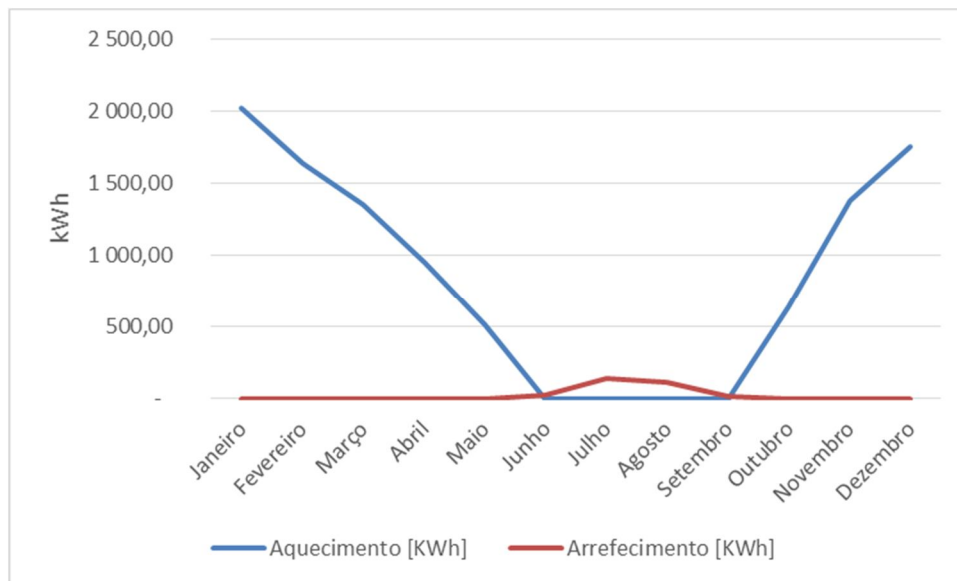


Gráfico 8.4 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Bragança

Da observação do Gráfico 8.4, ressaltam os períodos de aquecimento com as necessidades mais acentuadas no mês de Janeiro com 2019,74 kWh energia fornecida, sendo o pico de potência de 20,7 kW no dia 1 de Fevereiro, com uma diminuição gradual até ao mês de Maio quando as necessidades se situam nos 514,15 kWh. Segue-se o mês de Junho com necessidades de climatização inferiores a 22,81 kWh, e durante o mês de Julho é necessário arrefecer o edifício com 142,73 kWh de energia útil com um pico de potência de 2,31 kW no dia 23 de Julho, durante o mês de Agosto será também necessário arrefecer com 117,35 kWh com o pico de potência de 2,9 kW no dia 19 de Agosto, em Setembro as necessidades energéticas são de 13,76 kWh,. No mês de Outubro começa o período de aquecimento que vai até Dezembro altura em são necessários 1756,43 kWh de energia útil com o pico de potência necessária a registrar-se em 19,20 kW no dia 26 de Dezembro. No que diz respeito às zonas do edifício com maiores necessidades de aquecimento, como é visível no gráfico seguinte, a sala pelo facto de ter uma área superior às restantes, é a divisão que necessita de mais energia para aquecimento, com um valor anual de 4208,02 kWh, sendo o mês de Janeiro aquele mais carece de aquecimento.

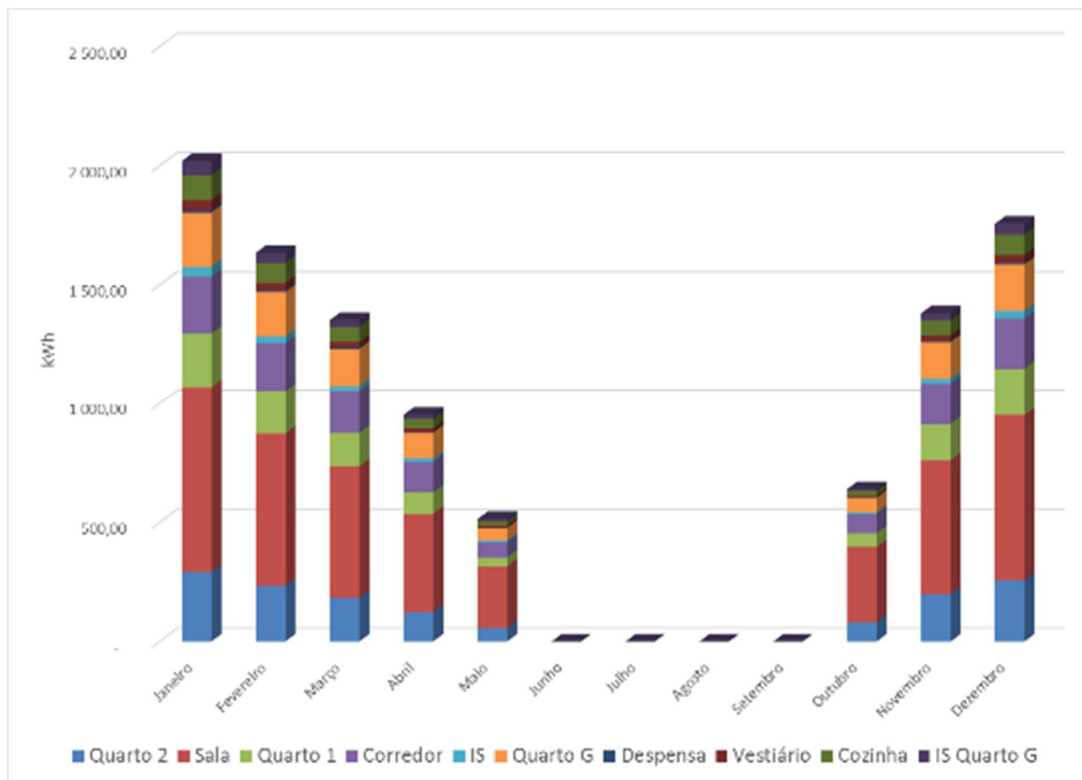


Gráfico 8.5 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Bragança

No caso do arrefecimento, é também a sala, aquela que requer maiores necessidades de arrefecimento com 105,75 kWh de energia útil.

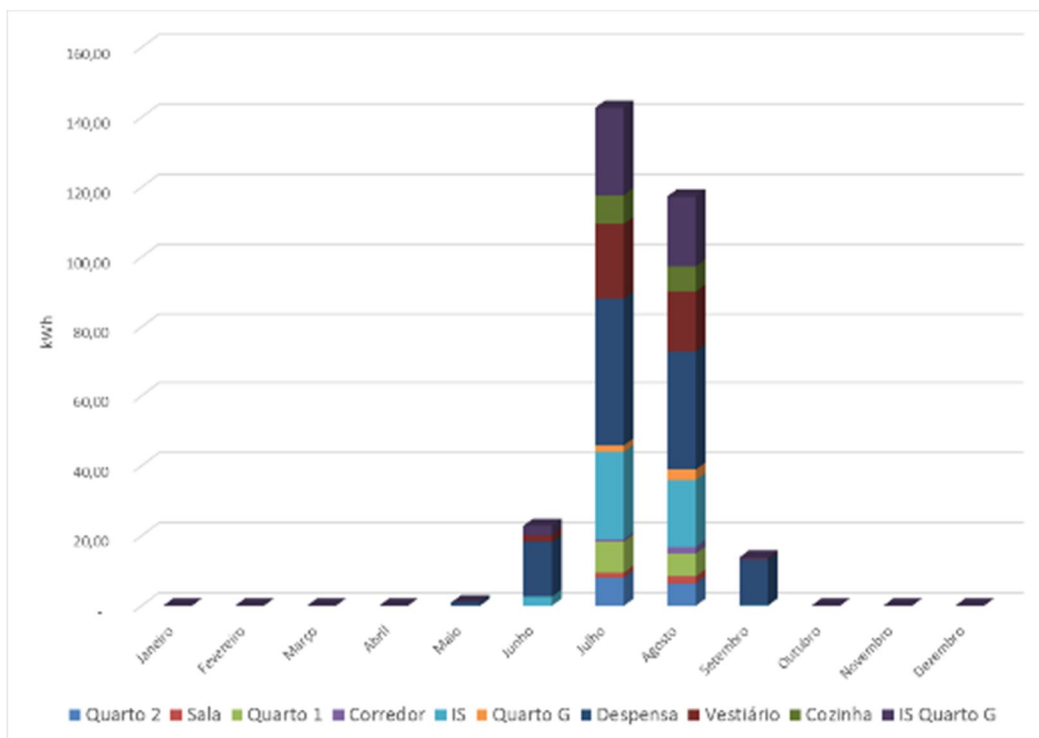


Gráfico 8.6 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Bragança

8.3.1.2.5 Necessidades energéticas da moradia em Coimbra

Para a localização em Coimbra as necessidades energéticas relativas ao aquecimento e arrefecimento ao longo do ano também são bastante variáveis, onde se evidencia o período com necessidade de aquecimento relativamente ao de arrefecimento, como demonstra o gráfico seguinte.

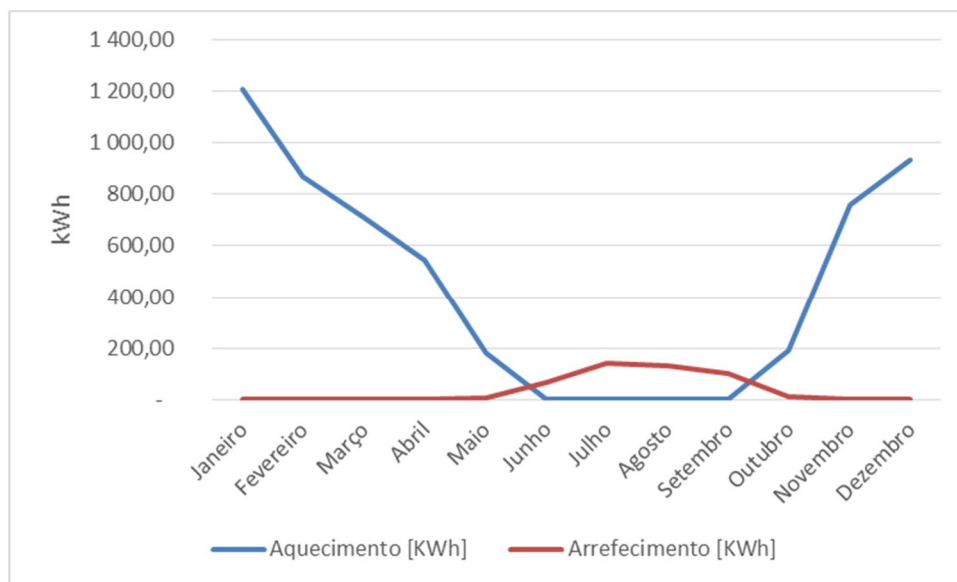


Gráfico 8.7 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Coimbra

No Gráfico 8.7, sobressaem os períodos de aquecimento com as necessidades mais acentuadas no mês de Janeiro com 1210,06 kWh energia a fornecer, e o pico de potência necessária de 20,24 kW no dia 19 de Janeiro, e vai decrescendo até ao mês de Maio para os 180,91 kWh, altura em que também será necessário proceder ao arrefecimento do edifício com um valor muito residual de 5,78 kWh. Durante o mês de Junho o arrefecimento será de 64,01 kWh, sendo que a partir do mês de Julho é necessário arrefecer o edifício com 142,85 kWh de energia com um pico de potência de 1,9 kW no dia 23 de Julho, ao longo do mês de Agosto será necessário arrefecer com 130,34 kWh com o pico de 2,8 kW no dia 10 de Agosto. Durante o mês de Setembro as necessidades energéticas para arrefecimento são de 101,51 kWh, durante o mês de Outubro será ainda necessário proceder ao arrefecimento com 10,59 kWh, bem como aquecer com 189,36 kWh, marcando o início do período de aquecimento que vai até Dezembro altura em são necessários 935,10 kWh de energia, sendo o pico de potência necessária de 19,8 kW no dia 20 de Dezembro.

A zona do edifício que apresenta a maior necessidade de aquecimento é também a sala, com um valor anual de 2490,28 kWh, sendo também o mês de Janeiro aquele que apresenta maiores necessidades energéticas, como se pode observar no Gráfico 8.8.

Gráfico 8.5

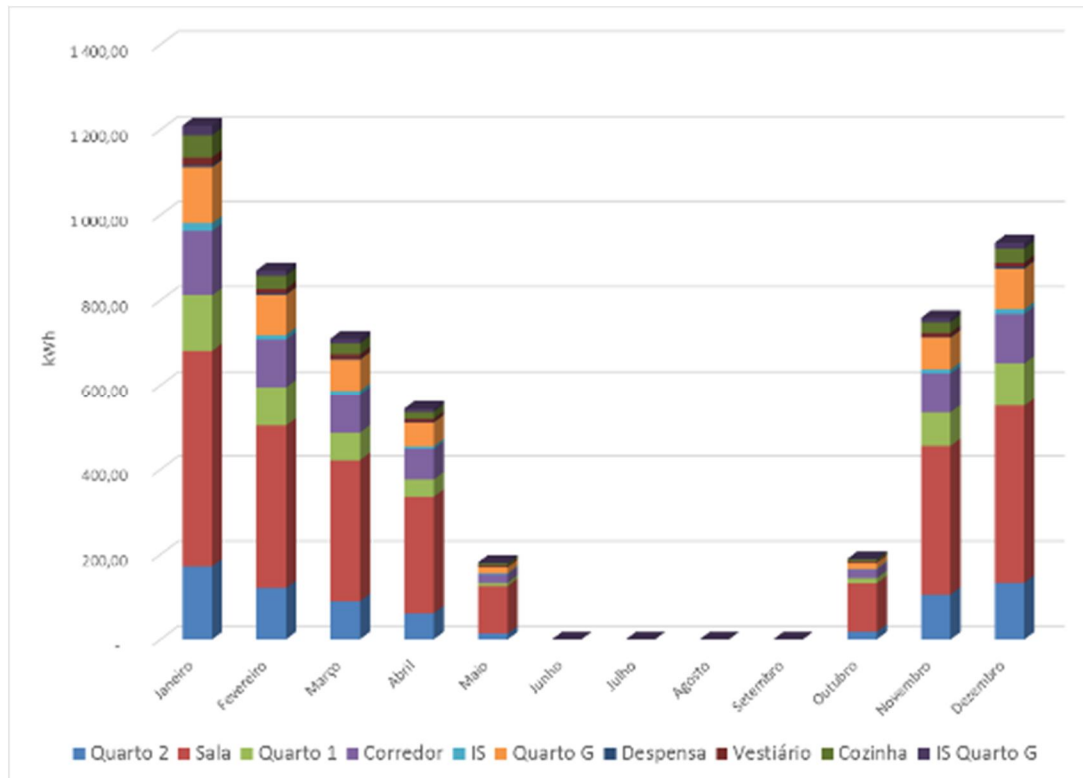


Gráfico 8.8 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Coimbra

É também a zona da sala, aquela que requer maiores necessidades de arrefecimento com 176 kWh de energia.

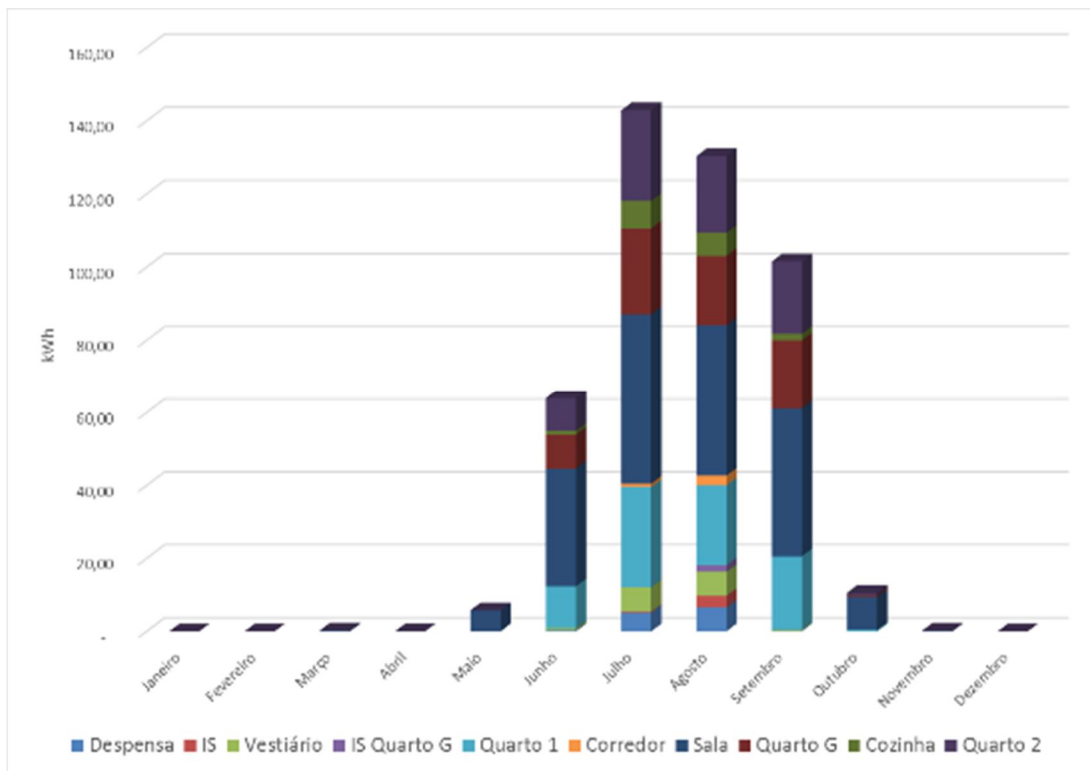


Gráfico 8.9 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Coimbra

8.3.1.2.6 Necessidades energéticas da moradia em Faro

Em Faro as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento ao longo do ano são bastante variáveis, sendo predominante o período com necessidade de aquecimento em relação ao de arrefecimento, como é perfeitamente visível no gráfico que se segue.

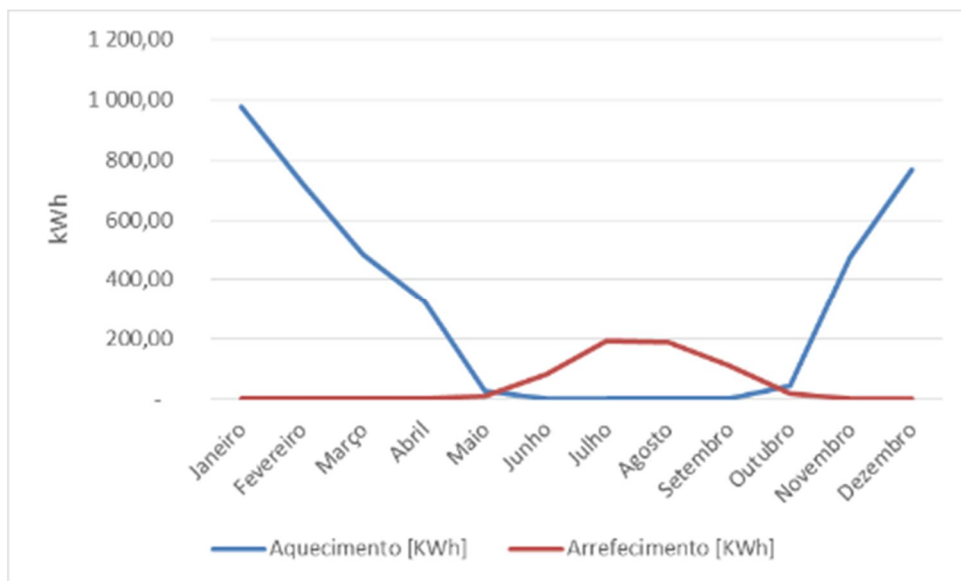


Gráfico 8.10 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento em Faro

Da análise do gráfico anterior, ressaltam os períodos de aquecimento com as necessidades mais acentuadas no mês de Janeiro com 977,27 kWh de energia fornecida, sendo o pico de potência de 20 kW no dia 11 de Janeiro, com uma diminuição gradual até ao mês de Maio quando as necessidades se situam nos 27,6 kWh com um pico de 2,36 kW, altura em que também tem início o período de arrefecimento com a necessidade de 11,06 kWh, no mês de Junho as necessidades são de 83,92 kWh, e durante o mês de Julho já é necessário arrefecer o edifício com 196,07 kWh de energia com um pico de potência de 3,85 kW no dia 24 de Julho, durante o mês de Agosto será também essencial arrefecer com 192,17 kWh com o pico de 1,4 kW no dia 23 de Agosto, em Setembro o arrefecimento é de 111,45 kWh, e em Outubro as necessidades energéticas são mistas sendo necessário arrefecer com 20,45 kWh no início do mês, e aquecer no final com 46,56 kWh com um pico de 5 kW, o período de aquecimento vai aumentado até Dezembro altura em são necessários 767,02 kWh de energia com o pico de potência necessária a registar-se em 19,7 kW no dia 31 de Dezembro.

Relativamente às zonas do edifício com maiores necessidade de aquecimento, como se pode observar no Gráfico 8.11 a sala é a divisão que necessita de mais energia para aquecimento com um valor anual de 1850,70 kWh, sendo necessário um maior fornecimento ao longo do decorrer do mês de Janeiro.

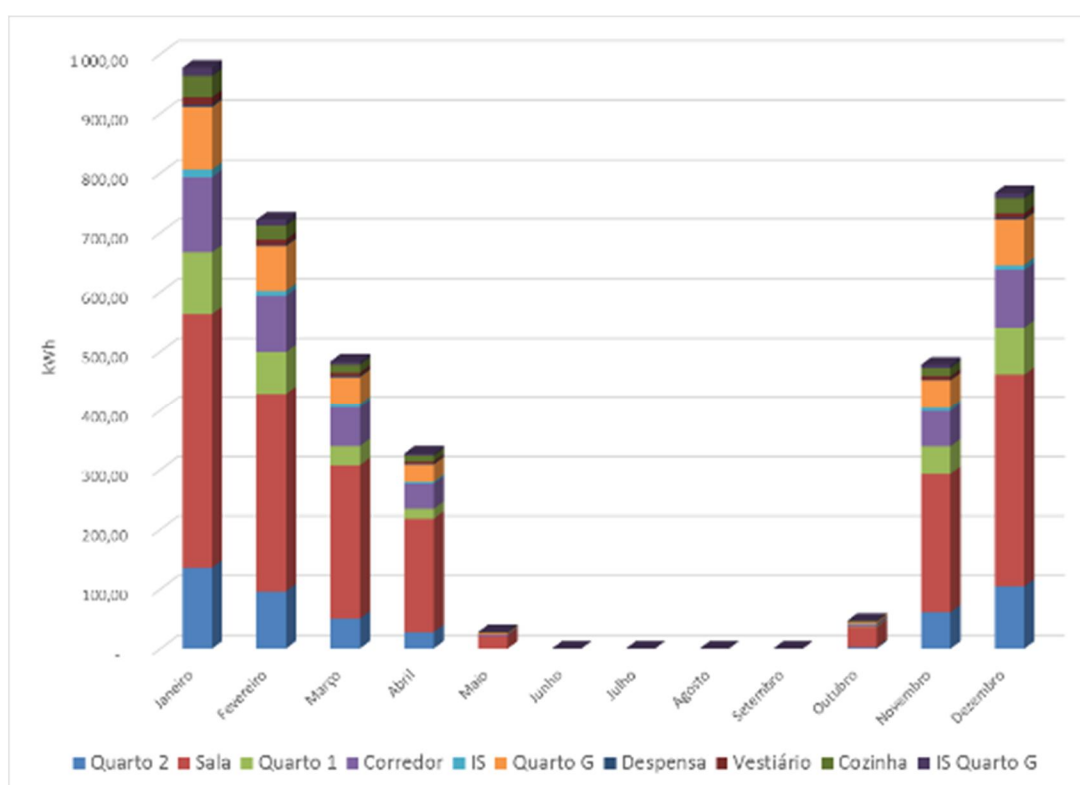


Gráfico 8.11 - Necessidades de aquecimento por zona térmica em Faro

Para o arrefecimento, é também a sala a zona do edifício com maiores necessidades de arrefecimento com 209,60 kWh de energia a fornecer.

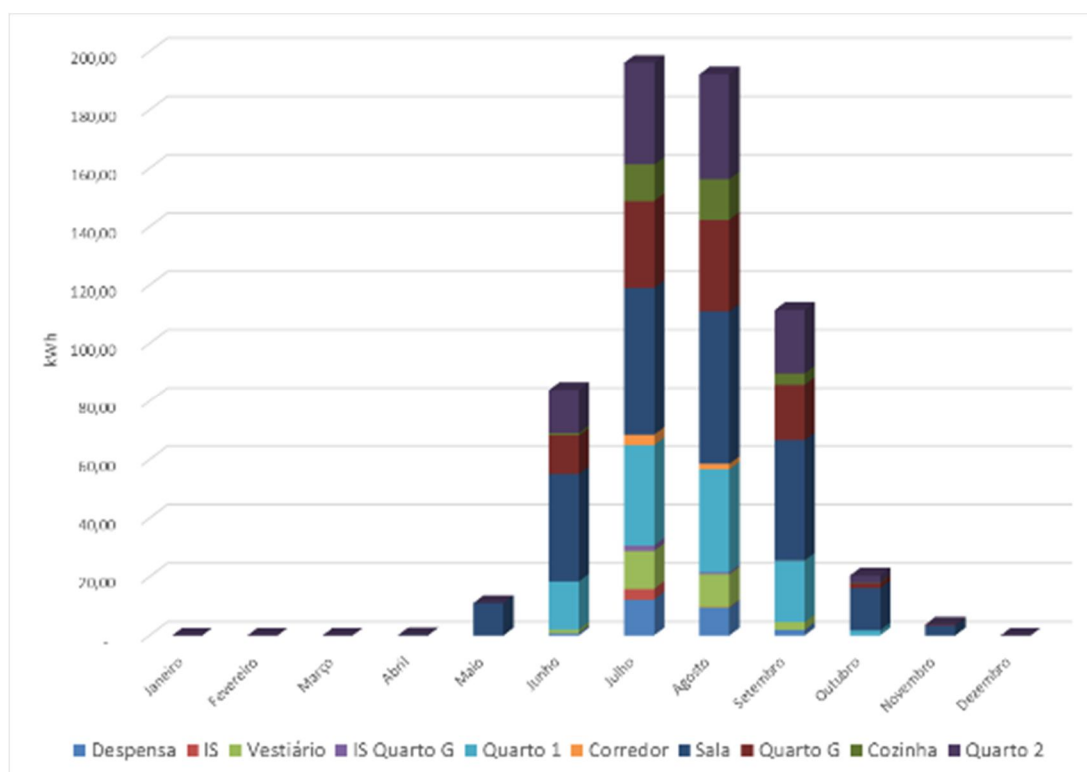


Gráfico 8.12 - Necessidades de arrefecimento por zona térmica em Faro

8.3.2 Dimensionamento do sistema

No ponto 8.3.1 foi efetuada a simulação para determinar a carga térmica da moradia, neste ponto será efetuada a simulação para calcular os equipamentos que compõem o sistema de climatização, e para tal, será considerada toda a informação inserida no programa.

Nos relatórios de erros do *EnergyPlus*, obtidos para as diversas simulações que se realizaram, foram emitidos vários avisos resultantes dos cálculos efetuados, onde um dos maiores problemas detetados foi a formação de condensação no pavimento durante o período de arrefecimento. Esta situação foi detetada variadíssimas vezes durante o cálculo, no entanto o próprio programa tem a autonomia para desligar o sistema de arrefecimento durante os picos de condensação e voltar a ligá-lo novamente. Para solucionar o problema foram tentadas varias alternativas, como aumentar a temperatura do fluido de circulação; aumentar a ventilação; alterar o isolamento térmico; substituir o

pavimento, entre outras soluções sugeridas pelo próprio *EnergyPlus*, no entanto nenhuma das hipóteses tentadas surtiu qualquer efeito, pelo que se manteve tudo igual deixando o programa calcular assim mesmo. Outro aviso repetido, também várias vezes, foi referente à elevada temperatura atingida pelo fluido térmico que circula entre os coletores solares e o depósito de inércia, fluido este composto pela mistura água e propileno glicol, que atingiu valores superiores 125 °C, limite máximo possível para o cálculo com os dados disponíveis nas tabelas do *EnergyPlus*, sendo que neste caso foram tentadas varias concentrações de água e glicol mas também sem êxito.

8.3.2.1 Circuitos hidráulicos

8.3.2.1.1 Caudais de circulação do piso radiante hidráulico

A rede de tubagem que compõe o piso radiante hidráulico existente debaixo do pavimento interior da moradia, distribuída pelas dez zonas térmicas do edifício, tem um comprimento total de 882 m, que foram definidos pelo *software*. No gráfico seguinte é possível observar as grandes diferenças de caudais para o mesmo edifício nas três zonas do país estudadas, no qual a cidade de Bragança se destaca especialmente em relação a Faro.

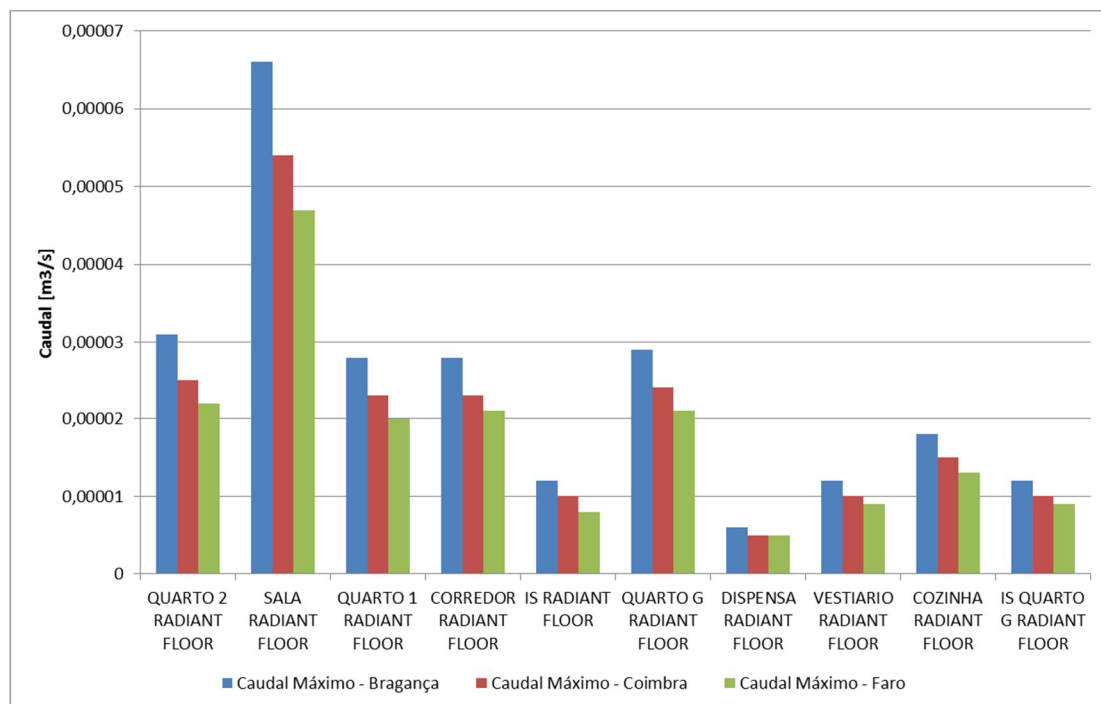


Gráfico 8.13 - Comparação da variação de caudal do piso radiante hidráulico nas três regiões de localização da moradia

Ainda no Gráfico 8.13 é possível verificar que os caudais de circulação determinados pelo programa apresentam “variações proporcionais” em função da área das diferentes zonas térmicas.

8.3.2.1.2 Caudais de circulação dos circuitos hidráulicos principais

A rede geral de circulação do sistema é composta três circuitos hidráulicos principais, ligados a outros tantos equipamentos responsáveis pelo fornecimento de água quente e fria, nomeadamente o circuito primário dos coletores solares (ligação entre os coletores solares e o depósito de inércia); o de armazenamento e distribuição de água quente (liga o depósito de inércia, ao coletor de distribuição do pavimento radiante hidráulico, e também o gerador do *chiller*), e o circuito de produção de água fria ou circuito primário do *chiller* (ligação entre o *chiller* e o coletor de distribuição do pavimento radiante hidráulico). No Gráfico 8.14 é notório o caudal superior do circuito de água quente, em contraste com o caudal bastante mais reduzido no circuito solar, sendo também mais relevantes os caudais quando a localização da moradia é na cidade de Bragança.

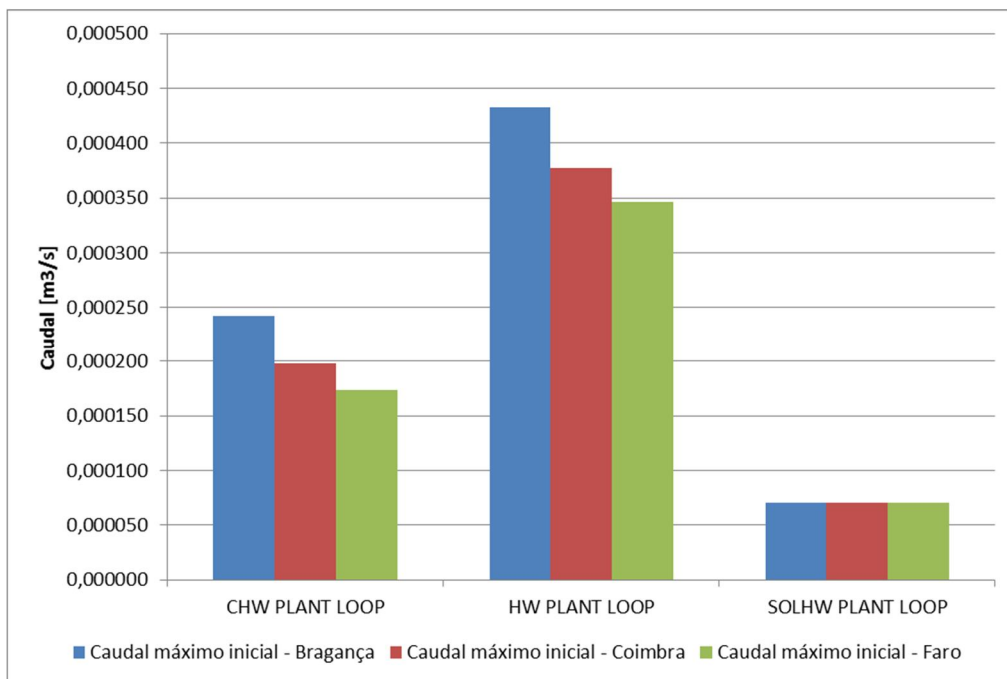


Gráfico 8.14 - Comparação da variação de caudal dos circuitos de abastecimento nas três regiões de localização da moradia

8.3.2.1.3 Caudais de circulação do circuito da torre de arrefecimento

Para além dos três circuitos referidos anteriormente, existe mais um circuito que faz parte do sistema de climatização do edifício estudado, que é o circuito que liga o condensador do *chiller* de absorção à torre de arrefecimento, e que é responsável pela dissipação de calor do *chiller*. Também neste circuito existem grandes diferenças de caudais entre as três cidades, como se pode constatar no gráfico seguinte.

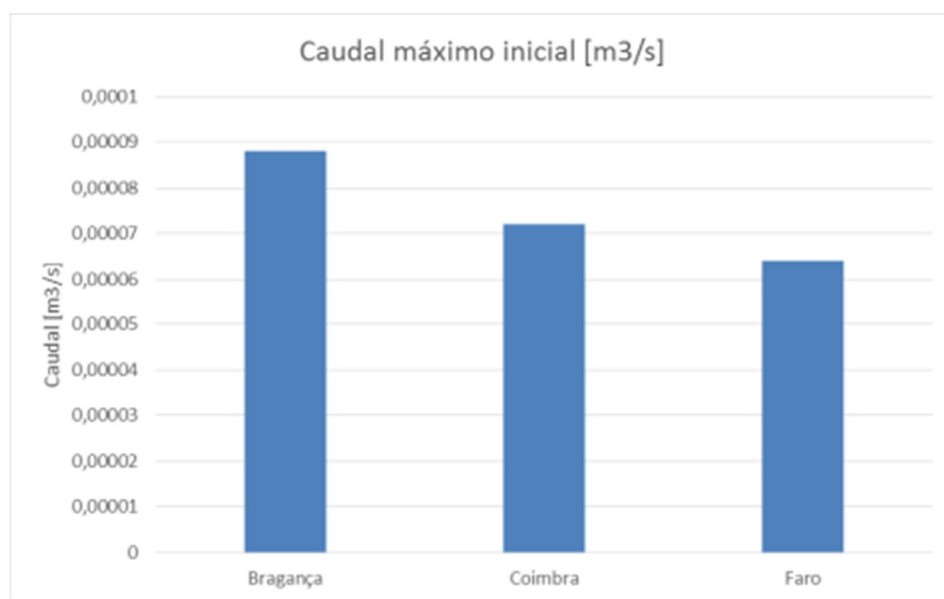


Gráfico 8.15 - Variação de caudal no circuito de arrefecimento do condensador do *chiller* nas três regiões de localização da moradia

8.3.2.2 Depósito de armazenamento de água aquecida pelo sistema solar

Para o fornecimento constante de água aquecida, o sistema requiere a existência um reservatório de inércia térmica com grande capacidade, para poder abastecer continuamente com uma temperatura constante o pavimento radiante hidráulico durante a época de aquecimento e o gerador do *chiller* de absorção aquando do período de arrefecimento, para além do fornecimento de água quente sanitária aos habitantes da moradia durante todo o ano. Como resultado das simulações efetuadas pelo sistema de climatização aplicado à mesma moradia, obtiveram-se diferentes volumes para cada reservatório: no caso da cidade de Bragança as condições climáticas da região determinam a necessidade de instalar uma capacidade de armazenamento de 1560 litros de água aquecida, em que o caudal inicial de consumo é de 0,000433 m³/s; para a cidade

de Coimbra as necessidades de armazenamento são de 1360 litros de água quente, para um caudal inicial de $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$; no caso da localização na cidade de Faro implica a instalação um reservatório com capacidade para 1250 litros de água aquecida, sendo o caudal de consumo inicial de $0,000346 \text{ m}^3/\text{s}$. No Gráfico 8.16 é possível verificar o contraste entre a necessidade de armazenamento de água aquecida nas três cidades, e a correlação com os seus caudais de consumo.

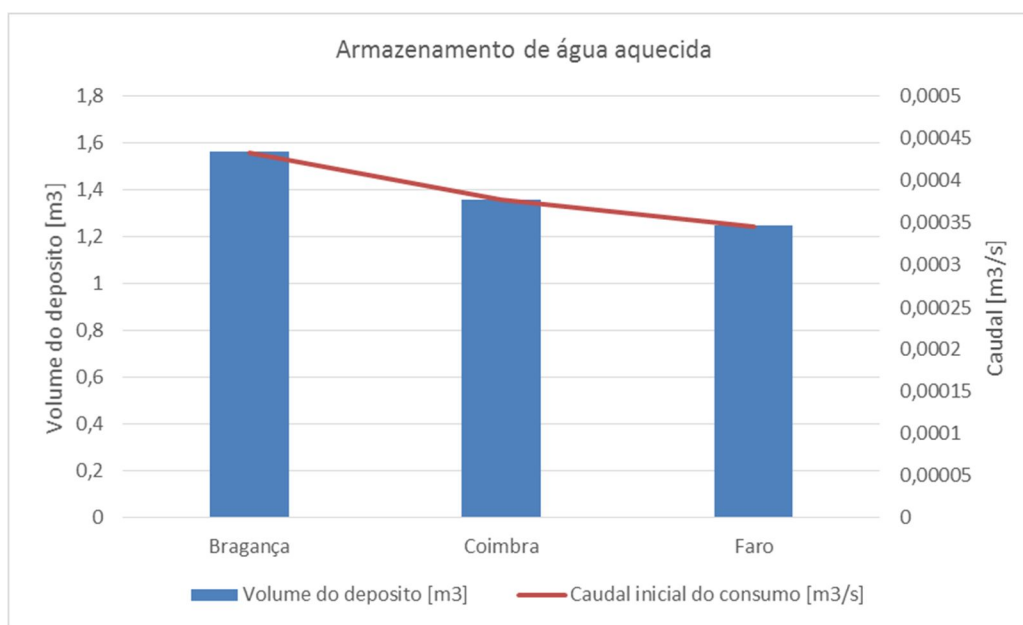


Gráfico 8.16 - Necessidade de armazenamento de água aquecida e caudais de consumos nas três cidades

8.3.2.3 Coletores solares

Para a instalação inicial dos coletores foi considerada toda a área disponível existente na cobertura da moradia incluindo os alpendres e garagem, pese embora a forma irregular como são constituídas as águas do telhado poderem causar algumas dificuldades na instalação dos próprios coletores solares. Embora sejam generosos os 202 m^2 de área disponível, foi necessário ter em conta a forma como os coletores são instalados, nomeadamente o cuidado de evitar que os da fila da frente criassem zonas de sombra na fila posterior. Para tal foi utilizada a fórmula referida no ponto 4.1.1.1 Instalação de colectores, para determinar o afastamento entre as filas, sendo que em cada uma das filas foram considerados 10 coletores solares orientados para sul, com inclinações de 27° para Bragança, 25° para Coimbra e 22° para Faro.

	L Comprimento do Coletor (m)	β Angulo de inclinação (Graus)	Latitude do local (Graus)	d Distância entre filas (m)	Número máximo de coletores
Bragança	2,057	27,00	41,80	3,86	40,00
Coimbra	2,057	25,00	40,20	3,62	44,00
Faro	2,057	22,00	37,02	3,27	48,00

Tabela 8.1 - Afastamento entre filas de coletores

A partir da distância entre filas foi possível determinar a quantidade máxima de coletores passíveis de instalar na cobertura do edifício sem grandes constrangimentos técnicos, permitindo a instalação total de máxima de 40 coletores em Bragança, 44 em Coimbra e 48 em Faro.

O *EnergyPlus* não faz o dimensionamento direto do número de coletores necessários nem da área a instalar, pelo que é essencial efetuar em primeiro lugar, para além do cálculo das necessidades de energia para produzir a água quente, pré-dimensionar o depósito de água quente que servirá de inércia térmica. Só depois é possível determinar a quantidade de coletores, começando por associá-los até se conseguir atingir a potência suficiente para o aquecimento do volume de água existente no depósito. Este método é moroso e muito pouco prático no *Energy Plus*, uma vez que para adicionar um coletor é necessário executar todos os passos referidos nos pontos 8.2.7.7 - *Shading Site Detailed*; 8.2.14.1–*Branch*; 8.2.14.2 - *Branch List*; 8.2.14.3 - *Connector Splitter*; 8.2.14.4 - *Connector Mixer*; 8.2.16.2 - *Solar Collector Flat Plate Water*; 8.2.21.1 - *Plant Equipament List*, e a mesma situação no caso de se pretender remover um coletor.

Para ultrapassar este problema optou-se pela utilização do programa de análise energética “SolTerm”, de modo a apurar a quantidade de coletores solares a instalar em cada uma das cidades, de acordo com as necessidades de água quente para o funcionamento do piso radiante e o abastecimento de água quente sanitária, determinadas pelas simulações do *EnergyPlus*.

8.3.2.3.1 Coletores solares a utilizar

Antes de se proceder à determinação da quantidade de coletores solares em cada uma das localizações estudadas, foi feita uma pesquisa dos tipos de coletores disponíveis no mercado nacional, de onde foram seleccionados os fabricantes “Baxiroca” e “Buderus”. Do primeiro foi escolhido o modelo de coletor plano “Sol 250 H” e o de tubos de vácuo

“AR 20” e do segundo fabricante o módulo plano “Logasol CKN 1.0S” e o de tubos de vácuo “Logasol SKR-12”, cujas características se apresentam na tabela seguinte.

	Baxiroca		Buderus	
	Sol 250 H	AR 20	Logasol CKN 1.0 S	Logasol SKR-12
Dimensões LxAxP (mm)	1147x2187x87	1482x1954	1032x2026x33	1392x2057x101
Área Total (m ²)	2,51	2,77	2,09	2,86
Área de Abertura (m ²)	2,37	2,15	1,95	2,57
Rendimento óptico	0,818	0,768	0,756	0,77
Coefficiente de perda linear K1 (W/m ² K)	3,748	1,36	4,052	0,749
Coefficiente de perda secundária K2 (W/m ² K ²)	0,016	0,0053	0,0138	0,005

Tabela 8.2 - Características dos coletores ensaiados (Buderus, 2016) (Baxiroca, 2016)

Como referido anteriormente a quantidade máxima de coletores possível de colocar na região mais desfavorável é 40 unidades, no entanto como os coletores selecionados não têm todos as mesmas dimensões exteriores, nem a mesma área de abertura, a análise não foi efetuada com base na soma do números de coletores adicionados, mas sim função do somatório da área total de cada bateria de coletores do mesmo modelo, de modo a obter áreas o mais aproximadas possível entre todos os grupo de coletores. Na tabela seguinte é possível comparar o número de módulos com o somatório da sua área total de abertura, bem como a potência nominal produzida pela mesma superfície.

Coletor	Baxiroca Sol 250 H	Baxiroca AR20	Buderus CKN 1.0 S	Buderus SKR-12
Módulos	8	8	9	7
Área m ²	18,96	17,20	17,55	17,99
Potencia nominal (kW)	13,30	12,00	12,30	12,60

Tabela 8.3 - Relação entre a quantidade de coletores, área de abertura e potência

Na Tabela 8.3 podemos verificar a título de exemplo que 8 coletores do modelo “Baxiroca AR20” tem uma área “equivalente” a 9 módulos “Buderus CKN 1.0S” e a 7 unidades do modelo “Buderus SKR-12”.

Para esta análise foram considerados dois valores de temperatura de funcionamento, um com produção de água quente na ordem de 60 °C e outro com temperatura superior a 70 °C. A razão pela qual se se precedeu desta forma, deve-se ao facto de que a água aquecida a uma temperatura de 60 °C ser o suficiente para alimentar o pavimento radiante

hidráulico durante o período de aquecimento no inverno, e para o abastecimento de água quente sanitária durante todo o ano, sendo apenas necessário temperaturas superiores a 70 °C para alimentar de um modo minimamente eficiente o gerador do *chiller* de absorção durante os meses de verão.

Os dados existentes na Tabela 8.2 foram introduzidos no programa “SolTerm”, onde se procedeu à simulação de cada um dos modelos de coletores para condições climáticas da cidade de Bragança, considerando também os 1500 litros de água quente necessários para o funcionamento do piso radiante e o abastecimento de água quente sanitária.

No primeiro ensaio que se efetuou foi considerado o fornecimento de água quente para aquecimento, arrefecimento e AQS à temperatura de 60 °C, recorrendo à instalação de uma área aproximada de coletores de todos os modelos de acordo com a Tabela 8.3, e a partir dos resultados obtidos foi elaborado o gráfico seguinte.

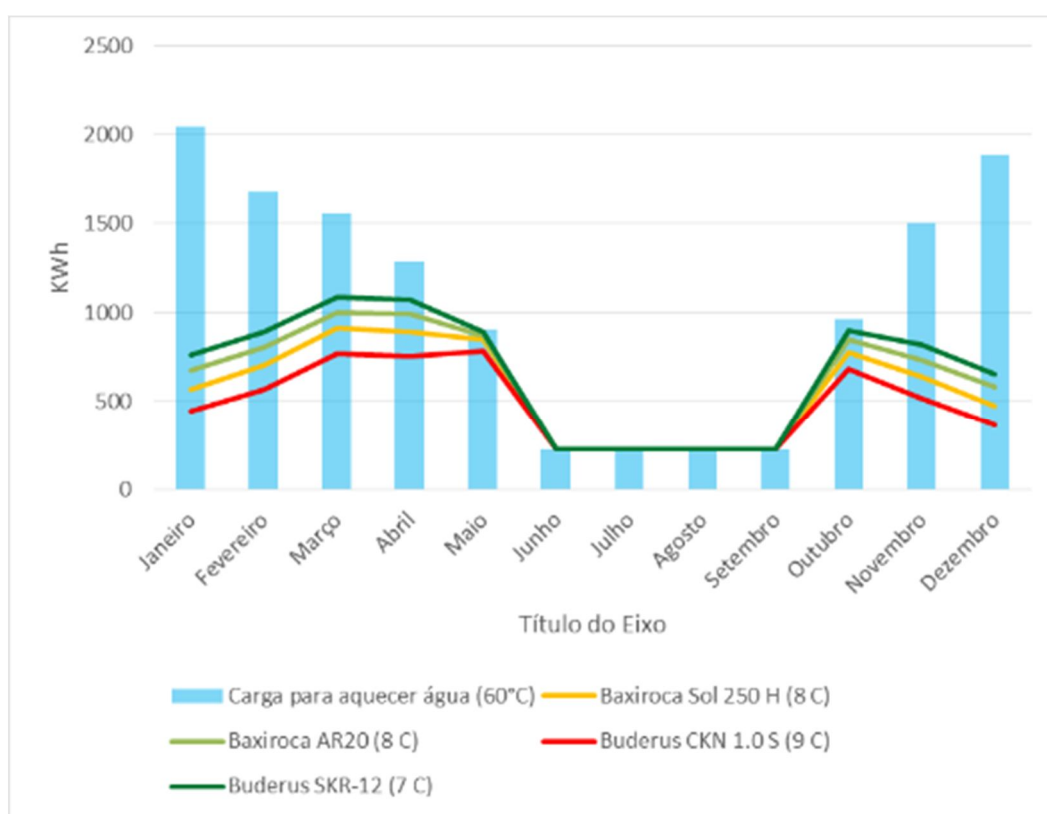


Gráfico 8.17 - Produção de água a 60 °C dos 4 modelos de coletores solares utilizados.

Da análise do gráfico ressalta a *performance* superior dos coletores compostos por tubos de vácuo no fornecimento de energia, em especial a superioridade dos 7 coletores “Buderus SKR-12” relativamente aos demais. Também é visível no gráfico que a partir

do mês de Junho até ao mês de Outubro, a ocorrência de uma queda abrupta do rendimento de todos os coletores solares, esta situação deve-se ao facto de que neste período as cargas de energia necessárias para o aquecimento de água são bastante inferiores às do resto do ano, uma vez que nesta época as necessidades de água quente resumem-se apenas ao normal uso sanitário e a alimentação volúvel do gerador do *chiller*, esta circunstância provoca o subaproveitamento das potencialidades dos coletores, conduzindo à existência de algum desperdício de energia.

Na segunda situação a temperatura para o abastecimento de água quente para aquecimento, arrefecimento e AQS, foi elevada para os 70 °C, sendo para tal considerada a instalação dos mesmos coletores nas mesmas condições. Mais uma vez se evidencia a *performance* superior do modelo “Buderus SKR-12”, que apresenta uma eficiência superior aos restantes modelos, como é visível no Gráfico 8.18. Também nesta circunstância é possível observar a existência de desaproveitamento das potencialidades dos coletores solares durante os meses de verão, com o consequente desperdício energético.

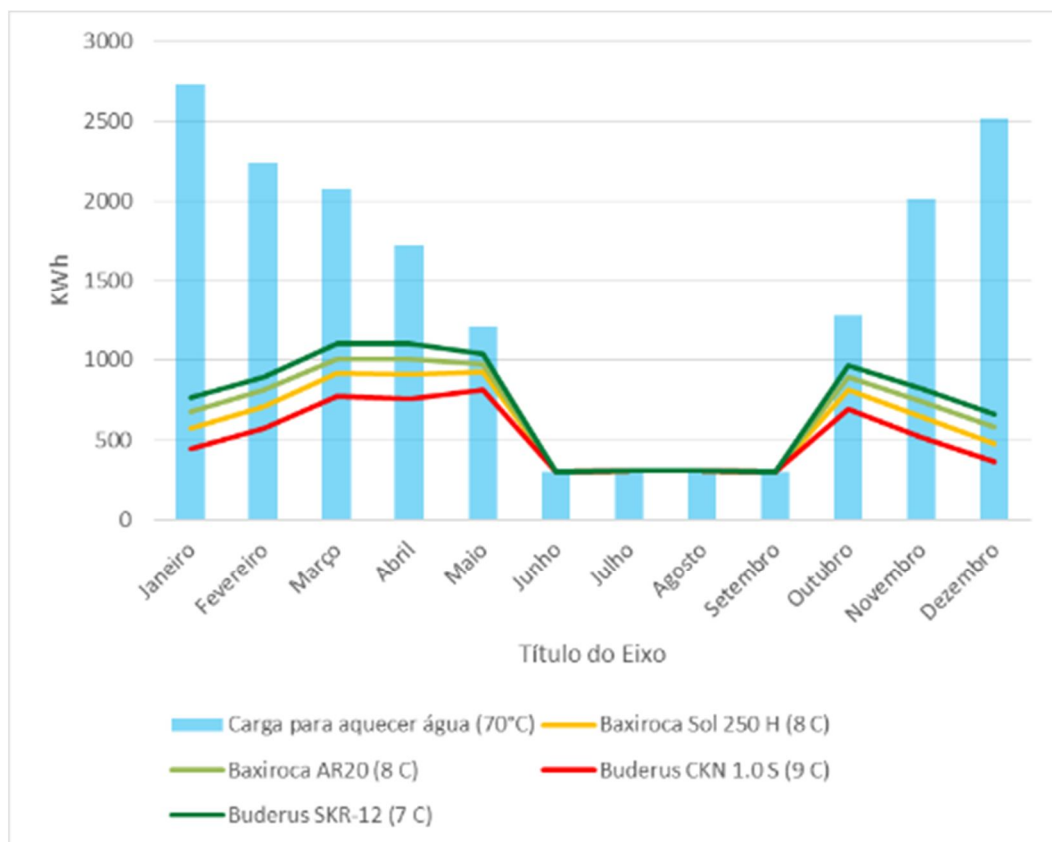


Gráfico 8.18 - Produção de água a 70 °C dos 4 modelos de coletores solares utilizados

8.3.2.3.1.1 Balanço energético do contributo solar em Bragança

O que se pretende realizar desta forma é estabelecer um balanço global médio, para o ano, tendo por finalidade o pré-dimensionamento da área de colectores e do volume de acumulação necessários para se proceder à simulação de todo o sistema com o programa *Energy Plus*.

Na cidade de Bragança para produzir um volume constante de água quente de 1500 litros a uma temperatura de 60 °C são necessários 12755 kWh por ano. Recorrendo à instalação de 8 coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“ é possível obter 6744 kWh/ano (53 % da carga necessária para o sistema de aquecimento/arrefecimento, e aquecimento de AQS), o que significa que será necessário fornecer os restantes 6011 kWh através de uma fonte de apoio. O valor mais elevado dessas necessidades é durante os meses de Janeiro e Dezembro com um apoio de 1476 e de 1417 kWh, respetivamente. Se de outra forma forem instalados 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“, estes conseguem fornecer 7996 kWh (63% da carga necessária para o sistema de aquecimento/arrefecimento, e de AQS), restando 4759 kWh de apoio, sendo uma vez mais os meses de Janeiro e Dezembro aqueles mais energia de apoio necessitam com 1282 e 1234 kWh, respetivamente. De referir também que em ambos os modelos de coletor, apenas ao longo dos meses de Junho a Setembro não é necessário o fornecimento de energia de apoio, como se pode verificar no gráfico seguinte.

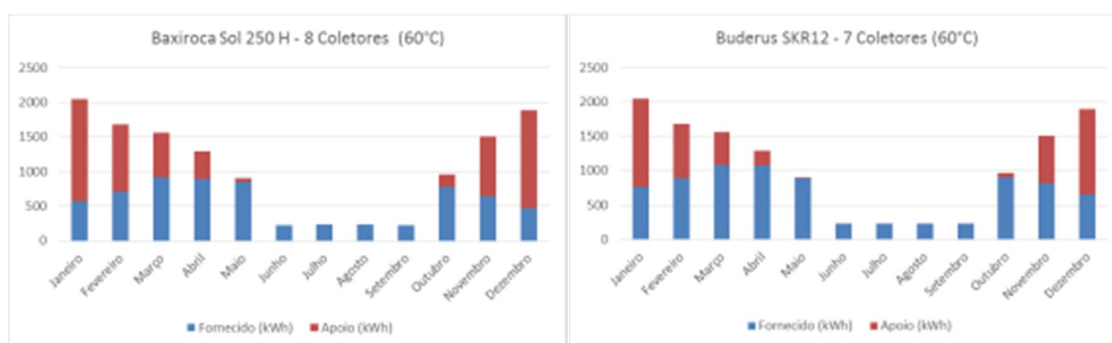


Gráfico 8.19 - Energia fornecida pelos dois modelos de coletores e pelo apoio em Bragança (60 °C)

Para as mesmas condições e com a utilização dos mesmos equipamentos, foi feita a simulação para se dispor da temperatura de 70 °C. Neste caso a necessidade de fornecimento corresponde ao anual de 17010 kWh. Com a instalação de um grupo de 8 de coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“ consegue-se obter 7184 kWh (42% para

aquecimento/arrefecimento, e AQS), restando 9826 kWh para fornecer em apoio. Para uma instalação de 7 colectores do modelo “Buderus SKR-12“, e para as mesmas necessidades, a energia fornecida é de 8564 kWh/ano (50% da carga de aquecimento/arrefecimento, e AQS) e o apoio de 8446 kWh. Em ambas as situações apenas nos meses de Junho, a Setembro não é necessário fornecer energia de apoio, enquanto nos restantes, uma vez mais Janeiro e Dezembro, foram aqueles que exigiram mais apoio em ambos os modelos.

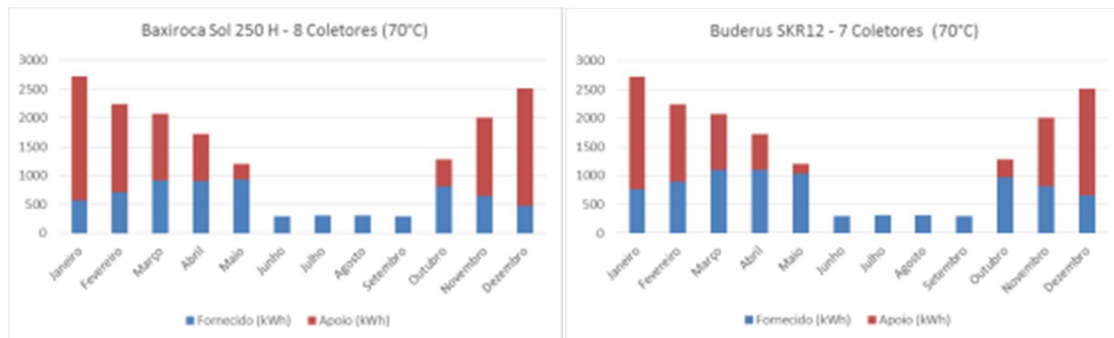


Gráfico 8.20 - Energia fornecida pelos colectores e pelo apoio em Bragança (70 °C)

Na cidade de Bragança, para a produção de água quente à temperatura de 60 °C, o grupo composto pelos colectores de vácuo “Buderus SKR-12“ conseguiu produzir mais dez por cento de energia ao longo do ano que a bateria composta pelos colectores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, o que em termos líquidos representa mais 1252 kWh produzidos durante o ano. Para o fornecimento água aquecida a 70 °C de temperatura, o mesmo grupo de colectores apresentou valores de energia produzidos igualmente superiores, mas neste caso a superioridade foi de apenas oito por cento, contudo o valor real da energia foi superior como demonstram os 1380 kWh. Em qualquer das situações o grupo de colectores com tubos de vácuo apresenta uma produção de energia superior ao conjunto dos colectores planos, sendo mais expressiva nos períodos de inverno onde chega a ser trinta e quatro por cento superior.

8.3.2.3.1.2 Balanço energético do contributo solar em Coimbra

No caso da cidade de Coimbra, com a necessidade de um depósito com a mesma capacidade de 1500 litros de água quente, também se recorreu à instalação de 8 colectores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“ para efetuar a simulação, os quais disponibilizam 6433 kWh (64% da Carga para aquecimento/arrefecimento, e AQS), para a uma a necessidade anual de 10022 kWh, restando desta forma o fornecimento de um apoio energético de

3589 kWh por ano, nos meses de Janeiro a Maio e de Outubro a Dezembro. Se forem instalados 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“ para a mesma carga anual, o sistema tem a capacidade de produzir 7430 kWh (74% aquecimento/arrefecimento, e AQS), sendo necessário fornecer 2592 kWh de energia de apoio durante os meses referidos, como se pode observar no Gráfico 8.21.

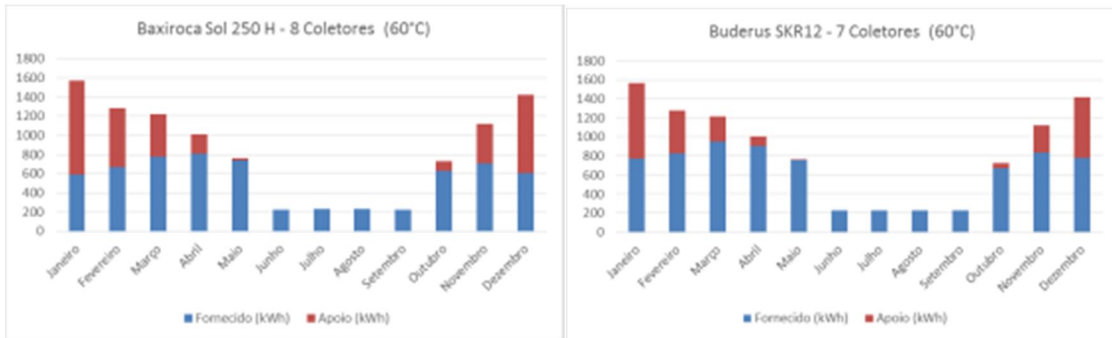


Gráfico 8.21 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Coimbra (60 °C)

Para a temperatura de 70 °C numa situação em tudo idêntica, com 8 coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, para a necessidade energética anual de 13364 kWh, essa bateria de coletores consegue fornecer 7039 kWh (53% da carga para aquecimento/arrefecimento, e AQS), sobrando para a energia de apoio cerca de 6325 kWh, de Janeiro a Maio e de Outubro a Dezembro. Para a mesma carga se forem instalados 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“, será necessário fornecer um apoio de 5123 kWh/ano, uma vez que o sistema só fornece 8241 kWh (62% aquecimento/arrefecimento, e AQS) durante o ano, como mostra o gráfico seguinte.

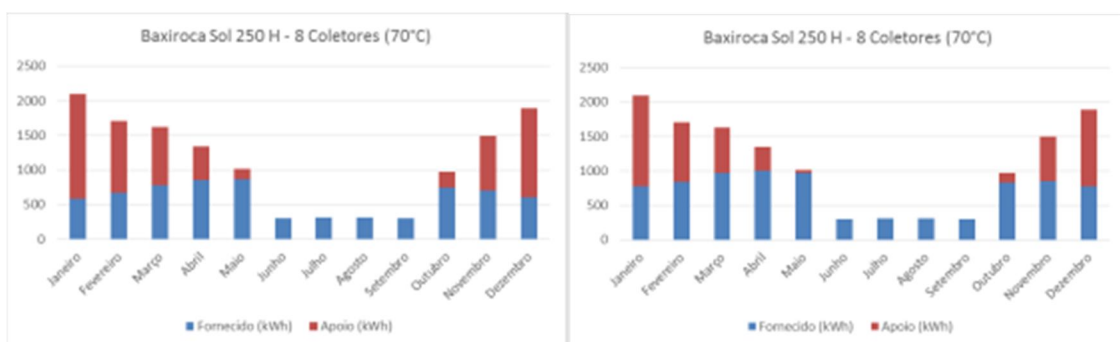


Gráfico 8.22 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Coimbra (70 °C)

Relativamente à cidade de Coimbra para aquecer água à temperatura de 60 °C , a bateria composta por 7 unidades dos coletores “Buderus SKR-12“ apresentou uma produção energética anual de dez por cento superior ao grupo composto por 8 coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, representando por ano o valor líquido de 997 kWh. Para uma situação de fornecimento de água à temperatura de 70 °C, o mesmo grupo de 7 coletores de vácuo produziu mais nove por cento de energia durante o ano que o conjunto composto pelos outros 8 coletores planos, o que em valor global representou mais 1202 kWh de energia produzida ao longo do ano. O rendimento apresentado pela bateria de coletores de vácuo na produção de energia para ambas as temperaturas foi durante mês de Dezembro trinta e dois por cento superior em relação ao conjunto formado pelos coletores planos.

8.3.2.3.1.3 Balanço energético do contributo solar em Faro

Relativamente à cidade de Faro, com existência de reservatório de inércia com a capacidade idêntica de 1500 litros de água quente a 60 °C, continua a considerar-se um conjunto de 8 coletores solares modelo “Baxiroca Sol 250 H“, a simulação permitiu obter 5989 kWh/ano (82% da carga necessária para aquecimento/arrefecimento, e AQS) de energia fornecida pelos colectores, restando apenas 1323 kWh de apoio, a partir de outra fonte, para completar os 7312 kWh anuais necessários. Para uma instalação de 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“ e como a mesma carga anual, o sistema consegue fornecer 6606 kWh (90% aquecimento/arrefecimento, e AQS), sendo necessário um apoio de 706 kWh nos períodos entre Janeiro a Março e de Novembro a Dezembro, como demonstra o Gráfico 8.23.

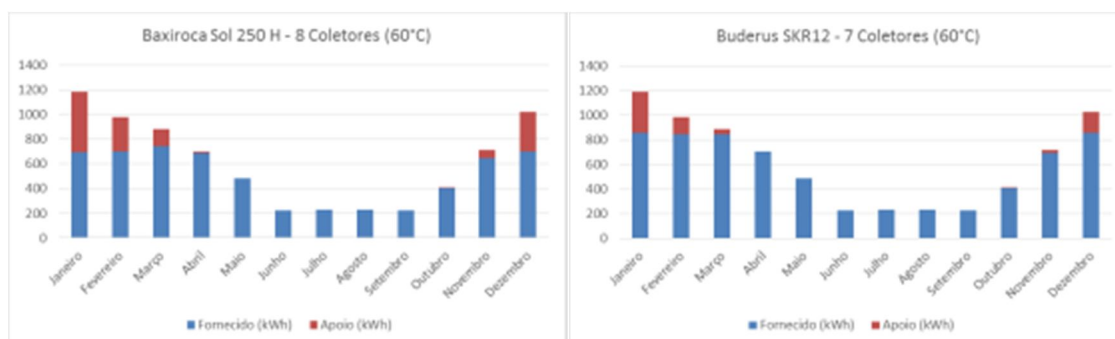


Gráfico 8.23 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Faro (60 °C)

Em condições idênticas, mas para a temperatura de 70 °C, com 8 coletores solares do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, obteve-se o contributo de 6804 kWh/ano (70% para aquecimento/arrefecimento, e AQS), com um fornecimento de energia extra de 2945 kWh para completar todas as necessidades anuais de 9749 kWh. Por outro lado com 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“ instalados, a energia fornecida anualmente é 7658 kWh (79% para aquecimento/arrefecimento, e AQS) e o apoio de 2091 kWh.

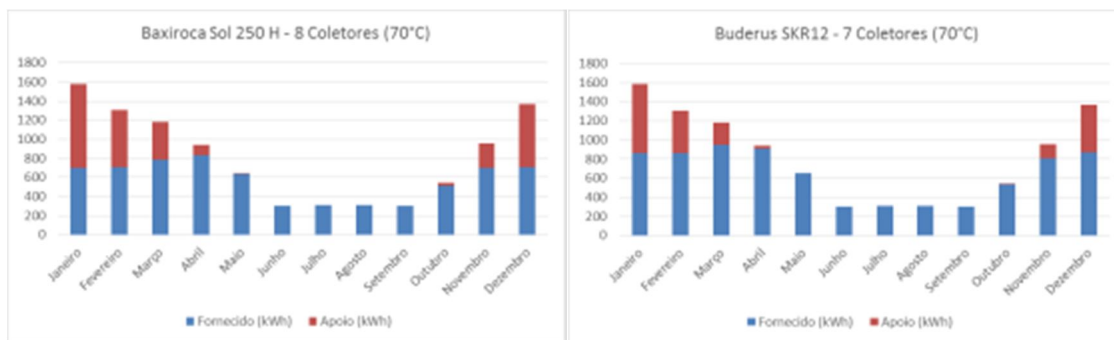


Gráfico 8.24 - Energia fornecida pelos coletores e pelo apoio em Faro (70 °C)

Em relação à cidade de Faro para produzir água aquecida a 60 °C de temperatura, a associação dos 7 coletores do modelo “Buderus SKR-12“ tem capacidade para produzir mais oito por cento de energia em relação ao agrupamento composto pelos 8 coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, o que representa em termos genéricos mais 617 kWh de energia produzidos por ano. Para o abastecimento de água quente a uma temperatura de 70 °C, a bateria composta pelos coletores “Buderus SKR-12“ forneceu ao longo do ano mais nove por cento de energia do que o conjunto formado pelos coletores do modelo “Baxiroca Sol 250 H“, o que representou uma acréscimo de mais 854 kWh de energia. A superioridade evidenciada pelo conjunto de coletores de vácuo em Faro é menos expressiva que no resto do país, contudo apresentaram uma produção energética superior ao grupo de coletores planos em Dezembro de vinte e dois por cento para a temperatura de 60 °C e vinte e três por cento para 70 °C de temperatura.

8.3.2.3.2 *Balanço geral do comportamento dos coletores solares analisados*

De um modo geral, a partir da análise efetuada, pode-se concluir que, para ambas as temperaturas, a bateria composta pelos coletores de tubos de vácuo, do modelo “Buderus SKR-12“, apesar de terem uma área ligeiramente inferior ao grupo composto pelos

coletores planos do modelo “Baxiroca Sol 250 H” apresentam um rendimento global anual superior.

Na cidade de Bragança, com um sistema de coletores de tubos vácuo instalados, o melhor resultado que se obteve no suprimento das necessidades energéticas totais foi de 63% para a temperatura da água aquecida a 60 °C e 50% para a água aquecida a 70 °C de temperatura.

Relativamente à cidade de Coimbra, com o mesmo conjunto de coletores solares foi possível contribuir com 74% das necessidades enérgicas para o fornecimento de água quente à temperatura de 60 °C, e para o abastecimento a 70 °C o sistema foi responsável pela produção de 62% da energia necessária.

Para a cidade de Faro o mesmo conjunto de coletores de tubos de vácuo foi responsável pelo fornecimento de 90% das necessidades energéticas para obtenção de água aquecida a 60 °C de temperatura, e contribuído com 79% das necessidades energéticas para a produção de água quente a 70 °C.

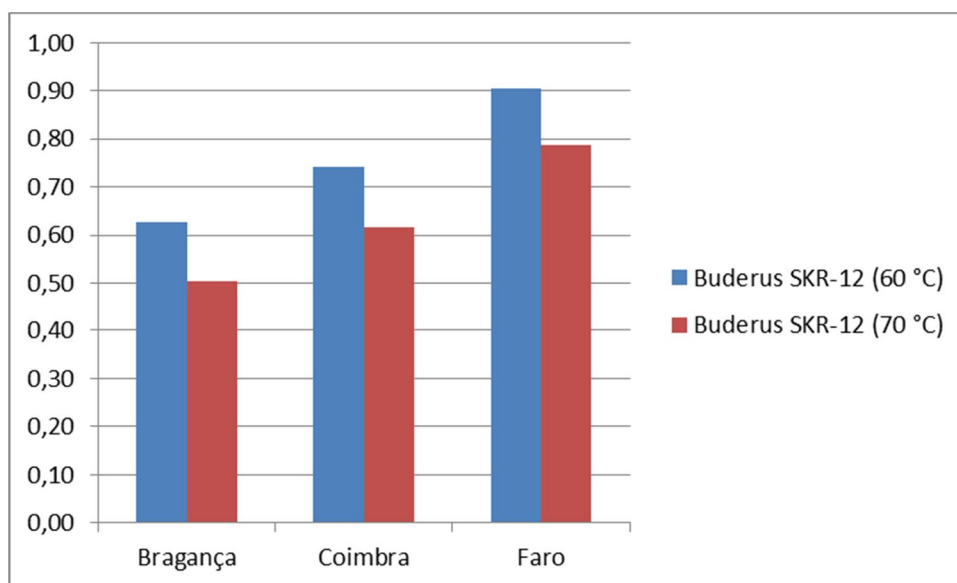


Gráfico 8.25 - Rendimento geral dos coletores, do tipo tubos de vácuo, nas três cidades.

8.3.2.4 *Chiller* de absorção

Para o *chiller* de absorção, cujo gerador é “alimentado” por água quente, o *EnergyPlus* dimensionou também três equipamentos com capacidades ligeiramente diferentes para cada região, onde se evidencia a necessidade de instalação de um *chiller* na cidade de Bragança com uma potência ligeiramente superior aos instalados nas outras cidades, com

uma utilização concentrada sobretudo nos meses de Julho e Agosto. Da mesma forma, também os caudais de circulação, bem com a capacidade de bombagem, apresentam valores superior na cidade de Bragança, como é possível verificar na tabela seguinte.

	Capacidade nominal inicial [W]	Capacidade nominal inicial de bombagem [W]	Caudal inicial de água arrefecida [m3/s]	Caudal inicial de água arrefecimento do condensador [m3/s]	Caudal inicial do fluido de gerador [m3/s]
Bragança	6 784,80	30,53	0,000242	0,000088	0,000066
Coimbra	5 554,79	25,00	0,000198	0,000072	0,000054
Faro	4 873,56	21,93	0,000174	0,000064	0,000047

Tabela 8.4 – Potência térmica e caudais para o *chiller* nas três cidades

As necessidades de arrefecimento nas três regiões estudadas, coincidem de uma forma geral com os períodos do ano em que existe uma maior disponibilidade de exposição à radiação solar, este fator que pode ser orientado de uma forma simbiótica para a produção frio numa época em que o calor mais aperta, aproveitando da melhor forma as características únicas de funcionamento de um *chiller* de absorção com o gerador alimentado por água quente a uma temperatura acessível de produzir através de um sistema de coletores solares durante este período.

Na análise da efetuada aos dados presentes no Gráfico 8.17 e Gráfico 8.18, foi possível observar que os coletores solares instalados, durante os meses de verão ficam subaproveitados mesmo incluindo a sua utilização para a produção de AQS e alimentar o *chiller* de absorção, o que demonstra que tem capacidade suficiente para alimentar o gerador do *chiller* durante o dia, contudo durante algumas as noites quentes de verão poderá ser necessário a utilização da caldeira de apoio, para poder permitir o aumento da temperatura da água de modo a possibilitar o funcionamento do sistema de arrefecimento de piso radiante hidráulico, uma vez que durante a noite a temperatura da água no reservatório de inercia térmica poderá ser inferior à temperatura mínima necessária de funcionamento de cerca de 70 °C.

9 Custos associados

9.1 Investimento inicial

9.1.1 Custos de fornecimento e montagem dos equipamentos

Para se poder quantificar o valor total de custo de aquisição e montagem dos equipamentos que constituem todo o sistema de aquecimento e arrefecimento referidos ao longo do trabalho, foram consultadas as tabelas de preços dos catálogos de fabricantes de equipamentos de onde tinham sido previamente retiradas as especificações técnicas utilizadas no dimensionamento, tendo sido também utilizado o “Gerador de Preços Portugal” (CYPE Ingenieros, 2016), para obtenção dos preços de alguns materiais e acessórios bem como da mão de obra necessária à sua instalação e montagem.

A lista de quantidades que deu origem ao orçamento final, foi dividida em cinco capítulos distintos. No primeiro, a Climatização, é onde são descritos todos os artigos referentes ao pavimento radiante hidráulico e se incluem a tubagem e as respetivas placas de assentamento, os equipamentos de circulação e de bombagem bem como todos os sistemas de controlo e acessórios necessários. O capítulo 2 é referente ao reservatório de inercia térmica, onde se considerou o reservatório de água e o vaso de expansão. No 3 foram incluídos todos os artigos referentes aos coletores solares a instalar e respetivos acessórios de montagem, os equipamentos de bombagem do circuito solar, e todos os restantes acessórios necessários. No capítulo 4 foram descritos os artigos referentes ao *chiller* de absorção e à torre de arrefecimento e respetivos componentes. O capítulo 5 é referente à caldeira de *pellets* utilizada como apoio.

REF.º	DESIGNAÇÃO	Custo de instalação inicial	
		Coletores planos	Coletores de vácuo
1	CLIMATIZAÇÃO	11 580,21 €	11 580,21 €
2	RESERVATÓRIO DE ENÉRCIA	3 879,16 €	3 879,16 €
3	SISTEMA SOLAR TERMICO	11 317,33 €	16 169,51 €
4	SISTEMA DE ARREFECIMENTO	19 953,74 €	19 953,74 €
5	SISTEMA DE APOIO	4 106,83 €	4 106,83 €
	TOTAL	50 837,27 €	55 689,45 €

Tabela 9.1 - Custos de aquisição e instalação inicial do sistema com os dois tipos de coletores solares

A partir da análise da Tabela 9.1 com resumo dos dois orçamentos efetuados para aquisição e montagem dos dois sistemas, é possível verificar que o custo de instalação dos coletores planos é 4.852,18 € inferior ao da instalação de coletores de tubos de vácuo.

9.2 Custos de manutenção dos equipamentos

Os custos associados de manutenção dos equipamentos variam em função da especificidade que cada um deles apresenta, bem como relativamente ao fabricante que o produziu, sendo por isso bastante variáveis de difíceis de apurar.

Os custos de manutenção dos coletores planos ao fim de dez anos de utilização, são 2.479,42 € inferiores aos da manutenção dos coletores de tubos de vácuo, como demonstra a tabela seguinte.

REF.º	DESIGNAÇÃO	Custo de manutenção ao fim de 10 anos	
		Coletores planos	Coletores de vácuo
1	CLIMATIZAÇÃO	142,78 €	142,78 €
2	RESERVATÓRIO DE ENÉRCIA	797,83 €	797,83 €
3	SISTEMA SOLAR TERMICO	2.827,52 €	5.306,94 €
4	SISTEMA DE ARREFECIMENTO	2.231,84 €	2.231,84 €
5	SISTEMA DE APOIO	1.849,23 €	1.849,23 €
	TOTAL	7.849,20 €	10.328,62 €

Tabela 9.2 - Custos de manutenção do sistema com os dois tipos de coletores solares ao fim de 10 anos

9.3 Custos de exploração dos equipamentos

Os custos associados à exploração dos equipamentos que compõem todo sistema estudado, podem apresentar origens distintas, ocorrer em períodos diferentes e apresentar intensidades variáveis durante o seu funcionamento ao longo do ano.

Estes custos de exploração podem ser sazonais, se forem referentes ao fornecimento de combustível necessário para o funcionamento da caldeira de apoio nos períodos de menor disponibilidade de radiação solar, ou constantes se considerarmos o consumo de energia elétrica utilizado para o funcionamento das várias bombas de circulação existentes nos diferentes circuitos do sistema, que apesar de terem uma utilização constante a sua intensidade é variável ao longo do ano.

	Caldeira de Apoio (kWh)		Bombas (kWh)
	Mínimo (60°C)	Mínimo (70°C)	
Bragança	4759	8446	398
Coimbra	2592	5123	352
Faro	706	2091	327

Tabela 9.3 - Consumos energéticos da exploração dos equipamentos ao longo do ano

Os custos de exploração energética referentes à caldeira de apoio, independentemente do equipamento solar instalado e da temperatura pretendida, na cidade de Faro são sempre inferiores a qualquer uma das outras cidades, no caso da cidade de Bragança, é exatamente o oposto registando sempre os valores de exploração superiores às outras duas cidades, como se pode observar Tabela 9.4.

Os custos de exploração relativos ao consumo de eletricidade, devem-se sobretudo aos períodos de funcionamento das várias bombas que estão instaladas ao longo do sistema, e neste caso, os dos consumos de eletricidade nas três regiões são muito similares, contudo os valores obtidos na cidade de Faro são ligeiramente inferiores às restantes cidades.

	Caldeira de Apoio			Bombas		Custo Total
	Custo/kwh	Pellets (60°C)	Pellets (70°C)	Custo/kwh	Eletricidade	Mínimo
Bragança	0,049 €	233,19 €	413,85 €	0,178 €	70,90 €	304,09 €
Coimbra	0,049 €	127,01 €	251,03 €	0,178 €	62,71 €	189,72 €
Faro	0,049 €	34,59 €	102,46 €	0,178 €	58,17 €	92,76 €

Tabela 9.4 - Custos energéticos da exploração dos equipamentos ao longo do ano

Desta forma, pese embora um rendimento inferior apresentado pelos coletores planos face aos coletores de tubos de vácuo, mas perante um preço aquisição inferior, e também com menores custos de manutenção, podendo ser associados de uma caldeira de apoio a *pellets* com boa eficiência térmica, conjugados com o poder calorífico das *pellets* que podem ser adquiridas um preço bastante reduzido, torna bastante aliciante a sua escolha em detrimento dos coletores de tubos de vácuo.

10 Conclusões

Um dos fatores mais influentes no comportamento térmico de um edifício é a sua localização geográfica, uma vez que ao longo do território as características climáticas apresentam algumas diferenças consideráveis, sobretudo em determinadas épocas do ano. Desta forma, diferentes regiões apresentam distintas necessidades energéticas ao longo do ano, quer para o aquecimento, quer para o arrefecimento, já que, em geral, as necessidades de energia para a produção de AQS não são tão diferentes de região para região no nosso país, o que se reflete na quantidade de energia que é necessário fornecer ao edifício para garantir condições de conforto térmico aos seus ocupantes.

A orientação geográfica do edifício no local onde está implantado, as suas formas arquitetônicas e a disposição interna dos compartimentos, bem como a constituição dos elementos de construção, representam outros fatores bastante relevantes no comportamento térmico do edifício.

A existência de áreas consideráveis de vãos envidraçados, sem ativação de dispositivos de sombreamento sujeitos ao efeito direto da exposição solar no verão, ou ativação dos sistemas de oclusão no inverno, também tem efeitos consideráveis nas necessidades energéticas do edifício.

As cargas internas resultantes dos horários de ocupação dos habitantes, o tipo e a quantidade de equipamentos existentes no interior e os seus períodos de funcionamento, são muito importantes contribuindo com ganhos de calor, tanto sensível como latente, os quais têm um contributo positivo nos períodos em que é necessário aquecimento, mas negativos nos períodos de arrefecimento.

A utilização do *software EnergyPlus*, revelou-se uma ferramenta muito útil para o estudo do comportamento térmico do edifício, permitindo fazer diversos tipos de simulações conjugando diferentes tipos de materiais e a melhor forma de os associar entre si, bem como a modelação de distintos tipos de sistemas de climatização e diferentes fontes de energia. Para além disso, permitiu também a realização da simulação em diferentes regiões climáticas.

Ao longo da pesquisa efetuada para o desenvolvimento do presente trabalho, foi possível verificar que a esmagadora maioria da informação encontrada sobre o *EnergyPlus*, é referente à utilização desse *software* para o dimensionamento de sistemas de ar condicionado, quase sempre com o recurso a *chillers* de compressão mecânica, sendo disponibilizados muito poucos dados sobre a utilização em cálculo de sistemas de pavimento radiante hidráulico para aquecimento e arrefecimento. Mais raras ainda são as informações sobre a utilização de *chillers* de absorção, sendo as poucas referências existentes alusivas a modelos cujos geradores são alimentados a vapor. Também para o fornecimento de água aquecida, a informação disponível é referente à utilização de caldeiras que recorrem à utilização de combustíveis fósseis, sobretudo gás natural, ou então resistências elétricas.

Contudo, a maior dificuldade para a realização do presente trabalho, foi mesmo a utilização do *EnergyPlus*, que se revelou tudo menos fácil, dado o grande desconhecimento e a extrema complexidade de funcionamento do *software*, seja na introdução de informação, ou na obtenção de resultados da simulação e sobretudo da sua

validação. Para tal foi necessário pesquisar, consultar, ler, reler vezes e vezes sem conta todo o tipo de manuais e tutoriais possíveis, no sentido de permitir uma familiarização com o seu funcionamento, de modo a possibilitar a realização de inúmeras simulações, ainda que, de uma forma básica, recorrendo a um processo de tentativa e erro, como é comum em qualquer aprendizagem.

É de realçar, por isso, também a possibilidade de os valores finais obtidos nas simulações sofrerem alguns efeitos de majoração, facto de que nos apercebemos ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, e a pouco e pouco fomos melhorando até chegar aos resultados aqui apresentados.

Da análise realizada para as três regiões verificou-se que é necessário fornecer mais energia para o aquecimento da moradia se ela estiver localizada em Bragança do que nas cidades de Coimbra ou Faro, mas, por outro lado, a disponibilidade de energia solar na região de Bragança é inferior à existente nas outras regiões, o que origina um *deficit* energético superior às outras cidades, obrigando ao fornecimento de mais energia oriunda de outras fontes. Assim, para a obtenção de água quente para o funcionamento do sistema de aquecimento, de arrefecimento e para o abastecimento sanitário, com o contributo do sistema de coletores solares de tubos de vácuo não vai além de 63% das necessidades totais anuais de energia, para a moradia utilizada como caso de estudo no presente trabalho localizada em Bragança. Na situação da sua localização ser em Coimbra, com o mesmo modelo e o mesmo número de coletores solares a fração solar anual é de 74%. Finalmente, no caso da localização ser na cidade de Faro e com todas as restantes condições já descritas é possível atingir até 90% das necessidades energéticas anuais a partir da energia solar.

O clima Mediterrâneo, e o de Portugal em especial, tal como foi já referido anteriormente, apresenta características apropriadas que, conjugadas com as boas práticas e com os equipamentos adequados, permite aproveitar a radiação solar de um modo muito eficiente, tanto em termos energéticos como económicos e, conseqüentemente, reduzir as necessidades do consumo de combustíveis de origem fóssil, assim contribuindo para um país autossuficiente, em termos do abastecimento em energia e simultaneamente mais sustentável, no que à ecologia e à economia diz respeito, arrastando, com isso, melhorias ao nível social.

11 Bibliografia

- ABRINSTAL. (2011). *Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural - Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural*.
- ALTENER, P. (2004). *Energia Solar Térmica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*.
- AO-SOL. (2006). *Manual do Colector CPC Ao Sol*.
- APISOLAR. (2014). - *Observatório Solar Térmico 2013 – Associação Portuguesa da Indústria Solar*.
- ASHRAE. (2008). *ASHRAE Handbook - HVAC HVAC Systems and Equipment (SI Edition)-Chapter 36*.
- Baxiroca. (Junho de 2016). *Energia solar - Solar Easy. Coletores solares térmicos*. Lisboa.
- Benito, Y. (2007). *Modelagem da produção simultânea de frio, calor e energia elétrica*.
- Brumbaugh, J. (2004). *HVAC Fundamentals*. Wiley Publishing.
- Buderus. (2016). *Tecnologia Solar Logasol- Construir sistemas com eficiência energética*. Lisboa.
- Caleffi. (2015). *Hydronic Solutions - Vasos de expansão*. Maia: Caleffi, Lda.
- CEEET. (s.d.). *Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos - PARTE II – Tecnologias de Aproveitamento de Calor*.
- Cengel, Y. A. (2001). *Heat Transfer*. McGrawHill.
- Chapman, K., & Watson, R. (2004). *Radiant Heating & Cooling Handbook*. McGraw-Hill.
- Chorincas, J. (2013). *Contributo das intervenções do QREN em contexto urbano para o aumento da eficiência energética - Um enquadramento da eficiência energética nas políticas públicas*. Coimbra.
- Costa, J., & Lebeña, E. (2008). *Manual de Conversão Térmica da Energia Solar*. . INETI.
- CYPE Ingenieros, S. (Dezembro de 2016). *Gerador de Precos Portugal*. Obtido de Gerador de Precos: <http://www.geradordeprecos.info/>
- Decreto-Lei 80/2006, d. 4. (s.d.). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*.
- Decreto-Lei n.º 118/2013, d. 2. (s.d.). *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*.
- Decreto-Lei_n.º_28/2016_de_23_de_junho. (s.d.). *Veio proceder à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto*.
- Deleme. (s.d.). *O Guia Térmico De Janelas - Performances e eficiência energética*. Lisboa: Tryba.
- Delorme, M., Six, R., Oliveira, P., & Barroso, J. (s.d.). *Climatização Solar*. Sintra: AMES .

- Deng, J., Wang, R., & Han, G. (2010). *A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems Progress in Energy and Combustion Science*, vol. XXX.
- DGEG-Renovaveis. (2016). *Direcção Geral de Energia e Geologia – Renováveis - Estatísticas rápidas nº14*.
- DGEG-Renovaveis-N14. (2016). *Direcção Geral de Energia e Geologia – Renováveis - Estatísticas rápidas nº14*.
- DGT-CAOP. (2016). Carta Administrativa Oficial de Portugal - Versão 2016. *Carta Administrativa Oficial de Portugal - Versão 2016*.
- Dias, B., Cunha, F., Trindade, L., & Cardoso, E. (2012). *Estudo do Comportamento Térmico das Coberturas com Telhas Cerâmicas*. Coimbra: Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro.
- Dow. (s.d.). *Soluções para a Construção Fichas técnicas - A Marcação CE e a implementação da Norma de produto EN 13164 para o Poliestireno extrudido*.
- Energia, A. -A. (s.d.). ADENE - Agencia para a Energia .
- ESTT. (s.d.). *Processos Gerais de Construção - Isolamento Térmico - Instituto Politécnico de Tomar - Escola Superior de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil*.
- Euroserv'Er-12. (2013). *Solar Thermal and concentrad solar power barometer 2012*.
- Euroserv'Er-13. (2014). *Solar Thermal and concentrad solar power barometer 2013*.
- Euroserv'Er-14. (2015). *Solar Thermal and concentrad solar power barometer 2014*.
- Euroserv'Er-15. (2016). *Solar Thermal barometer 2015*.
- FANGER, P. (1972). *Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Garg, V., Bhatia, B., & Arumugam, R. (s.d.). *A Getting Started with EnergyPlus Tutorial 1*. Hyderabad - India: Center for IT in Building Science - IIIT Hyderabad.
- Giacomini, C. (2004). *Como Projectar e Realizar Instalações de Climatização por Pavimento Radiante para Aquecimento e Arrefecimento*.
- Gonçalves, H., & Graça, J. (s.d.). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. INETI.
- INETI. (2008). *Instalações Solares Térmicas*.
- Institute, N. B. (1998). *Absorption Chillers – Guideline*.
- Inverno, A. (s.d.). *Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia - ENERGIA SOLAR - Capítulo 1 – Radiação Solar*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Instituto Superior de Engenharia.
- IP-AQSPP, D. (2004). *Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial*.
- Johnson-Controls. (s.d.). *Chiller YIA - Absorção de Simples Estágio*. YORK Millennium.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Andreas, W. (2007). *Renewable Energy - Technology, and Environment Economics*. Springer.

- LabCon. (s.d.). *Conforto Térmico / PMV & PPD*. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lamberts, R. (s.d.). *Desempenho Térmico de Edificações Aula 2: Conforto Térmico*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Larsen, F. (2007). *Colectores solares de aire para calefacción mediante piso acumulador*.
- Melo, A., Westphal, F., & Matos, M. (2009). *APOSTILA DO CURSO BÁSICO DO PROGRAMA ENERGYPLUS - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
- Mendes, J. (2010). *Energia Solar Térmica - Ponto da situação e caminhos para 2020*. LNEG.
- Mendes, J. (2014). *AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO SOLAR EM PORTUGAL - Unidade de Energia Solar*. Câmara de Comércio Luso Alemã: LNEG.
- Nunes, P. (2014). *Política Energética e Competitividade Económica em Portugal: Uma Análise Estratégica - Ciclo de Conferências: Competitividade e Energia Tema II - Economia e Energia Ordem dos Engenheiros*. Lisboa: IST.
- Sanitop. (s.d.). *InsuaTherm - CHR*.
- Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa : LNEC.
- SolarCondicionado. (Junho de 2016). <http://solarcondicionado.pt/piso-radiante-porto-povoavarzim.html>. Obtido de <http://solarcondicionado.pt>.
- Solarwaters. (Junho de 2016). <http://www.solarwaters.pt/aquecimento-central-por-piso-radiante-a-agua>. Obtido de <http://www.solarwaters.pt>.
- University-of-Illinois. (2010). *Getting Started with EnergyPlus - Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus*. University of Illinois.
- Uponor. (2013). *Manual técnico de climatización invisible residencial*. MADRID.
- USDE1. (2016). *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Engineering Reference*. U.S. Department of Energy.
- USDE2. (2016). *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Input Output Reference*. U.S. Department of Energy.
- USDE3. (2016). *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Output Details and Examples*. U.S. Department of Energy.
- USDE4. (2016). *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Plant Application Guide*. U.S. Department of Energy.
- USDE5. (2016). *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Tips and Tricks for Using EnergyPlus*. U.S. Department of Energy.
- Wang, S. (s.d.). *HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION*. New York: McGraw-Hill.

Warmup. (Junho de 2016). <http://www.warmup.pt/produtos/piso-radiante-hidraulico/>. Obtido de <http://www.warmup.pt>.

Westphal, F., & Lamberts, R. (2006). *Introdução ao EnergyPlus - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*. Florianópolis : UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

Wray, C., & Sherman, M. (2010). *Duct Leakage Modeling in EnergyPlus and Analysis of Energy Savings from Implementing SAV with InCIte - Environmental Energy Technologies Division - Indoor Environment Department*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Anexos